ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA (EIV) APOIADO POR SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS: O CASO DA REVITALIZAÇÃO DO COMPLEXO ESPORTIVO DE BRASÍLIA

Juliana Andrade B. de Sousa (1); Daniela Werneck (2); Caio Frederico e Silva (3)
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestre, j.andradevelloso@gmail.com, Prof. Universidade Paulista, Brasília – DF.
(2) Arquiteta e Urbanista, Mestre, daniela.werneck@gmail.com, Universidade de Brasília, PPG/FAU/UnB - Campus Darcy Ribeiro, Brasília – DF.
(3) Arquiteto e Urbanista, Doutor, Prof. PPG FAU UnB., caiosilva@unb.br, Universidade de Brasília, FAU/UnB -Campus Darcy Ribeiro, Brasília – DF.

RESUMO

Este artigo apresenta os estudos bioclimáticos baseados em simulações computacionais que compuseram o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) para a avaliação dos impactos no microclima referentes à implantação do projeto de revitalização do Complexo Esportivo de Brasília, mais especificamente o projeto intitulado "Arena BSB". Os procedimentos metodológicos abarcaram a descrição do projeto de intervenção, a modelagem tridimensional do objeto de estudo, as configurações das variáveis climáticas de acordo com as estações climáticas características de Brasília (quente-seca e quente-úmida) e a fase final de processamento da simulação microclimática com o programa ENVI-met (versão 4.4). Os resultados apontaram impactos positivos no microclima local em virtude do aumento das áreas vegetadas, sombreadas e permeáveis, como redução da temperatura do ar na escala do pedestre (redução de até 3°C no período quente-seco), ligeira redução da velocidade dos ventos (de 0,25m/s a 0,75m/s) e aumento na umidade relativa do ar (de 2,5% a 12,5%), considerando 5 horários de simulação (9:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00). Para o desenvolvimento dos cálculos de simulação, esta pesquisa incorporou parte do processamento da simulação em uma nuvem de computação por meio de máquinas virtuais. Esse serviço foi utilizando para executar simulações paralelamente às máquinas reais reduzindo o seu tempo total, uma vez que grandes cenários exigem tanto recursos computacionais como de tempo.

Palavras-chave: microclimas, Envi-met, desenho urbano, mitigação do aquecimento urbano.

ABSTRACT

This article presents the bioclimatic studies based on computer simulations that compose the Neighborhood Impact Study (NIS) for the evaluation of the impacts on the microclimate resulting from the implementation of the Revitalization project of the Sports Complex of Brasília, more specifically the project called "BSB Arena". The methodological procedures encompass the description of the project, the three-dimensional modeling of the object of study, the configurations of the climatic variables according to the characteristic climatic seasons of Brasília (hot-dry and hot-humid) and the final stage of processing the simulation microclimate with the Envi-met program (version 4.4). The results indicate the existence of positive impacts on the local microclimate due to the increase in vegetated, shaded and permeable areas, such as a reduction in the air temperature on the pedestrian scale (reduction of up to 3 ° C in the hot-dry period), a slight reduction in wind speed (from 0.25m/s to 0.75m/s) and increase in relative humidity (from 2.5% to 12.5%), considering 5 simulation times (9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm and 9 pm). For the development of the simulation calculations, this research incorporated part of the simulation processing in a computing cloud by means of virtual machines. This service was employed to run simulations in parallel to real machines, thus reducing their total time, since large scenarios require computational and time resources.

Keywords: microclimates, Envi-met, urban desing, mitigation of urban heating.

1. INTRODUÇÃO

É urgente a necessidade de reinventar as formas de planejamento urbano, uma vez que, estima-se que 70% da população mundial esteja vivendo nos centros urbanos, sobretudo, nas metrópoles, até 2050 (UNITED NATIONS, 2019). Precisamos re-planejar e re-projetar as cidades para este novo século, que é agravado pelas crises climáticas, sanitárias, energéticas, hídricas e de combustíveis fósseis. Neste sentido, defende-se o planejamento urbano ambiental integrado, em sintonia com a Agenda 2030 global, visando minimizar os impactos causados pela superpopulação, crescimento urbano desenfreado e consumo predatório, propondo tornar as cidades habitáveis, saudáveis, seguras e sustentáveis.

A discussão da qualidade do ambiente urbano abre espaço para temas multidisciplinares de estudos sobre os efeitos advindos da expansão urbana como as emissões de poluentes e calor, redução da cobertura natural do solo, seu uso e ocupação sobre o clima local (OKE, 1987; GARTLAND, 2010; SANTAMOURIS; CARTALIS; SYNNEFA, 2015). Sabe-se que a substituição da camada natural, geralmente por materiais de baixa permeabilidade e alta capacidade de acumulação térmica tem implicações significativas na temperatura superficial da malha urbana, contribuindo para a ocorrência de anomalias relacionadas ao clima (ANDRADE; ROMERO, 2018; SILVA, 2013; LOMBARDO, 1985). Por outro lado, é inevitável que os centros urbanos já consolidados busquem requalificar suas áreas, e projetar novos espaços mais aprazíveis.

Nos últimos anos, o clima urbano tem ganhado cada vez maior relevância nas pautas do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, percebe-se que o processo de urbanização tende a modificar os ecossistemas naturais, aumentando a temperatura, reduzindo a umidade, além de alterar a composição química da atmosfera, o que acarreta a criação de microclimas (ROMERO, 2001). Estes, por sua vez, apresentam condições de habitabilidade e sustentabilidade nem sempre satisfatórias, podendo ampliar a necessidade de intervenções urbanas bioclimáticas que podem reverter ou minimizar essas consequências.

Nesse contexto, se fazem necessários instrumentos de política urbana que auxiliem o Poder Público na tomada de decisões no que se refere aos processos de urbanização em equilíbrio com demandas de sustentabilidade e bem-estar da população. Um desses instrumentos é o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), previsto no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) e cujo objetivo é a compreensão dos impactos negativos e positivos de determinado empreendimento ou atividade em função da coletividade.

O projeto para a revitalização do Complexo Esportivo de Brasília se insere no contexto de Brasília - Distrito Federal, concebida como cidade-parque e que enfrenta atualmente muitos desafios na gestão dos recursos naturais, transporte, habitação, saúde, entre outros. A apresentação de um EIV para o caso deste projeto, se justificou não somente pelo porte do empreendimento em termos de área construída, mas pela complexidade de atividades previstas, por sua localização delicada em área tombada, pela provável geração e alteração de fluxo de pessoas e de veículos, assim como demanda por transporte público e alterações das mais diversas na infraestrutura urbana.

O Art. 37° do Estatuto da Cidade define como obrigatória a avaliação do impacto do empreendimento na ventilação e na iluminação urbana, entretanto, cada município define que outros aspectos deverão ser avaliados. No caso dos EIVs realizados no Distrito Federal, as exigências com relação aos impactos climáticos também abarcam o impacto no sombreamento, na formação de ilhas de calor e radiação solar, além do impacto relacionado à arborização do lote e do espaço público.

Pondera-se que os últimos quatro EIVs aprovados no Distrito Federal fizeram uso da simulação computacional – todos por meio do *software* ENVI-met – para avaliação dos impactos dos empreendimentos no conforto ambiental urbano (de 2018 até 2020, de acordo com pesquisa realizada no site da Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação[1]), o que demonstra a importância dessa ferramenta para o atendimento às exigências governamentais nesse tipo de estudo. Entretanto, verifica-se algumas limitações do *software* quando há necessidade de simular grandes áreas, como no caso do projeto analisado neste artigo.

Para além do processo de simulação em si, e considerando um recorte de análise estritamente voltado para o conforto ambiental urbano, - não incluindo aqui demais aspectos igualmente relevantes - entende-se que um projeto cuja intenção dos arquitetos e urbanistas seja a real qualificação de áreas urbanas, este deverá apresentar índices climáticos resultantes interpretados como potencialmente positivos para o espaço. Assim, este trabalho tem o objetivo de demonstrar o processo de simulação computacional para grande área urbana, assim como os resultados atingidos pelo projeto de requalificação do Complexo Esportivo de Brasília no âmbito do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV).

[1] disponível em http://www.seduh.df.gov.br/audiencias-publicas-2020/

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos no microclima referentes à implantação do projeto de revitalização do Complexo Esportivo de Brasília, à partir dos estudos bioclimáticos baseados em simulações computacionais que compuseram o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) para o referido projeto. Adicionalmente, apresentar a computação em nuvem como possibilidade de viabilizar a simulação para grandes áreas.

3. MÉTODO

O método se baseia na aplicação da simulação computacional para a compreensão dos fenômenos relacionados ao clima urbano e avaliação dos impactos das estratégias de projeto antes de sua implementação. Os procedimentos metodológicos para foram divididos em quatro etapas: (1) Descrição do objeto de estudo; (2) Procedimento para modelagem da simulação microclimática; (3) Procedimento para processamento em nuvem da simulação microclimática; (4) Interpretação dos dados de saída para composição dos resultados e conclusões.

3.1. Objeto de Estudo

O projeto analisado neste trabalho foi vencedor do concurso público de arquitetura, ocorrido em 2019, de autoria dos escritórios brasilienses ARQBR e GSR, cujo escopo previa a Revitalização do Complexo Esportivo de Brasília, compreendendo a área externa do Estádio Nacional Mané Garrincha. O projeto está inserido no Setor de Recreação Pública Norte – SRPN, em uma área de 1.368.000 m², localizado junto ao Eixo Monumental de Brasília, e com forte conexão com a Via EPIA – uma das mais importantes do sistema rodoviário do Distrito Federal. A Figura 1 ilustra a localização do projeto e sua relação com as vias citadas.

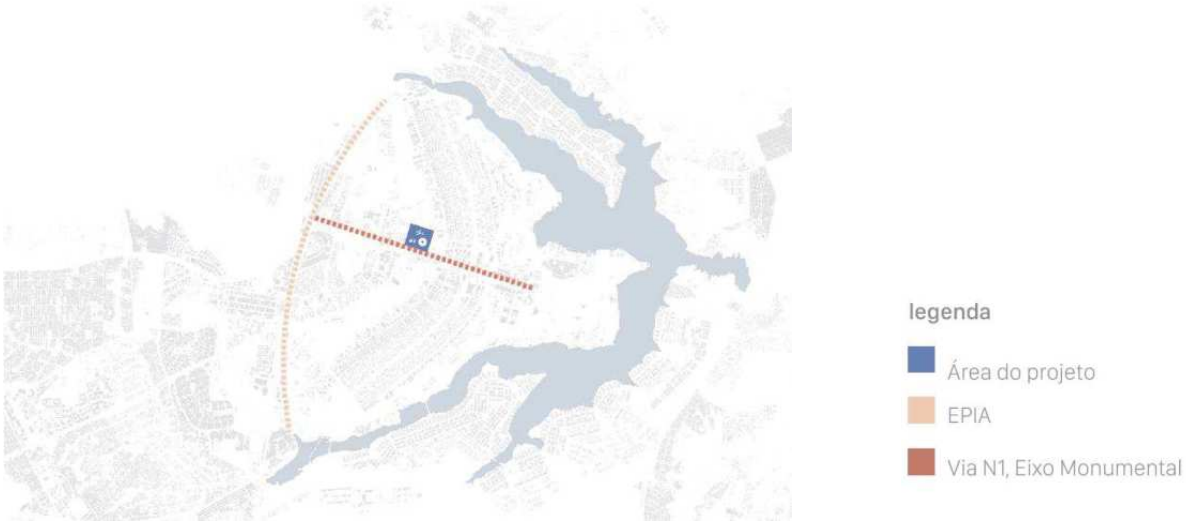


Figura 1: Localização do projeto na cidade de Brasília e sua relação com o Eixo Monumental e a EPIA.

Atualmente, a área onde o projeto será implantado é caracterizada sobretudo pela presença do Estádio mané Garrincha, que foi reformado e ampliado em ocasião da Copa do Mundo de 2014, assim como pelo excesso de área impermeabilizada e escassez de arborização, o que torna a região hostil ao trânsito de pessoas. A Figura 2 demonstra a situação atual da área, assim como o perímetro da área de intervenção do projeto. Figura 3 ilustra a mesma área, em vista aérea. A Figura 4 ilustra a proposta projetual em planta e a Figura 5, a proposta em vista aérea.



Figura 2: Vista aérea da área de projeto.



Figura 3: Imagem aérea da área do projeto.

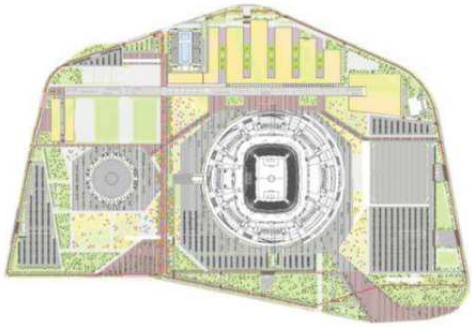


Figura 4: Planta baixa do projeto a ser implantado.



Figura 5: Vista aérea da proposta projetual.

O projeto conta com novas áreas a serem construídas ao redor do estádio – um bulevar comercial composto por alas edificadas e módulos de apoio às atividades esportivas - além da urbanização e do paisagismo de toda a área para requalificação da vocação esportiva e de lazer do setor. As áreas asfaltadas, no projeto, foram substituídas por jardins de cerrado, pisos drenantes e bloquetes com trincheiras de infiltração. Após o processo decisório da escolha do projeto pelo júri, iniciou-se os trâmites de aprovação junto ao Governo do Distrito Federal, que exigiu o desenvolvimento de Estudo de Impacto de Vizinhança[2], visando compreender os impactos que o projeto teria na área central de Brasília, incluindo aqueles relacionados ao conforto ambiental, no intuito de buscar a justa compensação dos ônus da urbanização.

3.2. Modelagem da Simulação Computacional

Para o estudo, foi utilizado o programa ENVI-met, frequentemente empregado em pesquisas de simulação microclimática (SILVA, 2013; GUSSON, 2014; WERNECK, 2018), com o objetivo de compreender o potencial de melhoria no conforto ambiental proporcionado pela intervenção arquitetônica na área de Requalificação do Complexo Esportivo de Brasília, por meio da análise da vegetação urbana, implantação de edificações e aplicação de materiais em relação à temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Foi criado um modelo tridimensional correspondente ao local selecionado com proporção da grade para os três eixos (x, y e z) de 5 m x 5 m x 3 m. O tamanho real da área simulada é 1.368.000 m² (1200 m x 1140 m). Embora este *software* seja um dos mais adequados para a avaliação de alterações microclimáticas no contexto urbano, ele apresenta limitações em casos de análise urbana em maior escala.

Para o processo de modelagem no ENVI-met, foram identificadas as áreas ocupadas por edificações, características dos materiais das superfícies e vegetação. A definição dos valores de albedo para as paredes e cobertura dos edifícios foi feita por aproximação das propriedades térmicas compatíveis com as observações no local. A tabela 1 resume os dados de entrada no ENVI-met.

[2] O EIV foi desenvolvido pelos escritórios vencedores do concurso, sob a coordenação da Arquiteta Juliana Andrade e do Engenheiro Florestal Felipe Lago.

Tabela 1: Configuração dos dados correspondentes à caracterização original das áreas de estudo no ENVI-met

Dados gerais – situação atual	**Valores**
Edificações: Albedo das paredes/Emissividade	0,40/0,90
Albedo das coberturas/Emissividade (concreto)	0,60/0,90
Albedo das coberturas/Emissividade (metálica)	0,50/0,25
Albedo cobertura/Emissividade (Estádio)	0,90/0,92
Calçadas: Albedo/Emissividade	0,50/0,90 (concreto novo) 0,30/0,90 (concreto antigo)
Vias asfaltadas: Albedo/Emissividade	0,20/0,90
Vias de blocos de concreto: Albedo/Emissividade	0,50/0,90
Solo exposto	0,25/0,98
Vegetação	LAD (perfil vertical)
Grama (GG) – altura = 50 cm	-
Árvore densa (T1) – altura = 10 m	0,0/0,0/0,0/2,18/2,18/2,18/2,18/2,18/2,18/1,72
Árvore densa (SC) – altura = 20 m	0,0/0,0/0,15/0,15/0,65/2,15/2,15/2,15/1,72/0
Árvore esparsa (01SSS) – altura = 5m	0,0/0,0/0,3/0,3/0,0
Árvore esparsa (01HMSS) – altura = 5m	0,0/0,0/0,3/0,3/0,3
Palmeira (PMDS) – altura = 5m	0,0/0,0/0,0/0,6/0,6
Palmeira (PW) - altura = 15 m	0,0 (x13) ... 0,5/0,6

As tabelas 2 e 3 apresentam a síntese dos dados de entrada calibrados utilizados para a simulação referentes ao período quente-seco e quente-úmido, respectivamente (WERNECK, 2018). Os valores de temperatura do ar e umidade relativa são provenientes da estação meteorológica do INMET localizada no Plano Piloto, assim como a direção do vento e a velocidade, para qual foi assumido o valor médio para Brasília de acordo com o mesmo instituto. Os dados de temperatura e umidade do solo do período quente-seco foram extraídos da pesquisa de Silva *et al*. (2015) que realizaram experimentos de medições no Campus da Universidade de Brasília.

Tabela 2: Configuração no ENVI-met dos dados climáticos para estação quente-seca

Dados micro meteorológicos	**Simulação 03 de setembro**
Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)	2,5 (média diária INMET)
Direção do vento (0: N/90: L/180: S/270: O)	90 (vento predominante)
Rugosidade	0,01
Umidade relativa (min./hora) e (máx./hora)	Dados horários INMET
Temperatura do ar (min./hora) e (máx./hora)	Dados horários INMET + 3° C entre 11h e 16h
Ajuste no valor da radiação solar	0
Nebulosidade (oitavas) baixas/médias/altas	0/0/0
Temperatura inicial para todas as camadas	24,85 °C
Umidade relativa camada superficial (0-20 cm) / (20-50 cm)	18 %
Umidade relativa das demais camadas abaixo de 50 cm	21 %

Tabela 3: Configuração no ENVI-met dos dados climáticos para estação quente-úmida

Dados micro meteorológicos	**Simulação 21 de janeiro (referência)**
Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)	2,42 (média diária INMET)
Direção do vento (0: N/90: L/180: S/270: O)	114 (vento predominante do dia)
Rugosidade	0,01
Umidade relativa (min./hora) e (máx./hora) – *simple forcing*	(16h/44%) e (02h/87%)
Temperatura do ar (min./hora) e (máx./hora) – *simple forcing*	(06h/19°C) e (15h/27.2°C)
Ajuste no valor da radiação solar	1.4
Nebulosidade (oitavas) baixas/médias/altas	4/0/0
Temperatura inicial para todas as camadas	20,85 °C
Umidade relativa camada superficial (0-20 cm) / (20-50 cm)	50 %

Umidade relativa das demais camadas abaixo de 50 cm	60 %

O horário de início da simulação foi configurado para 00:00 h e o tempo total de simulação foi de 24 horas. O modelo numérico precisa de um tempo para estabilização de no mínimo 6 horas e a melhor hora para sua inicialização é à noite ou ao nascer do sol, para que o cálculo acompanhe os processos atmosféricos (ENVI-MET TECHNICAL MODEL WEBPAGE, 2021). As simulações buscaram compreender a situação atual da área sem a influência do empreendimento. Esta situação é denominada no trabalho como "Cenário 0". Consequentemente, o Cenário 1 representa a situação de intervenção arquitetônica e urbanística proposta.

3.3. Processamento da Simulação Computacional

Apesar da sofisticação do algoritmo do ENVI-met, a simulação de grandes áreas requer poder computacional e tempo para sua finalização, podendo se estender por semanas. Mesmo com a função de processamento paralelo, o uso diário com atividades em segundo plano pode implicar em maior lentidão. Uma opção encontrada para executar parte das simulações deste trabalho sem a compra adicional de um computador foi a utilização da computação em nuvem.

Esse tipo de recurso permite que os usuários possam criar, iniciar e encerrar tarefas em um ambiente de computação virtual em diversos sistemas operacionais. Trata-se de um serviço sob demanda dos recursos de processamento de um computador remotamente. Existem diversas plataformas comerciais para armazenamento de dados em nuvem, porém, para computação em nuvem não são tantas opções. Como o ENVI-met é executado apenas no sistema operacional *Windows*, foi utilizada a plataforma comercial do *Microsoft Azure*[3] que oferece máquinas pré-configuradas, conforme recomendação do time Envi-met. Os passos para esse processamento seguem o fluxograma da Figura 6.

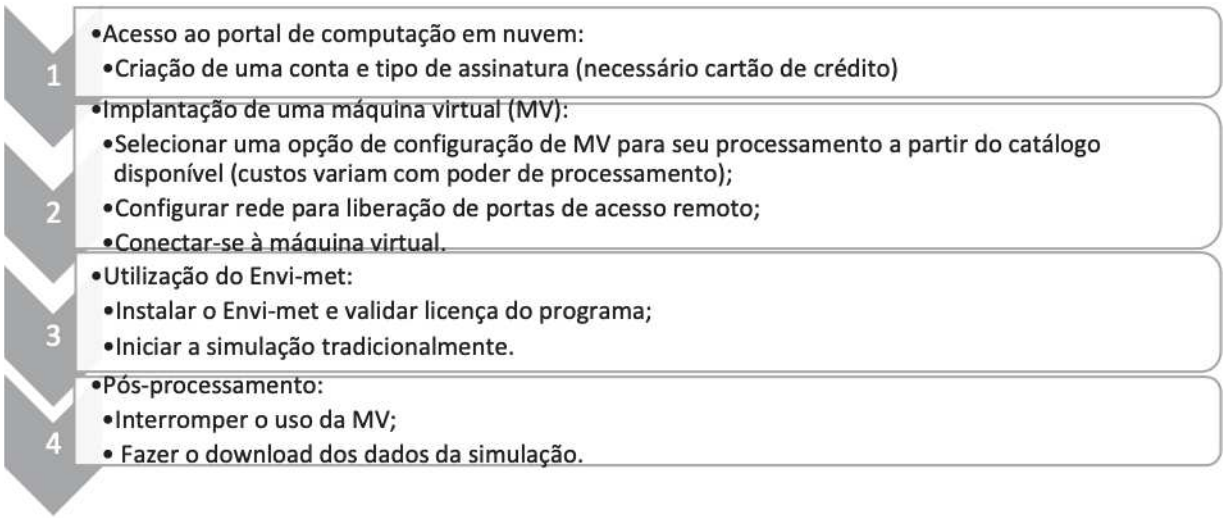


Figura 6: Fluxograma para o processamento da simulação em nuvem

3.4. Interpretação dos dados de saída para composição dos resultados e conclusões

Os resultados foram extraídos no *plug in* Leonardo do conjunto ENVI-met, e os mapas configurados com altura de corte igual a 1,50 m (nível do pedestre). Foram escolhidos dois locais fixos na área de estudo para servirem como ponto de referência para a avaliação (1 e 2), como é possível observar na Figura 7. Tais pontos foram escolhidos em função da variação significativa que estes locais apresentaram nos resultados das simulações. Atualmente, o ponto 1 se refere a uma área concretada sem uso específico, que no projeto foi substituída por área de lazer gramada. No ponto 2, atualmente funciona um estacionamento de pavimento asfáltico, que no projeto foi substituído por jardim de cerrado.

[3] Serviço disponível em: https://azure.microsoft.com/

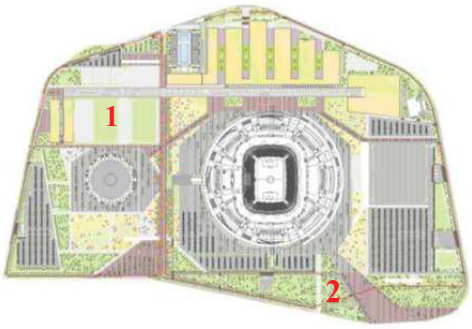


Figura 7: demarcação do ponto 1 e do ponto 2 no mapa.

Para cada uma das variáveis (temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar), comparou-se os valores encontrados no Cenário 0 (situação atual da área de intervenção) com os valores encontrados no Cenário 1 (área com o projeto implantado), nos dois pontos de referência no mapa, considerando 5 horários diferentes (9:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00). Os valores encontrados foram organizados em tabelas para facilitar a comparação entre os cenários, e, assim, permitir a conclusão a respeito dos impactos da implantação do projeto sobre o microclima local.

4. RESULTADOS

4.1. Temperatura do ar

Os resultados comparativos entre o cenário 0 e o cenário 1 mostram redução na temperatura do ar no nível do pedestre nas condições de forma e estrutura urbana avaliadas, tanto no dia representativo do período quente-seco quanto no do dia representativo do período quente-úmido, conforme resume a Tabelas 4. É possível notar que no período quente-seco a amplitude das variações de temperatura é maior que no período quente-úmido.

Tabela 4: Resultados simulados para temperatura do ar no dia representativo dos períodos quente-seco e quente-úmido

	Período quente-seco				Período quente-úmido			
Hora	**Cenário 0**		**Cenário 1**		**Cenário 0**		**Cenário 1**	
Ponto	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
9h	22,0 °C	22,5 °C	20,5 °C	20,5 °C	23,0 °C	23,5 °C	22,0 °C	22,5 °C
12h	26,0 °C	26,5 °C	23,0 °C	24,0 °C	25,5 °C	26,0 °C	24,0 °C	24,5 °C
15h	28,0 °C	28,0 °C	25,0 °C	26,0 °C	27,5 °C	27,5 °C	25,0 °C	26,0 °C
18h	26,0 °C	26,0 °C	24,5 °C	24,0 °C	25,5 °C	25,0 °C	24,0 °C	23,5 °C
21h	24,0 °C	23,5 °C	23,5 °C	22,5 °C	23,5 °C	24,0 °C	23,0 °C	22,5 °C

Verifica-se que a tendência de registro das maiores temperaturas se dá nas áreas densamente pavimentadas e pouco sombreadas. As Figuras 8 e 9, referentes às imagens das simulações realizadas às 15h do período quente-seco, exemplificam o fenômeno e permitem observar que a implantação do projeto de urbanismo e paisagismo nas áreas externas ao empreendimento são potencialmente bem-sucedidas no aspecto climático.

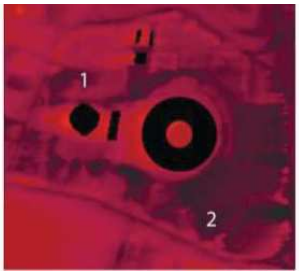


Figura 8: Simulação no dia 3/09 às 15:00 no cenário 0 para temperatura do ar.

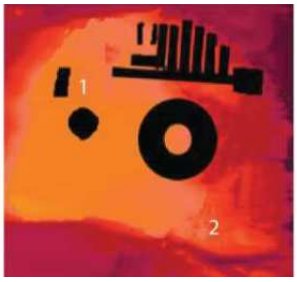
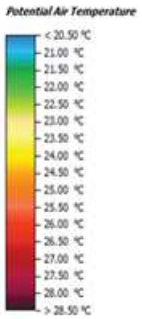


Figura 9: Simulação no dia 3/09 às 15:00 no cenário 1 para temperatura do ar.



Há redução de temperatura na área de implantação da edificação devido principalmente ao sombreamento causado por ela. Quando uma superfície recebe radiação direta sua temperatura aumenta, e com temperatura de superfície mais elevada há aumento da radiação emitida no espectro de ondas longas (LOMBARDO, 1985). Sendo assim, o sombreamento exerce uma forte influência sobre a temperatura média radiante, parâmetro pelo qual o corpo humano percebe as trocas de calor por radiação.

O impacto da arborização das áreas hoje pavimentadas, assim como a troca dos materiais de revestimento de solo foram fundamentais para o impacto positivo verificado neste quesito considerando-se a grande área de intervenção. Segundo Mascaró (1996), a radiação que a planta absorve é parte transformada em calor físico e parte em energia química, sendo que penas 20% do fluxo incidente sobre a cobertura vegetal atinge o solo e cerca de 46% da radiação transmitida sobre a vegetação é difusa, o que explica os resultados positivos decorrentes do aumento da área vegetada. Ao mesmo tempo, a substituição do asfalto por revestimentos de menor absorção de radiação (blocos intertravados e concreto permeável) também interferiu na melhora de desempenho. Segundo Maciel (2014) apud Oke (1981), o asfalto permite que apenas uma faixa de 5 a 20% seja refletida, restando de 80 a 95% para ser absorvida pelo material, enquanto superfícies de concreto apresentam uma faixa de 10 a 35% de reflexão, ou seja, absorvem de 65 a 90% da radiação. Com a redução das temperaturas, reduz-se o fenômeno de ilha de calor, bastante acentuado na região atualmente.

4.2. Velocidade do ar

Os resultados das simulações indicam redução da velocidade do vento (de 0,25m/s a 0,75m/s) no nível do pedestre, na maioria dos horários. As tabelas 6 e 7 resumem os resultados em todos os horários simulados. No período quente-seco foi verificado maior grau de alteração na velocidade dos ventos do que no período quente-úmido, no qual observou-se maior tendência à estabilidade de velocidade do vento e menor diferença entre a situação atual e o cenário de projeto.

Tabela 5: Resultados simulados para velocidade do ar no dia representativo do período quente-seco e quente-úmido

	Período quente-seco				**Período quente-úmido**			
Hora	**Cenário 0**		**Cenário 1**		**Cenário 0**		**Cenário 1**	
Ponto	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
9h	1,5 m/s	1,5 m/s	1,75 m/s	1,25 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s
12h	2,0 m/s	2,0 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s
15h	1,75 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s
18h	1,75 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,75 m/s	1,25 m/s
21h	1,75 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,25 m/s	1,75 m/s	1,5 m/s	1,75 m/s	1,25 m/s

As Figuras 10 e 11 ilustram os resultados das simulações realizadas para o dia 3 de setembro (período seco), às 12h. É possível notar, no cenário 1, redução de velocidade do vento junto às novas edificações e nas áreas arborizadas (que no cenário 0 eram apensa áreas asfaltadas).

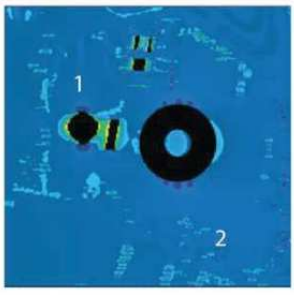


Figura 10: Simulação no dia 3/09 às 12h no cenário 0 para velocidade do ar.

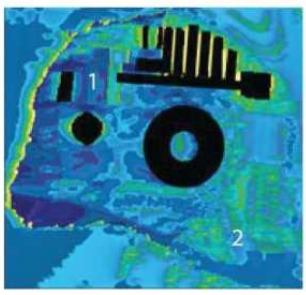
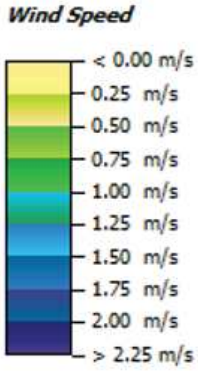


Figura 11: Simulação no dia 3/09 às 12h no cenário de 1 para velocidade do ar.



A redução da velocidade dos ventos em função da rugosidade das árvores é fenômeno destacado na literatura (OKE, 1987; ROMERO, 2011), e, portanto, é uma ocorrência esperada num contexto de incremento de arborização. Da mesma forma, as alterações na velocidade do vento em decorrência de novas áreas construídas também é um fenômeno esperado, já que o ar, ao encontrar um obstáculo, forma na parte frontal uma zona de pressão positiva, e na parte posterior, forma-se uma zona de pressão negativa, ou sombra

de vento (KOENIGSBERGER *et al*, 1977). É importante ressaltar que, em áreas abertas de clima tropical de altitude, a redução da velocidade do vento é recomendada no período seco com poeira (ROMERO, 2001).

4.3. Umidade relativa do ar

Os resultados para o cenário 1 mostram acréscimo na umidade relativa do ar, nos pontos selecionados, (de 2,5 a 12,5% a mais), tanto na estação quente-seca quanto na estação quente-úmida, conforme resumem as Tabelas 8 e 9.

Tabela 6: Resultados simulados para umidade relativa do ar no dia representativo do período quente-seco e quente-úmido

	Período quente-seco				Período quente-úmido			
Hora	**Cenário 0**		**Cenário 1**		**Cenário 0**		**Cenário 1**	
Ponto	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
9h	45%	45%	52,5%	57,5%	50%	50%	55%	57,5%
12h	37,5%	37,5%	45%	47,5%	40%	37,5%	45%	50%
15h	35%	35%	37,5%	40%	37,5%	32,5%	40%	42,5%
18h	32,5%	35%	35%	37,5%	37,5%	37,5%	40%	45%
21h	37,5%	37,5%	40%	42,5%	40%	40%	42,5%	47,5%

As figuras 12 e 13 apresentam os resultados gráficos das simulações às 12h no período seco, nas quais é possível perceber que a implantação do projeto de urbanismo e paisagismo provoca, na maior parte da área de intervenção, aumento da umidade relativa do ar em relação ao cenário atual, o que pode ser considerado impacto positivo. O incremento na umidade pode ser explicado pelo aumento de área vegetada na região, uma vez que, segundo Romero (2001), o próprio processo de fotossíntese da vegetação auxilia na umidificação do ar através do vapor d'água que libera.

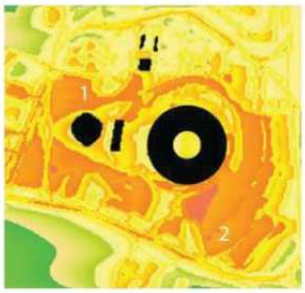


Figura 12: Simulação no dia 3/09 às 12h no cenário 0 para umidade relativa do ar.

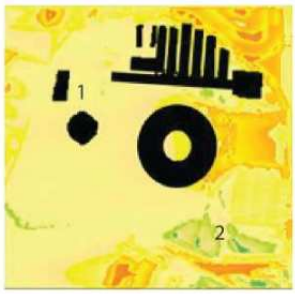
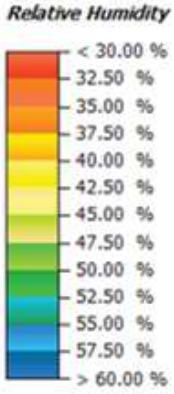


Figura 13: Simulação no dia 3/09 às 12h no cenário 1 para umidade relativa do ar.



5. CONCLUSÕES

Estudos como estes são importantes fontes de informação sobre como processos de simulação computacional microclimáticos estão sendo apreendidos para atendimento a requisitos de avaliações urbanas necessárias para o desenvolvimento de EIVs. Neste caso específico, diante da necessidade de se avaliar uma área extensa, como no caso do projeto de Requalificação do Complexo Esportivo de Brasília (com dimensões de 1200m x 1140m), verificou-se a viabilidade de fazê-lo por meio de simulação computacional em nuvem, o que dispensou a compra de equipamentos exclusivos para essa finalidade e impactou positivamente na velocidade das simulações.

A utilização do *software* ENVI-met vem se mostrando adequada ao tipo de análise requerida nos EIV, pois ele permite a compreensão das possíveis variações em diversos parâmetros ambientais ligados ao clima urbano, pois opera por meio de uma plataforma tridimensional que avalia as interações entre a vegetação, o solo e o ar.

Conclui-se que a implantação do projeto para requalificação do Complexo Esportivo de Brasília apresenta grande potencial na melhoria do microclima local, aspecto fundamental quando se trata de uma requalificação urbana. A implantação do projeto apresentou potencial de reduzir em até 3°C a temperatura do ar a nível do pedestre, no período da tarde, em um dia do período quente-seco. No período quente-úmido, a redução prevista é de até 2,5° nos pontos de controle escolhidos para análise. Foi possível verificar alteração na incidência dos ventos locais, que atualmente apresentam velocidade relativamente constante (entre 2 e

1,75m/s) e são uniformemente distribuídos na região de intervenção. Verificou-se, na maior parte das simulações, redução da velocidade equivalente a 0,25m/s, muito provavelmente por conta da grande área arborizada prevista em projeto. A umidade relativa do ar também sofreu impacto positivo quando se comparam os dois cenários, com um incremento de até 12,5% em um dos pontos de controle.

Tais resultados expressam, de forma objetiva, como projetos de requalificação urbana podem contribuir na criação de espaços abertos de maior qualidade, a partir da melhoria dos parâmetros no microclima local. Da mesma forma, traz à luz a importância do Estudo de Impacto de Vizinhança como instrumento urbano que, permitindo essa avaliação objetiva de impactos, pode subsidiar uma gestão mais sustentável de nossas cidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P.C.R.; ROMERO, M.A.B. Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIA/ DF. **Paranoá**, Brasília, **n** 22, p. 51-71, dez..2018.

BRASIL. Lei 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p 1, 11 jul. 2001.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais climatológicas para Brasília – DF 2015**. Disponível online em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos. Acesso em 01 de junho de 2018.

ENVI-met Technical model webpage. Disponível online em: https://envi-met.info/doku.php?id=basic_settings&s[]=start&s[]=time&s[]=simulation. Acesso em 25 de Junho de 2021.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL - GDF. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDUH. **Termo de Referência para Elaboração de Estudo de Impacto de Vizinhança**. Brasília, 2019. Acesso em 06 de abril de 2021. Disponível em : http://www.seduh.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2019/06/TR-EIV-Edil%C3%ADcio-02-2019-FINAL.pdf

_____-Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDUH. **Audiências Públicas realizadas.** Acesso em 06 de abril de 2021. http://www.seduh.df.gov.br/audiencias-publicas-2020/

GUSSON, C. S**. Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2014.

KOENIGSBERGER, O; INGERSOLL, T; MAYHEW, A; SZOKOLAY, S. **Manual of tropical housing and building. Part I: Climatic design**. Londres: Longman, 1977.

LOMBARDO, Magda A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244p.

MASCARO, L. **Ambiência Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto, 1996.

MACIEL, C.R. **Condições microclimáticas de espaços abertos: simulação de estratégias por meio do software envi-met.** Tese de Doutorado, Instituto de Física, UFMT, Mato Grosso, 2014.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates.** 2 ed. London: Methuen, 1987.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do Lugar: Uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. São Paulo: Nova Técnica, 2011.

_____. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SANTAMOURIS, M.; CARTALIS, C.; SYNNEFA, A. Local urban warming, possible impacts and a resilience plan to climate change for the historical center of Athens, Greece**. Sustainable Cities and Society**, n.19, p. 281-291, 2015.

SILVA, C. F. O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 2013.

SILVA, E.; AQUINO, F.; NASCIMENTO, C.T.; ALMEIDA, A. Correlação entre radiação solar incidente e temperatura do solo em áreas com cobertura de gramíneas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (SBRH), 21., 2015, Brasília, DF. Anais ... Brasília: SBRH, 2015. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9138

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)**. New York: United Nations, 2019.

WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudos de casos em áreas comerciais em Brasília - DF**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores do artigo agradecem aos autores do projeto de Revitalização do Complexo Esportivo de Brasília, André Velloso e Eder Alencar do escritório ARQBR Arquitetura e Urbanismo, e Élcio Gomes, Fabiano Sobreira e Paulo Victor Ribeiro, do escritório GSR. Aos profissionais que atuaram no Estudo de Impacto de Vizinhança: o Engenheiro Florestal Felipe Lago, a Geógrafa Maria Rita Fonseca, o Engenheiro Civil Davi Navarro e o Arquiteto Rômulo Bonelli. Aos membros da Comissão Permanente para Avaliação do EIV, da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Distrito Federal (CPA/EIV/SEDUH) pelo trabalho de avaliação e por todas as contribuições dadas durante o desenvolvimento do EIV.