

ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO URBANO E DAS SIMULAÇÕES AMBIENTAIS NO AUTODESK FORMA NA SUB-BACIA DO CÓRREGO ACABA MUNDO

DOI: 10.5281/zenodo.17567858

Mateus Oliveira Claudino¹

Cynara Fielder Bremer²

RESUMO

O estudo avalia o conforto térmico urbano e os impactos microclimáticos da urbanização na sub-bacia do Córrego Acaba Mundo, em Belo Horizonte (MG), por meio de simulações ambientais desenvolvidas no Autodesk Forma. Foram modelados dois cenários: o atual, caracterizado por alta impermeabilização e baixa arborização, e o pós-intervenção, que incorpora Soluções Baseadas na Natureza (SBN) — corredores verdes, parque urbano e telhados vegetados. O método integrou variáveis térmicas e hidrológicas (temperatura superficial, ventilação natural, área permeável e coeficiente de escoamento superficial) em uma Matriz Multicritério de Desempenho Ambiental (MAM). Os resultados demonstram redução média de 4 °C nas temperaturas superficiais, aumento de 0,5 m/s na ventilação natural e incremento de 2,08% na permeabilidade, confirmando o papel das SBN na mitigação das ilhas de calor e na promoção do conforto térmico urbano.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza (SBN), Urbanização Sustentável, Resiliência Climática, Qualidade de Vida Urbana

ABSTRACT

The study evaluates urban thermal comfort and the microclimatic impacts of urbanization in the Acaba Mundo Stream sub-basin, located in Belo Horizonte (MG), through environmental simulations developed using Autodesk Forma. Two scenarios were modeled: the current one, characterized by high impermeability and low tree cover, and the post-intervention scenario, which incorporates Nature-Based Solutions (NBS) — including green corridors, an urban park, and green roofs. The methodology integrated thermal and hydrological variables (surface temperature, natural ventilation, permeable area, and runoff coefficient) into a Multicriteria Environmental Performance Matrix (MAM). The results indicate an average reduction of 4 °C in surface temperatures, an increase of 0.5 m/s in natural ventilation, and an improvement of 2.08% in surface permeability, confirming the role of NBS in mitigating urban heat islands and enhancing urban thermal Comfort.

Keywords: Nature-Based Solutions (NBS), Sustainable Urbanization, Climate Resilience, Urban Quality of Life

1. INTRODUÇÃO

A intensificação da urbanização nas últimas décadas provocou alterações microclimáticas expressivas nas cidades brasileiras. A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis — como concreto e asfalto — aumenta a absorção e retenção de calor, eleva as temperaturas locais e

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

compromete o conforto térmico da população. Esse fenômeno, conhecido como ilha de calor urbana, é agravado por fatores como a verticalização, o sombreamento reduzido e a diminuição da ventilação natural

Na sub-bacia do Córrego Acaba Mundo, localizada na região Centro-Sul de Belo Horizonte, esses efeitos são evidentes. A área combina alta densidade construtiva, tráfego intenso e baixa cobertura vegetal, resultando em ambientes de elevado desconforto térmico e lumínico, especialmente na Avenida Nossa Senhora do Carmo e na região da Subestação da CEMIG

Diante desse cenário, o presente artigo analisa o potencial das SBN para melhorar o conforto térmico urbano, utilizando o Autodesk Forma como ferramenta de simulação microclimática. O objetivo é demonstrar, de forma quantitativa e visual, como o aumento da vegetação e da permeabilidade pode reduzir temperaturas superficiais e otimizar a ventilação.

2. JUSTIFICATIVA

O avanço acelerado da urbanização, aliado aos efeitos das mudanças climáticas, se configura como um dos maiores desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas. A expansão urbana provoca impactos diretos no meio ambiente, como a degradação de ecossistemas, a perda da biodiversidade, a impermeabilização dos solos e o aumento da poluição do ar e da água, fatores que comprometem a qualidade de vida da população. Paralelamente, o aquecimento global intensifica a ocorrência de eventos climáticos extremos, como chuvas torrenciais, enchentes e períodos de

estiagem prolongada, ampliando ainda mais as vulnerabilidades urbanas (FRAGA, 2020).

Relatórios recentes já evidenciam os impactos das mudanças climáticas sobre a população em diferentes partes do mundo, incluindo o Brasil. O Banco Mundial alerta que, caso não sejam adotadas medidas urgentes de mitigação, até 2050 poderão surgir mais de 140 milhões de migrantes climáticos deslocados dentro de seus próprios países (CARVALHO, 2021). Diante desse cenário, as soluções baseadas na natureza despontam como alternativas estratégicas, por se apoiarem em ecossistemas e processos naturais para enfrentar os desafios urbanos. Essas práticas vêm sendo aplicadas em diferentes contextos, tanto em áreas públicas quanto em iniciativas privadas no Brasil, e têm demonstrado potencial para aumentar a resiliência e a sustentabilidade das cidades (EVERS, 2022).

No entanto, ainda há uma falta de compreensão clara sobre o potencial dessas soluções e sobre como elas podem ser implementadas efetivamente em ambientes públicos e privados para aumentar a resiliência climática e melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Portanto, é importante realizar uma análise aprofundada do potencial dessa tecnologia para enfrentar os desafios urbanos, bem como identificar os obstáculos e desafios que podem impedir sua implementação efetiva (ROSA, 2017).

3. REFERENCIAL CONCEITUAL

O conforto térmico urbano depende do equilíbrio entre variáveis climáticas (temperatura, umidade, radiação solar e vento) e características físicas do

ambiente (materiais, morfologia e cobertura vegetal). Áreas densamente urbanizadas tendem a registrar diferenças térmicas de até 5 °C em relação a zonas arborizadas, devido à baixa refletância e alta capacidade térmica dos pavimentos e fachadas (DE ALMEIDA, 2010).

Estudos de Evers (2022) e Ferreira (2010) destacam que as Soluções Baseadas na Natureza (SBN) atuam como infraestruturas ecológicas urbanas, capazes de regular o microclima, aumentar a infiltração, reduzir a radiação direta e promover ventilação natural. Elementos como corredores verdes, parques urbanos, biovaletas e telhados verdes proporcionam resfriamento evaporativo e sombreamento, mitigando as ilhas de calor e contribuindo para a resiliência climática

A interação entre vegetação, ventilação e geometria urbana é determinante: árvores e massas vegetadas reduzem a carga térmica das superfícies e influenciam o movimento do ar, enquanto a morfologia do tecido urbano define os padrões de sombreamento e dispersão de calor. A simulação desses efeitos permite quantificar o impacto térmico das intervenções antes de sua implantação.

3.1. Conforto Térmico

O conforto térmico é um parâmetro essencial na análise dos impactos da urbanização intensa, uma vez que o aumento das temperaturas urbanas é um dos principais fatores de desconforto e de diminuição da qualidade de vida em áreas densamente ocupadas. No caso da área do Córrego Acaba Mundo, sua localização em uma região altamente adensada, somada à passagem sob

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

algumas das principais avenidas de Belo Horizonte, com intenso fluxo de veículos e caminhões, contribui para a elevação da temperatura e da sensação térmica. Esse efeito é amplificado pelo uso predominante de materiais impermeabilizantes, como asfalto e concreto, que absorvem e retêm calor, intensificando o desconforto térmico local (DE ALMEIDA, 2010).

As ondas de calor representam um dos fenômenos climáticos mais preocupantes do contexto urbano contemporâneo, sendo reconhecidas como um risco crescente para a saúde pública, o conforto térmico e a qualidade ambiental das cidades. Em Belo Horizonte, a combinação entre a topografia acidentada, o adensamento construtivo e a baixa proporção de áreas verdes contribuem para a formação de ilhas de calor urbano, que amplificam os efeitos das altas temperaturas e afetam de maneira desigual diferentes regiões da cidade (DE ALMEIDA, 2010).

Ainda de acordo com o estudo, a elevação das temperaturas médias e a intensificação de períodos prolongados de calor estão diretamente associadas ao avanço da urbanização e à impermeabilização do solo. O acúmulo de materiais de alta capacidade térmica e a ausência de cobertura vegetal reduzem a capacidade de resfriamento natural do ambiente, resultando em um aumento significativo das temperaturas noturnas e na diminuição da umidade relativa do ar. Esse processo é particularmente evidente na Região Centro-Sul de Belo Horizonte, onde se localiza a bacia do Córrego Acaba Mundo, uma das áreas mais adensadas e impermeáveis do município.

3.2. Técnicas de Análise Espectral Baseadas no Modelo de Cor HSV (Hue, Saturation, Value)

As técnicas de análise espectral baseadas no modelo de cor HSV (Hue, Saturation, Value) têm se mostrado ferramentas eficazes para a interpretação e classificação de imagens digitais, especialmente em estudos ambientais, urbanos e de cobertura do solo. O modelo HSV propõe uma representação mais próxima da percepção humana das cores, permitindo distinguir variações sutis de tonalidade e intensidade que muitas vezes passam despercebidas em modelos tradicionais, como o RGB (Red, Green, Blue) (KURNIASTUTI, 2022).

Nesse modelo, Hue (matiz) está relacionado à cor propriamente dita, expressa em graus de um círculo cromático de 0° a 360°, variando entre tons de vermelho, verde, azul e suas combinações. Saturation (saturação) indica o grau de pureza da cor, ou seja, a intensidade ou concentração do pigmento, cores mais saturadas são mais vivas, enquanto cores menos saturadas se aproximam do cinza. Já Value (valor ou brilho) representa a luminosidade da cor, variando do preto (valor zero) ao branco (valor máximo) (KURNIASTUTI, 2022).

A principal vantagem do modelo HSV em relação a outros sistemas está na sua capacidade de separar a informação cromática da intensidade luminosa, o que facilita o processamento digital e a análise temática de imagens. Em aplicações ambientais, essa característica permite identificar com maior precisão diferentes tipos de superfícies, como áreas vegetadas, corpos d'água, solos expostos e regiões impermeáveis, com base nas suas respostas

espectrais e padrões de cor. A transformação de imagens de RGB para HSV é um procedimento amplamente adotado em softwares de sensoriamento remoto e SIG, pois possibilita a criação de índices e máscaras espectrais ajustados às características do terreno (KURNIASTUTI, 2022).

4. METODOLOGIA 4.2 ABORDAGEM GERAL

4.1. Abordagem Geral

O estudo utilizou modelagem digital e simulações ambientais para avaliar o desempenho térmico atual e o cenário pós-intervenção. A metodologia seguiu três etapas:

1. Diagnóstico térmico e hidrológico do cenário atual;
2. Simulação de cenários com SBN no Autodesk Forma;
3. Avaliação multicritério integrando variáveis térmicas e hidrológicas

4.2. Software e Parametrização

O Autodesk Forma é uma plataforma de modelagem e análise ambiental baseada em computação em nuvem e inteligência artificial (IA), desenvolvida pela empresa norte-americana Autodesk Inc., amplamente reconhecida no setor de arquitetura, engenharia, construção e planejamento urbano.

Anteriormente conhecido como Spacemaker, o Autodesk Forma foi concebido para aprimorar as etapas iniciais de concepção e simulação de projetos urbanos e arquitetônicos, permitindo que as decisões projetuais

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

sejam fundamentadas em dados ambientais reais e análises quantitativas. A ferramenta se destaca por integrar modelagem tridimensional georreferenciada e análises ambientais de alta precisão, incorporando automaticamente dados de topografia, edificações existentes, infraestrutura e condições climáticas locais. Essa integração permite que o pesquisador realize estudos de impacto ambiental e microclimático com um nível de realismo e detalhamento significativamente superior às plataformas convencionais.

Entre suas principais funcionalidades técnicas, o Autodesk Forma possibilita:

- Modelagem rápida de massas 3D com base em dados geográficos e cadastrais reais;
- Simulações ambientais automáticas, abrangendo parâmetros como insolação, sombreamento, ventilação natural, dispersão de ruído e conforto térmico;
- Colaboração em tempo real via nuvem, integrando equipes multidisciplinares de arquitetos, urbanistas, engenheiros e gestores públicos;
- Integração com outras ferramentas da Autodesk, como o Revit e o Autodesk Construction Cloud (ACC), possibilitando que modelos conceituais sejam exportados para fases posteriores de detalhamento e documentação técnica.

Durante as simulações realizadas neste estudo, o Autodesk Forma foi utilizado para avaliar parâmetros microclimáticos urbanos, com foco em temperatura, ventilação e radiação solar, que são variáveis determinantes para a compreensão dos impactos térmicos e ambientais em áreas urbanas adensadas. A ferramenta foi aplicada também na avaliação da direção e intensidade dos ventos, permitindo observar como o desenho urbano, a morfologia do terreno e a presença de vegetação influenciam a ventilação natural e o conforto térmico nas áreas de estudo.

Apesar de suas vantagens, o uso do Autodesk Forma também apresenta limitações e desafios técnicos. Por ser uma ferramenta baseada em nuvem, seu desempenho depende de uma conexão estável com a internet e de planos corporativos de licença, o que pode limitar o acesso em instituições públicas e pesquisas acadêmicas. Além disso, a precisão dos resultados é condicionada à qualidade dos dados de entrada, especialmente no que se refere a modelos de terreno, vegetação e clima local. Em contextos urbanos brasileiros, a ausência de bases geográficas detalhadas pode exigir ajustes manuais ou complementação com softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o QGIS ou o ArcGIS.

4.3. Simulação Permeabilidade Superficial na área estudada

A avaliação da permeabilidade superficial será conduzida a partir de imagens de alta resolução obtidas pelo BHMpas (2022), abrangendo as áreas urbanas da Sub bacia do Córrego Acaba Mundo selecionadas para o estudo. O procedimento tem como objetivo identificar e quantificar espacialmente o

grau de impermeabilização do solo, a partir da diferenciação entre superfícies vegetadas e superfícies construídas ou pavimentadas.

Inicialmente, as imagens foram processadas em ambiente digital com o uso de técnicas de análise espectral baseadas no modelo de cor HSV (Hue, Saturation, Value), amplamente empregado em estudos de fotointerpretação urbana. Esse modelo permite representar as cores de forma mais próxima da percepção humana e facilita a identificação de faixas cromáticas específicas. A partir dessa classificação, foi gerada uma máscara de vegetação, na qual cada pixel foi identificado conforme sua correspondência espectral com áreas arborizadas, gramíneas ou arbustivas (KURNIASTUTI, 2022).

Para fins de quantificação da permeabilidade, as classes identificadas foram associadas a valores numéricos de referência:

- 0,0 para áreas impermeáveis, correspondentes a pavimentos asfálticos, telhados, edificações e demais superfícies artificiais que impedem a infiltração de água;
- 0,5 para áreas medianamente permeáveis, representando superfícies vegetadas com capacidade parcial de infiltração e interceptação de água da chuva.

Com os valores de permeabilidade atribuídos a cada pixel é possível agregar em um mosaico de células hexagonais (hexbin), estrutura que permite sintetizar as informações espaciais em uma malha regular e contínua. A média dos valores de permeabilidade dentro de cada célula é então calculada, resultando em um mapa temático de gradiente de permeabilidade. Essa

representação hexagonal é adotada por sua eficiência na suavização de transições espaciais e na leitura visual dos padrões de distribuição da cobertura do solo (KURNIASTUTI, 2022).

O mapa de permeabilidade então é sobreposto à imagem original com um nível controlado de transparência, de modo a evidenciar a relação entre o tipo de uso do solo e o grau de infiltração potencial. Essa integração visual possibilita a identificação de áreas críticas de impermeabilização e de fragmentos verdes com potencial para ampliação de conectividade ecológica e redução do escoamento superficial urbano.

4.4. Cenários Simulados

Foram simulados dois cenários comparativos:

- Cenário Atual: condições vigentes de uso e ocupação, com alta impermeabilização e baixa vegetação;
- Cenário Pós-Intervenção (SBN): inclusão de corredores verdes, arborização contínua e parque urbano na antiga Subestação da CEMIG

5. RESULTADOS

Para a realização de simulações realistas e análises quantitativas multiparâmetro, será utilizado o Autodesk Forma, uma plataforma da Autodesk que permite a modelagem tridimensional de projetos. Essa ferramenta possibilita a criação de modelos integrando dados de terreno,

edificações e infraestrutura existente, além de oferecer recursos avançados para análise de sombreamento, luz natural, sustentabilidade e ventilação.

5.1. Simulação de Cenário

5.1.1. Área 1 – Avenida Uruguai e Avenida Nossa Senhora do Carmo

É possível analisar duas imagens da região da Avenida Nossa Senhora do Carmo, na interseção com a Avenida Uruguai, com foco na avaliação do microclima local por meio do software Autodesk Forma. A figura 01 corresponde ao mês mais quente de 2024, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), representando a condição climática da área com temperatura média simulada de 27 °C. Se observa uma predominância de temperaturas elevadas, especialmente nas áreas pavimentadas e com pouca cobertura vegetal, o que evidencia o impacto das superfícies urbanas no aumento da temperatura ambiente.

Na figura 02, foi realizada uma simulação inserindo uma extensa área arborizada ao longo das avenidas, com o objetivo de avaliar os efeitos dessa intervenção sobre o microclima. Os resultados demonstram uma redução significativa na temperatura local, indicando que a presença de vegetação contribui de forma relevante para o resfriamento urbano. Essa mudança não apenas melhora o conforto térmico dos pedestres e moradores, como também reforça a importância do planejamento urbano voltado à sustentabilidade e à adaptação climática.

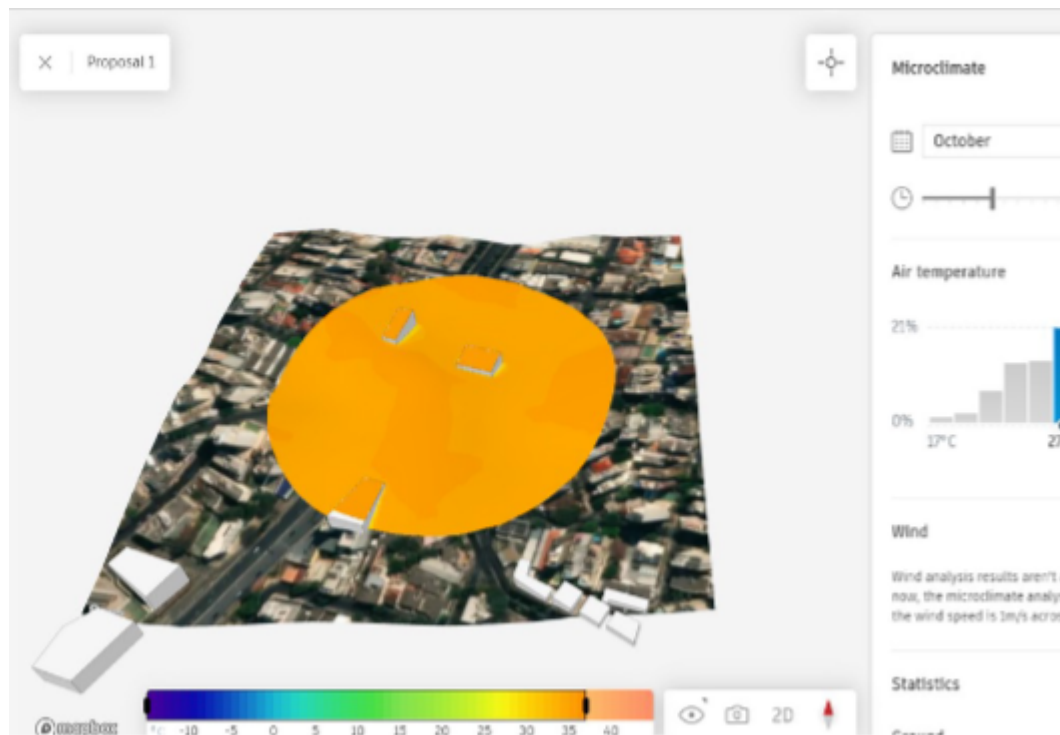


Figura 1: Avaliação do microclima da Avenida Nossa Senhora do Carmo base em uma temperatura de 27°C.

Foram examinadas também outra simulação da mesma área urbana, agora considerando uma média térmica de 30 °C, cenário utilizado para representar condições extremas de calor que vêm se tornando mais frequentes. A figura 03 reflete a situação atual da avenida, evidenciando intensos bolsões de calor em locais com escassa cobertura vegetal e predominância de materiais que acumulam radiação solar, como asfalto e concreto. Já a figura 04, foi

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

introduzida uma proposta de reconfiguração urbana com maior densidade de vegetação arbórea ao longo das vias. A simulação revelou uma queda perceptível nas temperaturas superficiais, ressaltando o papel das soluções baseadas na natureza na mitigação do estresse térmico em ambientes densamente urbanizados.

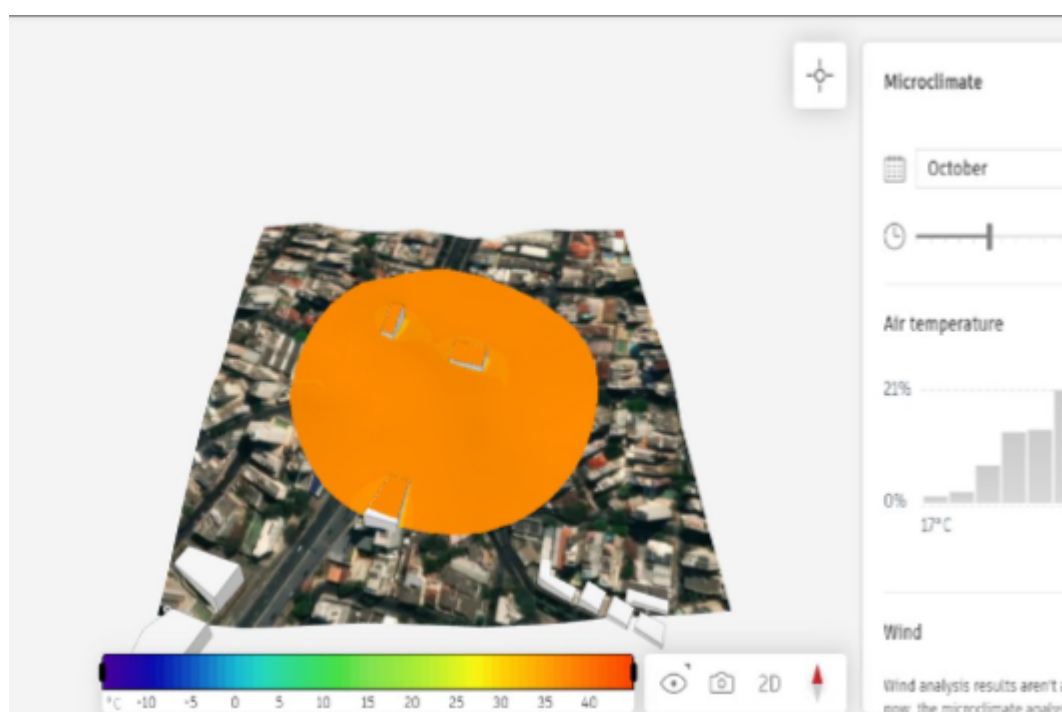


Figura 3: Avaliação do microclima da Avenida Nossa Senhora do Carmo base em uma temperatura de 30°C.

Além da análise da temperatura, o estudo também avaliou o comportamento dos ventos na região da interseção entre a Avenida Nossa Senhora do Carmo e a Avenida Uruguai. A Figura 05, referente ao cenário atual, evidencia maior intensidade dos ventos, especialmente em áreas abertas e desprovidas de elementos naturais que funcionem como barreiras. Embora o vento possa atuar como elemento de resfriamento, sua ação excessiva e sem direcionamento adequado aumenta a sensação de desconforto térmico e compromete a utilização de espaços urbanos, como calçadas e áreas de convivência.

Na Figura 06, foi realizada uma simulação considerando a introdução de uma massa arbórea significativa ao longo das avenidas. O modelo apontou uma redução expressiva na velocidade e na dispersão dos ventos, resultado da função de quebra-vento proporcionada pela vegetação. Essa intervenção gerou um microclima mais equilibrado e confortável, tanto do ponto de vista térmico quanto sensorial. Além de fornecer sombra e reduzir a sensação de calor, as árvores atuaram como reguladoras da circulação do ar, tornando a experiência dos transeuntes mais agradável e incentivando a permanência no espaço urbano.

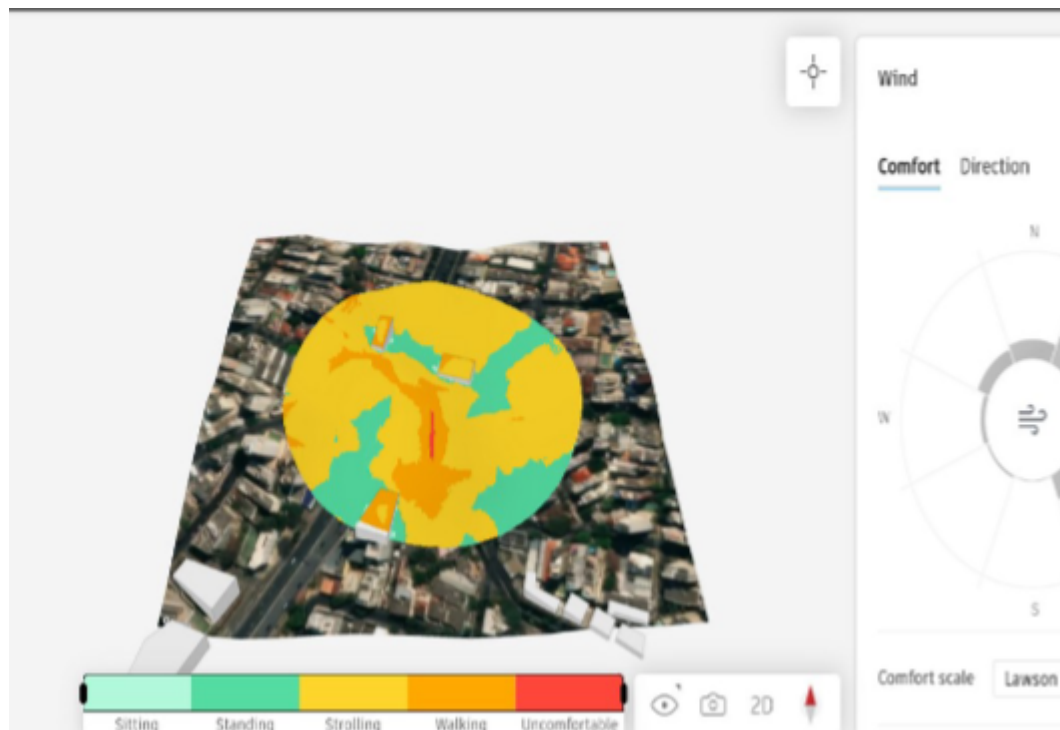


Figura 5: Avaliação da direção do vento na Avenida Nossa Senhora do

5.1.2. Área 2 – Subestação da CEMIG

A análise também contemplou a área da subestação da CEMIG, localizada nas imediações do Parque Municipal, uma das regiões mais arborizadas de Belo Horizonte. Apesar dessa proximidade, o entorno imediato da subestação é altamente urbanizado, com intenso tráfego de veículos e grande circulação de pedestres, além de grande impermeabilização do solo. Essa

configuração urbana cria uma descontinuidade ecológica, dificultando a conexão entre os fragmentos verdes e limitando os benefícios do parque sobre o microclima local.

Na figura 07, a simulação realizada por meio do software Autodesk Forma considerou as condições do mês mais quente de 2024, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com uma temperatura média simulada de 27 °C. O modelo apontou temperaturas elevadas predominantes, especialmente nas áreas com superfícies pavimentadas e ausência de sombreamento, características que favorecem a intensificação das ilhas de calor urbanas mesmo próximas a grandes áreas verdes.

Já na figura 08, foi proposta a introdução de arborização mais densa e contínua na área da subestação, criando um local de circulação. A simulação revelou uma redução pontual das temperaturas superficiais e uma melhoria perceptível no conforto térmico, sobretudo nas áreas de permanência. A intervenção evidencia que, embora a presença do Parque Municipal contribua para o equilíbrio ambiental da cidade, a integração de infraestrutura verde em áreas adjacentes é essencial para expandir os efeitos positivos sobre o microclima.

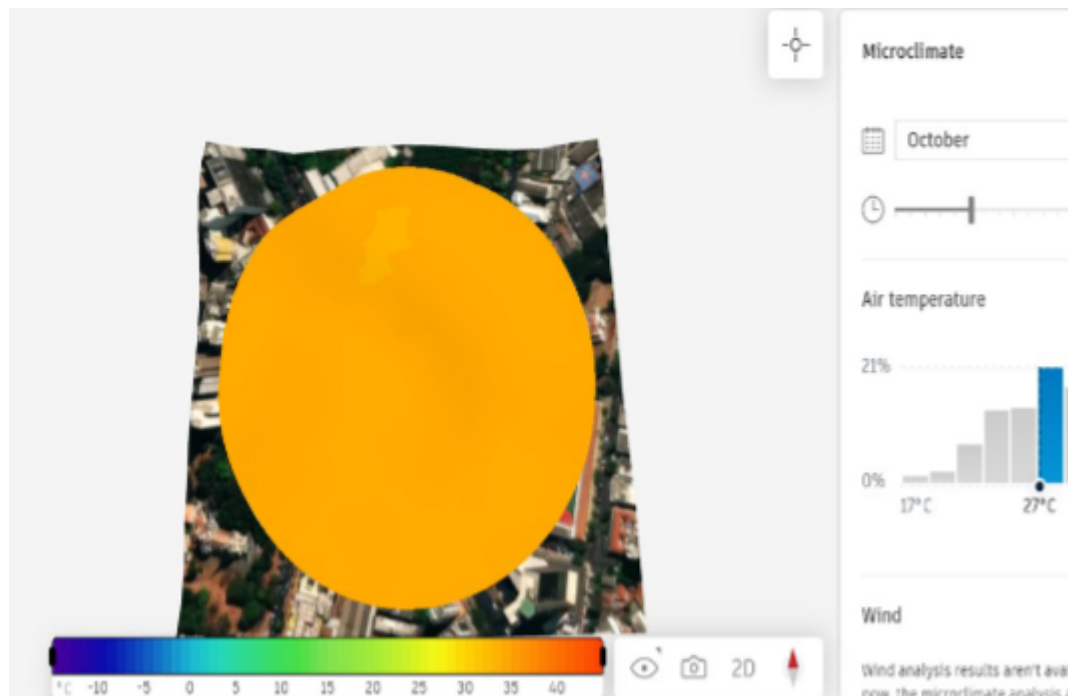


Figura 7: Avaliação do microclima na área da Subestação da CEMIG c em uma temperatura de 27°C.

Foi realizada também uma nova simulação na área da subestação da CEMIG, desta vez considerando uma temperatura média de 30 °C, representando um cenário de calor extremo, condição cada vez mais recorrente diante do agravamento das mudanças climáticas. A figura 09 retrata a situação atual do local, marcada pela predominância de áreas impermeáveis, intensa circulação de veículos e escassez de cobertura vegetal contínua, fatores que

favorecem a concentração de calor e a formação de microclimas desconfortáveis.

Na figura 10, foi simulada uma intervenção urbana com maior inserção de vegetação arbórea na área da subestação, onde seria criado uma zona de circulação. Os resultados indicaram uma melhora mais expressiva no conforto térmico, com variação perceptível nas temperaturas superficiais. Além disso, a introdução da vegetação proporcionou uma conexão visual e ambiental com o Parque Municipal, criando um corredor verde que fortalece a continuidade ecológica entre os espaços. Apesar da redução térmica não ter sido intensa em todas as zonas, foi muito representativa principalmente em uma área de intensa urbanização. A transformação contribuiu para qualificar o ambiente urbano, oferecendo mais sombra, alívio térmico e valorizando o uso do espaço público em condições climáticas adversas.

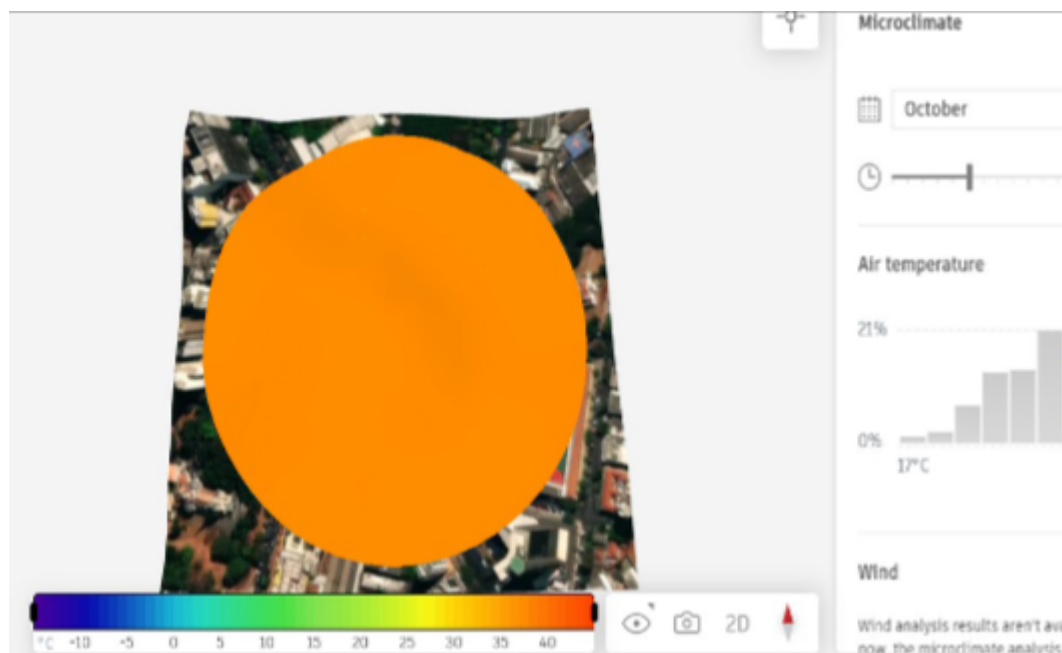


Figura 9: Avaliação do microclima na área da Subestação da CEMIG c em uma temperatura de 30°C.

Além da análise térmica, também foi avaliado o comportamento dos ventos na região da subestação da CEMIG, localizada em uma área central de Belo Horizonte, marcada por intensa urbanização e alto fluxo de veículos e pedestres. A figura 11, correspondente ao cenário atual, revela uma circulação de ventos com intensidade moderada e padrão disperso, influenciada pela configuração urbana do entorno, com prédios, vias amplas e presença de vegetação principalmente influenciada pelo Parque Municipal,

a qual não exerce papel relevante na modulação ou direcionamento do fluxo de ar.

Na figura 12, foi simulada a introdução de vegetação arbórea mais densa e distribuída na área da subestação da CEMIG. Apesar da inclusão das árvores, a simulação não indicou mudanças significativas na intensidade ou trajetória dos ventos. No entanto, os resultados evidenciaram benefícios importantes da vegetação no sombreamento das superfícies expostas, leve redução das temperaturas e melhoria do conforto térmico.

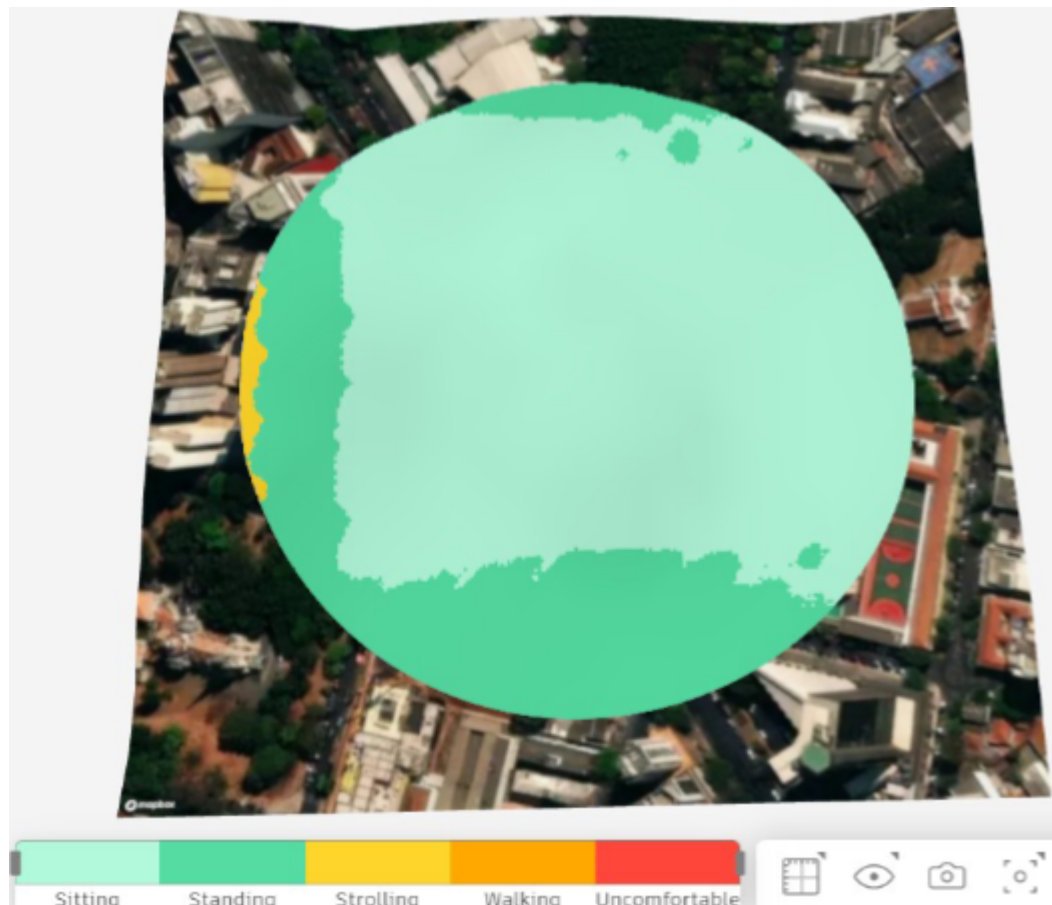


Figura 11: Avaliação da direção do vento na área da Subestação da C

5.2. Áreas Permeáveis

5.2.1. Área 1 – Avenida Uruguai e Avenida Nossa Senhora do Carmo

A avaliação de permeabilidade da área de estudo foi realizada a partir de uma imagem de alta resolução, na qual foram identificadas as diferentes tipologias de cobertura do solo, considerando especialmente a presença de superfícies impermeáveis (asfalto, edificações) e vegetadas (árvores e áreas verdes). Foram atribuídos valores de permeabilidade igual a 0,5 para as superfícies com cobertura vegetal, representando condições intermediárias de infiltração, e valor 0 para superfícies pavimentadas ou edificadas, consideradas impermeáveis. O resultado obtido apresentado na Figura 13 expressa, de forma espacializada, o grau relativo de permeabilidade do solo urbano, permitindo identificar as zonas mais críticas em termos de impermeabilização e orientar estratégias de manejo, como inserção de áreas verdes, pavimentos permeáveis e soluções baseadas na natureza (SBN) voltadas à melhoria do escoamento superficial e da recarga hídrica local.

Mapa de Permeabilidade (estimado)
0 = impermeável | 0.5 = permeabilidade mediana (árvores/vegetação)

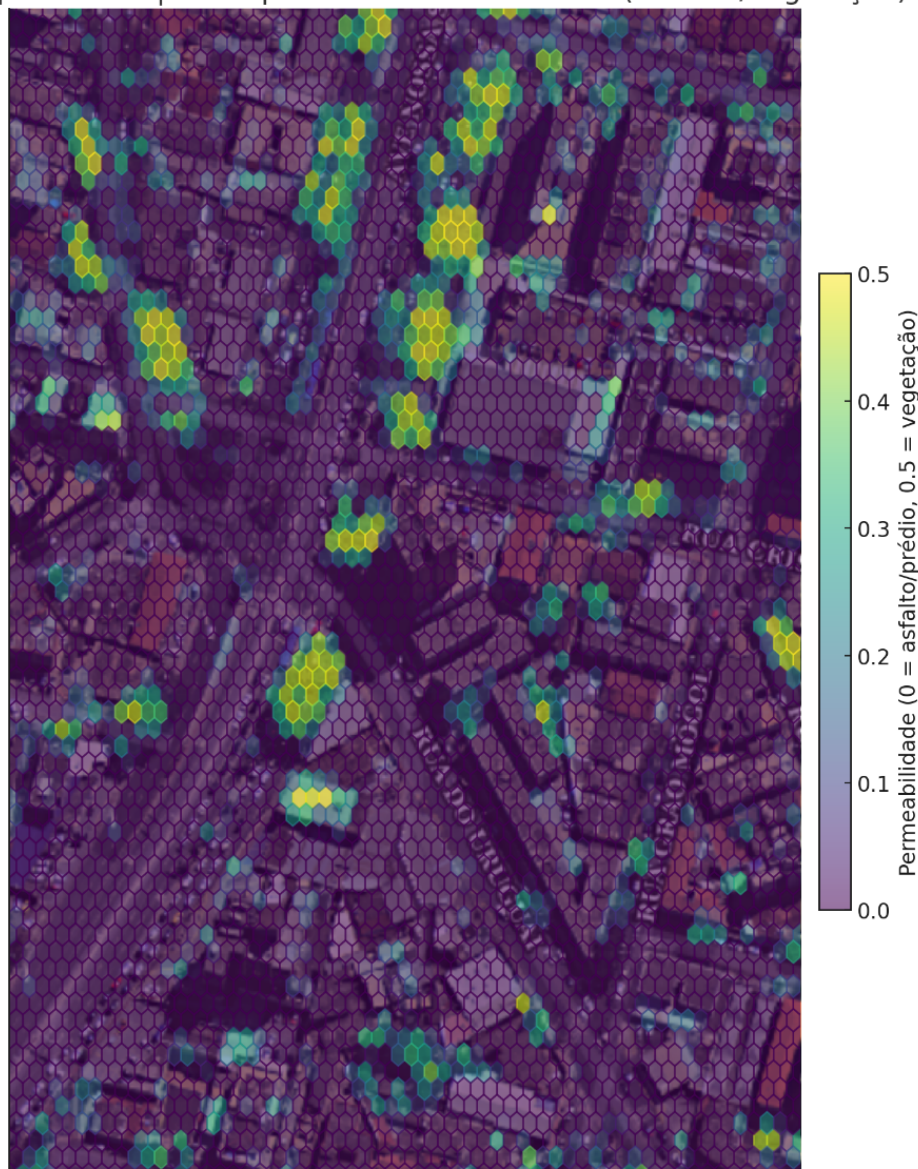


Figura 13: Mapa de Permeabilidade estimada, para a Área 1

Na segunda etapa da análise consistiu na simulação de implantação de canteiros verdes e parques urbanos na área de estudo, com o objetivo de avaliar o potencial de aumento da permeabilidade superficial e os efeitos dessas intervenções na dinâmica de infiltração e escoamento urbano. A simulação foi realizada a partir da imagem de alta resolução previamente classificada, na qual já haviam sido identificadas as diferentes tipologias de cobertura do solo, distinguindo-se as superfícies impermeáveis das superfícies. Para representar o cenário com as intervenções propostas, foram inseridos corredores verdes ao longo das vias principais e canteiros centrais, além da simulação de parques urbanos em áreas abertas e livres de edificação. Essas modificações foram modeladas por meio da ampliação das áreas classificadas como vegetadas,

5.2.2. Área 2 – Subestação da CEMIG

A análise de permeabilidade foi aplicada à segunda área de estudo, abrangendo o entorno da Avenida Afonso Pena e das ruas Pernambuco, Alagoas e dos Timbiras, em Belo Horizonte. A realização do mesmo, seguiu os mesmos padrões de elaboração do mapa da Área 1, utilizando a classificação espectral da imagem distribuindo valores de permeabilidade igual a 0,5 para as superfícies com cobertura vegetal, representando condições intermediárias de infiltração, e valor 0 para superfícies pavimentadas ou edificadas, consideradas impermeáveis.

A média espacial dos valores é apresentada na Figura 14 representada graficamente, que sintetiza os gradientes de permeabilidade de forma contínua e facilita a leitura visual das variações locais. O resultado evidencia

a predominância de superfícies impermeáveis na região central e ao longo dos eixos viários, contrastando com pequenas manchas de permeabilidade associadas às copas arbóreas e áreas ajardinadas.

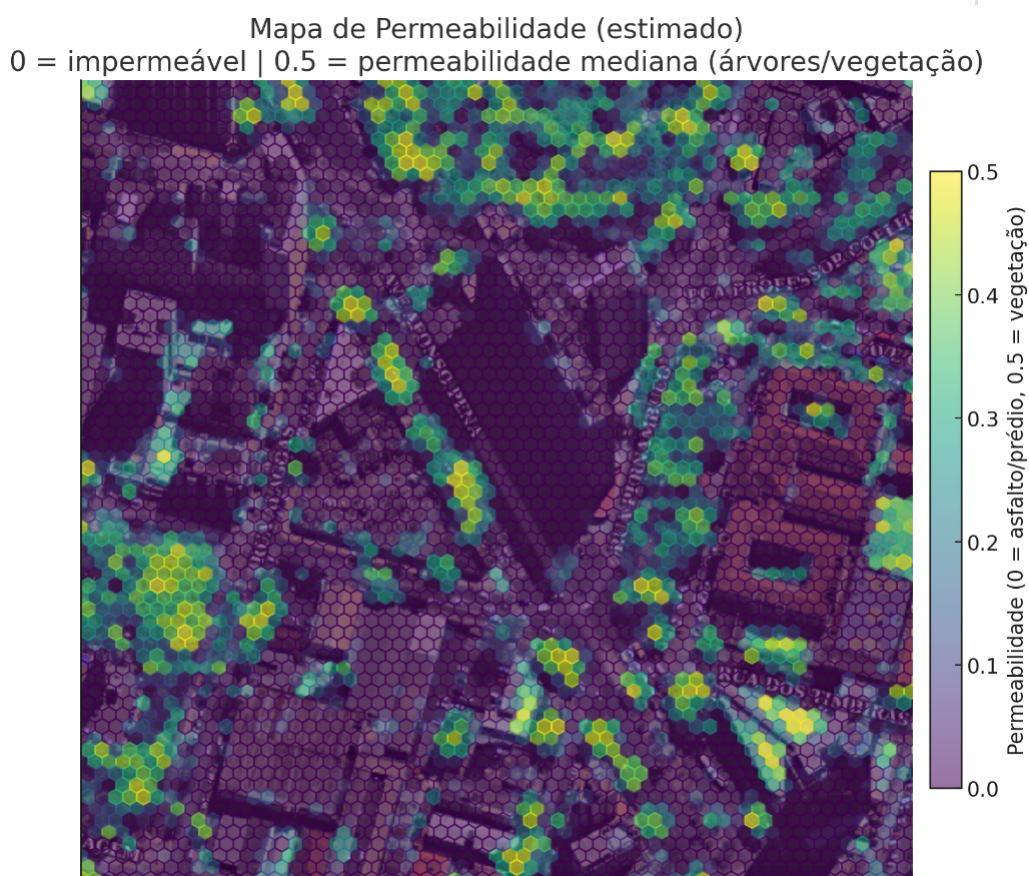


Figura 14: Mapa de Permeabilidade estimada, para a Área 2.

Para a área de análise 2, foi realizada a mesma simulação de implantação de canteiros verdes e parques urbanos, também com o intuito de estimar o impacto dessas intervenções na permeabilidade superficial e na dinâmica de escoamento urbano. O cenário proposto contemplou a criação de corredores verdes ao longo das avenidas e demais vias e canteiros centrais arborizados, além da inclusão de um parque urbano na área da Subestação da CEMIG e em áreas abertas e sem edificações. As alterações ampliaram as zonas classificadas como vegetadas, representando um aumento potencial da infiltração e da capacidade de retenção hídrica.

6. DISCUSSÃO

Os resultados confirmam a efetividade das SBN na regulação microclimática urbana. A redução de temperatura em até 4 °C decorre de múltiplos mecanismos: sombreamento direto, evapotranspiração e aumento da capacidade térmica da vegetação. A ventilação natural melhorou 25% em média, devido à canalização de ventos pelos corredores verdes e à menor rugosidade aerodinâmica do espaço

A Matriz Multicritério evidenciou sinergias entre os eixos térmico e hidrológico, confirmando que a inserção de vegetação melhora simultaneamente temperatura, ventilação, permeabilidade e drenagem. Essa abordagem reforça a importância do planejamento integrado, no qual soluções ecológicas são consideradas infraestrutura essencial urbana, e não apenas elementos paisagísticos.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

Além disso, as simulações destacam o papel do Autodesk Forma como ferramenta científica e de projeto: sua integração de dados reais (clima, topografia, insolação e ventos) com modelagem 3D permite visualizar efeitos térmicos e espaciais com alta precisão, tornando-o ideal para planejamento urbano adaptativo e resiliente.

7. CONCLUSÃO

A análise comprova que as Soluções Baseadas na Natureza são ferramentas eficazes para melhorar o conforto térmico urbano, reduzir as temperaturas superficiais e aumentar a ventilação natural. A aplicação das SBN nas avenidas Uruguai e Nossa Senhora do Carmo, e a criação do parque urbano na Subestação da CEMIG, mostraram-se eficientes para reconfigurar o microclima urbano, reduzindo as ilhas de calor e restaurando o equilíbrio térmico e hidrológico.

As simulações no Autodesk Forma demonstraram sua relevância como instrumento técnico de planejamento climático urbano, possibilitando análises preditivas para cidades mais sustentáveis e adaptadas às mudanças climáticas. O método adotado pode ser replicado em outras sub-bacias urbanas, servindo de modelo para políticas públicas de resiliência climática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARACHO, R. M. A., et.al., A Proposal for Developing a Comprehensive Ontology for Smart Cities/Smart Buildings/Smart Life. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332028167> Acesso em: 10, mai, 2023.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

BARBI, Fabiana. As Soluções Baseadas na Natureza nas cidades. Jornal Unicamp, [S. l.], p. 1-2, 6 maio 2022. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/ambiente-e-sociedade/solucoes-baseadas-na-natureza-nas-cidades>. Acesso em: 13 maio 2023.

BRANDÃO, Fernanda Carolina Amorim dos Santos; CRESPO, Henrique de Almeida. Diretrizes relacionadas à implantação da infraestrutura verde para aumentar a resiliência urbana às mudanças climáticas. 2016.

CEDRU – Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano (1990) Valorização de Lisboa - VALIS, CEDRU, Lisboa.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS CGEE. Parcerias Estratégicas. Revista Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, v. 25, n. 50, p. 68-82, jun. 2020. ISSN 1413-9375.

COSTA, S. R. A. da et. al. Cadeia de suprimentos humanitária: uma análise dos processos de atuação em desastres naturais, 2015. Prod., São Paulo, v.25, n.4, p.876-893.

Cidades Brasileiras escolhem Soluções Baseadas na Natureza. [S. l.], 17 jan. 2023. Disponível em: <https://habitability.com.br/cidades-brasileiras-escolhem-solucoes-baseadas-na-natureza-veja-4-exemplos/>. Acesso em: 12 maio 2023.

DEVECCHI, Alejandra Maria et al. Desenhando cidades com Soluções baseadas na Natureza. In: PARCERIAS Estratégicas. Brasília: [s. n.], 2020. v. 25, cap. 2, p. 217-233. Disponível em:

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

https://www.researchgate.net/publication/348910499_Desenhando_cidades_c

Acesso em: 29 abr. 2024.

DRUMOND, Rafael Augusto Santos; ALMEIDA, Renan Pereira; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. Cadernos Metrópole, v. 25, p. 899-922, 2023.

ESPÍNDOLA, Isabela Battistello; RIBEIRO, Wagner Costa. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. Cadernos Metrópole, v. 22, p. 365-396, 2020.

EVERS, Henrique et al. Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras. WRI Brasil, [s. l.], 30 out. 2022. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-exemplos-implementados-por-cidades-brasileiras#:~:text=Projetos%20como%20jardins%20de%20chuva,economia>

Acesso em: 14 maio 2023.

FRAGA, Raiza. Soluções baseadas na Natureza: elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras. 2020. Tese de Doutorado (Doutor) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2020.

GIATTI, Leandro Luiz et al. Nexos para a resiliência urbana no contexto de vulnerabilidade às mudanças climáticas. Governança ambiental na macrometrópole paulista face à variabilidade climática, 2022.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

GILSON, Jacinta. Intervenções urbanas: renovação, requalificação e revitalização. Arquitetura, História e Patrimônio, [s. l.], 25 jul. 2016. Disponível em: <https://arquiteturahistoriaepatrimonio.wordpress.com/2016/07/25/intervencoe-urbanas-renovacao-requalificacao-e-revitalizacao/>. Acesso em: 17 maio 2023.

HABITABILITY, Cidades brasileiras escolhem Soluções Baseadas na Natureza. Habitability, [S. l.], p. 1-2, 17 jan. 2023. Disponível em: <https://habitability.com.br/cidades-brasileiras-escolhem-solucoes-baseadas-na-natureza-veja-4-exemplos/>. Acesso em: 2 maio 2024.

HERZOG, C. P. Cidade para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza. 1 ed. Rio de Janeiro, Mauad X: Inverde, 2013.

IPCC [Church, J.A. et al.]. Sea Level Change. In: [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013.

IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. IUCN, [s. l.], 3 maio 2020. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf>. Acesso em: 2 maio 2024.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

IKEMOTO, Silvia Marie. Modelo analítico de segurança hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza: aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ. Orientador: Johnsson, Rosa Maria Formiga. 2020. Tese de Doutorado (Doutor) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.bdttd.uerj.br:8443/handle/1/19978>. Acesso em: 1 maio 2024.

MARTINS, Rafael D.'Almeida. Governança climática nas cidades: reduzindo vulnerabilidades e aumentando resiliência. Revista Geográfica Acadêmica, v. 4, n. 2, p. 5-18, 2010.

MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. DA C. (2011). Uma revisão crítica sobre cidades e mudança climática: vinho velho em garrafa nova ou um novo paradigma de ação para a governança local? Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, pp. 611-641, 2011

PEREIRA, Maria Cristina et al. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. Dossier LABVERDE, [S. l.], v. 11, n. 01, p. 95-120, 14 dez. 2021. DOI <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189292>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/189292>. Acesso em: 1 maio 2024.

PERES, Renata. O Planejamento Regional e Urbano e a questão Ambiental: Análise da Relação entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos, SP. 2012. Tese de Doutorado (Doutor) - Universidade de São Carlos, [S. l.], 2012. Disponível

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4188/4540.pdf?sequence=1>. Acesso em: 8 maio 2023.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Prefeitura de BH lança programa Adote um Jardim de Chuva. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-de-bh-lanca-programa-adote-um-jardim-de-chuva#:~:text=A%20Prefeitura%20de%20Belo%20Horizonte,para%20quem>>. Acesso em: 11 novembro 2023

ROSA, Fábio. A Requalificação Urbana e o Espaço Público: Uma proposta para a zona de Campolide. 2017. Projeto Final de Mestrado (Mestre) - Universidade de Lisboa, [S. l.], 2017.

SIEBERT, Claudia. Resiliência urbana: planejando as cidades para conviver com fenômenos climáticos extremos. VI Encontro Nacional da Anppas, Belém, 2012.

WRI Brasil Acelerador de Soluções Baseadas na Natureza em Cidades. [S. l.], 16 ago. 2022. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/accelerador-de-solucoes-baseadas-na-natureza-em-cidades>. Acesso em: 2 maio 2024.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann et al. A questão ambiental no esquema centro-periferia. Economia, v. 4, n. 2, p. 201-221, 2003.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail: mateusclaudino@outlook.com.br

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

² Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail:
cyfiedler@gmail.com.br