ARTIGOS

Ensino e clima urbano: avaliação do impacto de simulações microclimáticas na formação em Mato Grosso do Sul

ENVI-met: impact of microclimate simulations on teaching and training of professionals in urban climate

ENVI-met: impacto de las simulaciones de microclima en la enseñanza y la formación de profesionales en climas urbanos

Camila Amaro de Souza[1]

Recebido em: 12/04/2025; aceito em: 04/06/2026
DOI: https://doi.org/10.20435/ inter.v27i1.5429

Resumo: A pesquisa avaliou a efetividade do software ENVI-met como ferramenta de ensino para o aprimoramento do entendimento sobre microclimatologia urbana, bem como seu potencial de aplicação na capacitação de profissionais de diferentes áreas. Para isso, foi analisada a percepção dos participantes em relação à sua experiência de uso e os desafios práticos associados à sua implementação. Realizada em 2024, a metodologia incluiu análises quantitativas e qualitativas, com cursos de extensão presenciais, híbridos e virtuais, além de questionários aplicados a estudantes e profissionais. Os resultados destacaram o potencial do ENVI-met para prever melhorias no planejamento urbano e ambiental, apesar de limitações relacionadas ao custo de implementação e dificuldades práticas no ensino. A pesquisa reforça a relevância das ferramentas de simulação microclimática no ensino superior e na formação continuada, contribuindo para a conscientização urbanística e a prospecção de cenários futuros, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das cidades envolvidas.

Palavras-chave: planejamento urbano; cidades resilientes; inovação; tecnologia aplicada; climatologia urbana.

Abstract: The research evaluated the effectiveness of the ENVI-met software as a teaching tool for improving understanding of urban microclimatology, as well as its potential application in training professionals in various fields. To this end, participants' perceptions of their user experience and the practical challenges associated with its implementation were analyzed. Conducted in 2024, the methodology included quantitative and qualitative analyses, with in-person, hybrid and virtual extension courses, in addition to questionnaires applied to students and professionals. The results highlighted the potential of ENVI-met to predict improvements in urban and environmental planning, despite limitations related to the cost of implementation and practical difficulties in teaching. The research reinforces the relevance of microclimate simulation tools in higher education and continuing education, contributing to urban awareness and the prospecting of future scenarios, aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the cities involved.

Keywords: urban planning; resilient cities; innovation; applied technology; urban climatology.

Resumen: La investigación evaluó la eficacia del software ENVI-met como herramienta didáctica para mejorar la comprensión de la microclimatología urbana, así como su posible aplicación en la formación de profesionales en diversos ámbitos. Para ello, se analizaron las percepciones de los participantes sobre su experiencia de usuario y los retos prácticos asociados a su implementación. Realizada en 2024, la metodología incluyó análisis cuantitativos y cualitativos, con cursos de extensión presenciales, híbridos y virtuales, además de cuestionarios aplicados a estudiantes y profesionales. Los resultados destacaron el potencial de ENVI-met para predecir mejoras en la planificación urbana y ambiental, a pesar de las limitaciones relacionadas con el costo de implementación y las dificultades prácticas en la enseñanza. La investigación refuerza la relevancia de las herramientas de simulación de microclima en la educación superior y la educación continua, contribuyendo a la conciencia urbana y la prospección de escenarios futuros, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las ciudades involucradas.

Palabras clave: planificación urbana; ciudades resilientes; innovación; tecnología aplicada; climatología urbana.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado

[1] Universidade Federal De Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual de rápidas mudanças climáticas e urbanização acelerada, o ensino e a aprendizagem de tecnologias de simulação computacional aplicadas à arquitetura e urbanismo têm se tornado cada vez mais essenciais (Garcia Filho; Oliveira, 2024). Universidades e centros de pesquisa estão incorporando ferramentas avançadas de simulação em seus currículos, capacitando futuros profissionais a utilizarem modelos de otimização e técnicas de aprendizado para desenvolver soluções inovadoras e sustentáveis no planejamento urbano (Antonoff, 2023; Procheira, 2024). Essa formação interdisciplinar permite que os estudantes compreendam e analisem de forma eficaz os complexos comportamentos microclimáticos urbanos, preparando-os para enfrentar os desafios contemporâneos de maneira crítica e eficiente.

A urbanização crescente tem intensificado o aumento da temperatura do ar urbano, afetando negativamente o desempenho energético dos edifícios e o conforto térmico externo (Oliveira, 2022). Estudos de microclima urbano, utilizando ferramentas de simulação numérica como o modelo ENVI-met, têm ganhado atenção significativa na comunidade científica (Tsoka; TsikaloudakiI; Theodosiou, 2018).

Além disso, o processo de urbanização intensivo nas regiões metropolitanas e demais centros urbanos, tem ocasionado uma série de problemas ambientais e socioeconômicos, gerando assim, inúmeros desafios para o planejamento urbano. Segundo Mota (1999), o ambiente urbano constitui-se de dois sistemas abertos que estão inter-relacionados: o primeiro é o meio biológico e físico, onde se inserem a fauna, a flora, solo, ar, água e etc. O segundo é o sistema antrópico que considera o ser humano e as atividades desenvolvidas pelo mesmo.

Nesse contexto, profissionais de arquitetura e urbanismo, engenharias e ciências ambientais desenvolvem um papel fundamental de estudos de projetos para o planejamento urbano e ambiental dos municípios, visando cidades resilientes e sustentáveis. Sendo uma abordagem que está de encontro com a Agenda 2030 dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) das Organizações Unidas (ONU).

Simulações microclimáticas têm desempenhado um papel crescente no planejamento urbano, especialmente em estratégias de adaptação climática e melhoria da qualidade ambiental. Essas tecnologias são empregadas para prever e mitigar efeitos de fenômenos urbanos, como as ilhas de calor, bem como para melhorar a ventilação e o conforto térmico nas cidades. Segundo Santamouris (2019), simulações detalhadas de variáveis microclimáticas, como temperatura, umidade e fluxo de ar, permitem que urbanistas e gestores públicos formulem políticas mais embasadas e eficientes no enfrentamento das mudanças climáticas.

Casos internacionais demonstram a eficácia dessas ferramentas para informar políticas públicas e embasar decisões sustentáveis em planejamento urbano. Em cidades como Londres, simuladores têm auxiliado na criação de zonas de resfriamento e no aprimoramento de espaços verdes (Kleerekoper, 2017), enquanto em Nova Iorque as simulações microclimáticas têm sido fundamentais para adaptar bairros a eventos climáticos extremos, como ondas de calor e inundações (Yenneti *et al*., 2020). Em Copenhague, essas simulações integram a adaptação climática diretamente ao planejamento urbano, promovendo uma gestão hídrica eficiente, um aspecto essencial para a resiliência urbana (Olazabal; Pascual, 2016).

As simulações computacionais de cenários atuais e futuros que envolvem modelagem climática urbana vem sendo cada vez mais utilizadas para ações de adaptação das cidades frente

às mudanças climáticas. Este artigo traz uma reflexão sobre: até que ponto essas análises também vêm sendo abordadas no ensino de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Ciências Ambientais, seja em sala de aula ou a partir de pesquisas e atividades de extensão?

No contexto de edifícios energeticamente eficientes, há uma necessidade crescente de ferramentas apropriadas que avaliem o desempenho energético considerando o contexto microclimático. A simulação numérica tradicional, embora poderosa, enfrenta desafios na avaliação direta da influência do microclima no consumo energético dos edifícios (Bouyer; Inard; Musy, 2011).

A integração de técnicas de aprendizado profundo, como o Operador Neural de Fourier (FNO), tem demonstrado grande potencial para acelerar a modelagem de interações complexas em sistemas dinâmicos de fluidos, permitindo simulações em tempo real do microclima urbano dinâmico 3D (Peng *et al*., 2023). Essa abordagem inovadora facilita a tomada de decisões informadas e eficientes no planejamento urbano e na concepção de edifícios sustentáveis.

Dentre os diversos softwares e aplicativos relacionados a análises urbanas e de climatologia, esta pesquisa escolheu como objeto de pesquisa o software ENVI-met e seu impacto como ferramenta de apoio para o ensino e aprendizagem de conteúdos teóricos e práticos de planejamento urbano e ambiental.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a efetividade do software ENVI-met como ferramenta de ensino para o aprimoramento do entendimento sobre microclimatologia urbana, analisando a percepção dos participantes e os desafios práticos de sua implementação em cursos de extensão e atividades acadêmicas. O estudo identificou o potencial de previsibilidade de melhorias geradas pelo software, além de limitações relacionadas ao custo de implementação e à complexidade da ferramenta, fornecendo uma base para discussões sobre a integração de novas tecnologias na educação para o planejamento urbano.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa, de abordagem quantitativa e qualitativa, contou com a participação de 60 pessoas, incluindo estudantes de graduação em Arquitetura e Urbanismo (UFMS/CPNV), estudantes de pós-graduação em Recursos Naturais (UFMS) e profissionais das prefeituras de Naviraí e Campo Grande (de setores de planejamento urbano e ambiental), no Mato Grosso do Sul, Brasil.

Uma das ações de inserção do software e aplicação do mesmo foi em cursos de extensão que ocorreram desde setembro de 2023 e se intensificaram em 2024, somando um total de 10 cursos ministrados para os diferentes públicos. Os formatos oferecidos foram: presencial, híbrido e virtual. Os conteúdos abordados incluíram uma parte teórica com a introdução ao tema de simulações computacionais microclimáticas no contexto de conforto térmico e mudanças climáticas; e uma parte prática, na qual foram ensinadas as configurações básicas para a realização de uma atividade no software ENVI-met versão gratuita 5.5.1. e 5.6.1. Os métodos de ensino abordados compreenderam desde aulas expositivas (na parte teórica) até o uso de laboratório de informática (para a parte prática).

A relevância do software ENVI-met para a simulação microclimática em áreas urbanizadas se deve ao fato dele auxiliar nas tomadas de decisão para o desenho urbano sustentável e resiliente. O software ainda tem como funcionalidade melhorar o conforto térmico e reduzir o

calor urbano, criando ambientes mais saudáveis. A partir de suas configurações é possível, por exemplo, elaborar mapas higrotérmicos, de índice de conforto térmico, de ventilação (CFD) e análises específicas de arborização urbana, tanto para os cenários atuais como para cenários futuros de melhoria ou de piora das situações de uso e ocupação do solo e de outros fatores climáticos e ambientais (ENVI-met, 2024).

Ao incorporar dados climáticos locais e modelos preditivos, esses estudos de caso revelam como políticas urbanas podem ser desenvolvidas com maior precisão, promovendo a resiliência e o bem-estar social em diferentes contextos climáticos e geográficos (Coutts *et al*. 2016). Dessa forma, as simulações microclimáticas se mostram fundamentais para práticas urbanas sustentáveis e adaptáveis, alinhadas a uma urbanização mais inclusiva e resistente às mudanças climáticas.

O ENVI-met é amplamente utilizado para simulações de microclima urbano devido à sua capacidade de modelar o comportamento atmosférico em escala local e ao seu detalhamento tridimensional. A ferramenta permite análises detalhadas de variáveis como temperatura, umidade e vento, sendo ideal para estudos de impacto ambiental e de conforto térmico (Bruse; Fleer, 2020). Embora seja bastante preciso, o ENVI-met é conhecido por ser computacionalmente exigente, o que pode limitar sua aplicabilidade em simulações de grandes áreas urbanas ou em projetos que demandem respostas rápidas. Em contrapartida, outras ferramentas, como o RayMan, são mais rápidas e eficientes para modelar o balanço de radiação em áreas urbanas e, portanto, frequentemente utilizadas em simulações de curta duração ou em estudos de conforto térmico em áreas mais extensas (Matzarakis; Rutz; Mayer, 2018).

Ferramentas como o CityFFD, baseadas em fluidodinâmica computacional, também têm ganhado espaço, especialmente para simulações de ventilação urbana e dispersão de poluentes, oferecendo maior precisão em áreas com variações geomorfológicas complexas (Dorostkar, 2019). No entanto, o ENVI-met se destaca por sua versatilidade em simular interações microclimáticas complexas, sendo especialmente útil quando combinado com softwares como o GIS para uma análise integrada do microclima urbano (Taleghani *et al*., 2019). A combinação dessas ferramentas pode proporcionar uma abordagem mais robusta e multiescalar, garantindo resultados mais abrangentes e aplicáveis no planejamento e gestão ambiental urbana.

Para avaliar o impacto do uso do *software* ENVI-met na formação desses públicos, a metodologia foi estruturada em duas ações principais: 1) cursos de extensão: foram ministrados 10 cursos em formatos presencial, híbrido e virtual; os conteúdos incluíram a introdução teórica sobre simulações microclimáticas e sessões práticas com o *software* ENVI-met (versão 5.5.1. e 5.6.1.), focando nas configurações básicas para simulações de cenários; 2) pesquisas e atividades de iniciação científica: estudantes bolsistas e voluntários aplicaram o software para análises de espaços urbanos reais na cidade de Naviraí-MS, como praças, parques e calçadas; os estudos envolveram a coleta de dados meteorológicos *in loco* e a realização de simulações microclimáticas para avaliar temas como conforto térmico e ilhas de calor urbanas.

A coleta de dados para a avaliação do impacto do software foi realizada por meio de métodos quantitativos, com aplicação de questionários e avaliações de desempenho e, por meio de métodos qualitativos, com entrevistas e análise de mensagens espontâneas de e-mail e celular, fornecendo um *feedback* direto dos participantes.

A análise de dados combinou a estatística descritiva, para avaliar o tempo de uso e os níveis de satisfação, com a análise de conteúdo, que permitiu classificar as informações qualitativas por categorias relevantes, como o nível de proficiência e a complexidade das atividades realizadas.

2.1. Aspectos Éticos

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de avaliação pedagógica institucional, voltado à análise da eficácia de ferramentas de software no ensino superior e na formação continuada. Por tratar-se de uma intervenção de natureza didática, sem a manipulação de variáveis biomédicas ou exposição dos participantes a riscos à integridade física ou psicológica, a investigação enquadra-se nas diretrizes de dispensa de submissão ao Sistema CEP/CONEP. O estudo está alinhado com as prerrogativas de avaliações de processos educacionais em contexto de extensão universitária e planejamento público, garantindo o anonimato dos participantes em todas as etapas da coleta de dados e análise de resultados, conforme as normas vigentes de ética na pesquisa em ciências humanas e sociais aplicadas.

3 RESULTADOS

Nesta parte do artigo abordou-se a avaliação do aprendizado (Figura 1), habilidades desenvolvidas e percepção dos estudantes e profissionais sobre o uso do ENVI-met. Percebeu-se uma aproximação dos alunos com a coleta de dados meteorológicos, análises e discussões, bem como nomenclaturas de espécies arbóreas e suas implicações para a resiliência urbana, diretamente conectadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Organizações Unidas (ONU) pela Agenda 2030 (Nações Unidas, 2026).

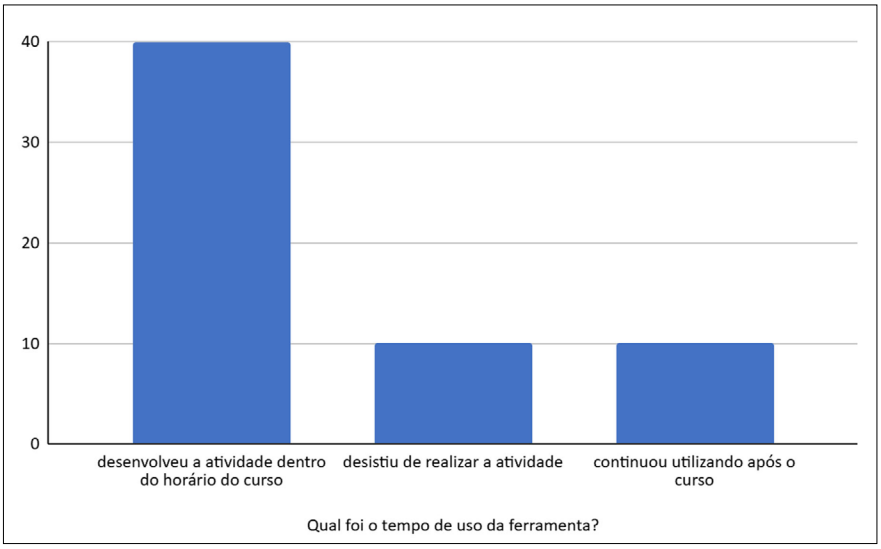
As análises obtidas através do uso do *software* foram realizadas em grupos de estudos entre alunos da graduação, com foco adicional na aplicação prática em projetos de pesquisa e estudos de caso. Já os estudantes de mestrado e doutorado citaram que as simulações microclimáticas serão inseridas em seus estudos futuros, seja de projetos de pesquisa, seja na publicação de artigos e resumos.

O ENVI-met pode ser uma ferramenta essencial para ajudar a alcançar as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ao oferecer simulações que permitam o planejamento urbano focado em sustentabilidade e resiliência climática. Com sua capacidade de modelar microclimas urbanos detalhadamente, o ENVI-met auxilia na criação de cidades mais inclusivas e sustentáveis, alinhando-se diretamente com o ODS 11, que visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

Ao simular o comportamento térmico e a dispersão de poluentes em diferentes configurações urbanas, o software ajuda gestores públicos e planejadores urbanos a identificar medidas que reduzam a poluição atmosférica e melhorem a qualidade do ar, contribuindo para o ODS 3, que busca garantir saúde e bem-estar para todos.

Além disso, o ENVI-met pode ser empregado para estudar os efeitos de áreas verdes e vegetação urbana na mitigação de ilhas de calor, o que está alinhado com o ODS 13, que trata da ação climática. Essa análise é crucial para a adaptação climática em áreas urbanas, permitindo que as cidades implementem intervenções verdes com maior eficiência, promovendo a resiliência ao clima. Simulações que integram vegetação, fluxos de ar e balanço energético urbano possibilitam uma melhor alocação de áreas verdes e contribuem para um ambiente urbano mais saudável, em harmonia com as metas de saúde, bem-estar e ação climática.

Figura 1 – Gráfico da análise do tempo de utilização do *software* pelos 60 participantes

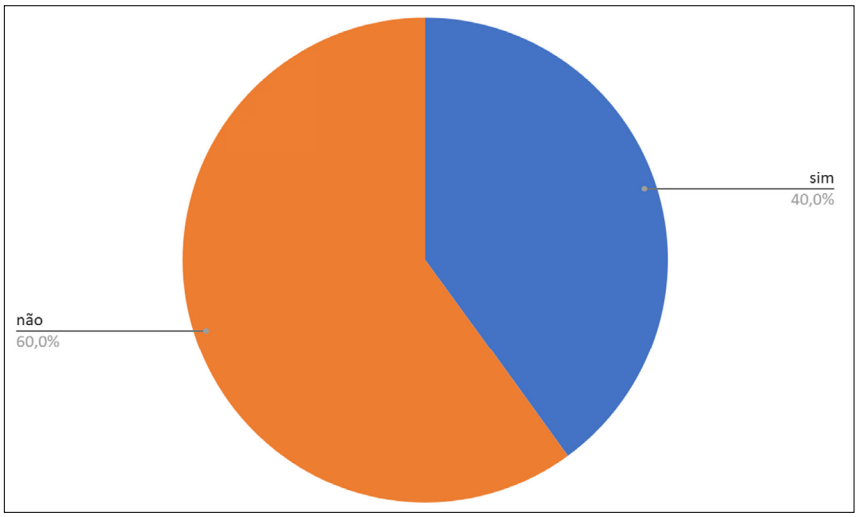


Fonte: elaborado pelos autores.

Foi possível perceber que apesar dos alunos conseguirem realizar as atividades propostas com o software, durante a aula do mesmo, não seguiram utilizando o Envi-MET. Apenas 6 participantes deram continuidade com o uso da ferramenta (Figura 1), sendo a possível explicação o fato deles estarem participando de um projeto de pesquisa relacionado ao tema em suas respectivas iniciações científicas. Enquanto isso, os demais participantes não se sentiram estimulados pois não vislumbraram a inserção dessa prática em suas rotinas de estudos e de experimentos acadêmicos.

Os profissionais das prefeituras que participaram dos cursos relataram que utilizarão o material para análises de projetos urbanos já em andamento nas respectivas cidades em que atuam (Figura 2).

Figura 2 – Gráfico da quantidade de publicações científicas derivadas do contato com o *software* pelos 60 participantes



Fonte: elaborado pelos autores.

Estes conseguiram compreender as análises e inserir em cronogramas de atividades já previstas em seus respectivos órgãos públicos, como um projeto de um parque e outro projeto de um loteamento.

Observou-se uma taxa de desistência de 66% (40 dos 60 participantes), evidenciando que a curva de aprendizado do ENVI-met atua como uma barreira de entrada significativa em contextos de graduação. Esta evasão não deve ser interpretada apenas como uma dificuldade técnica individual, mas como um reflexo da ausência de uma cultura de simulação integrada ao currículo acadêmico vigente. A transposição didática dessas ferramentas exige, portanto, mais do que tutoriais; demanda uma reestruturação pedagógica que insira a climatologia urbana como eixo central desde os primeiros semestres, reduzindo o abismo entre a teoria ambiental e a prática computacional.

3.1 Análise de evidências qualitativas e Percepção dos participantes

A análise da percepção dos participantes, obtida via mensagens espontâneas e feedbacks digitais, permitiu categorizar a experiência de uso do ENVI-met em três eixos centrais. O Quadro 1 sintetiza as evidências qualitativas que corroboram os dados quantitativos obtidos.

Quadro 1 – Categorização das percepções dos participantes sobre o ENVI-met

Categoria de Análise	Foco da Percepção	Citação
Facilidade de Interface	Usabilidade e curva de aprendizado.	"A interface surpreende pela organização; as configurações iniciais são intuitivas, apesar de demandarem foco."
Necessidade de Suporte	Interação tutor-aluno e formatos.	"O modo presencial foi decisivo; o apoio técnico imediato para solucionar dúvidas de configuração é fundamental."
Aplicabilidade Prática	Transferência do conhecimento.	"Consegui identificar como ajustar o albedo de materiais no projeto do parque, o que mudou a precisão dos nossos resultados."

Fonte: elaborado pela autora (2026).

Os dados qualitativos revelam um padrão comportamental relevante: a "facilidade de interface" foi amplamente reconhecida, contudo, a "aplicabilidade prática" é o fator determinante para a continuidade do uso. O desestímulo relatado por 40 dos 60 participantes, evidenciado na Figura 1, reflete a ausência de uma rotina prévia de experimentos em seus estudos.

Em contrapartida, os profissionais de órgãos públicos e bolsistas de iniciação científica — categorias que apresentaram maior proficiência — relataram uma correlação positiva entre o domínio técnico da ferramenta e a implementação de mudanças efetivas em projetos urbanos. A triangulação desses relatos confirma que o ENVI-met atua como uma ferramenta catalisadora, cuja eficácia é mediada pela inserção pedagógica estruturada e pela percepção de utilidade imediata na rotina profissional.

Os participantes declaram que não consideraram o programa computacional realmente complexo, mas sim uma ferramenta que exige concentração durante seu uso, por necessitar de bastante foco nos detalhes. Relataram ainda que, o software Envi-met demanda mais atenção no início do seu uso, ou seja, nas configurações, e que o passo a passo posterior é mais facilmente compreendido. Salientaram ainda que a ferramenta de simulação computacional

deve ser posteriormente estudada e colocada em prática. Os alunos do curso citaram ainda que, o Envi-met, será utilizado em outros momentos do curso, pois disciplinas de urbanismo e planejamento urbano podem ser úteis para colocar em prática esse conhecimento, bem como temas relacionados a clima e conforto ambiental.

Outros participantes enviaram mensagens sobre a relevância de conhecer um programa que pode simular cenários para analisar microclima urbanos, e acreditam que o apoio desse programa possa também ajudar com possíveis pesquisas relacionadas ao tema de simulações computacionais microclimáticas.

Apenas os estudantes de iniciação científica tiveram a iniciativa de submeter publicações sobre o tema. Foram submetidos trabalhos para revistas científicas, eventos científicos de abrangência nacional e internacional, relatórios de iniciação científica e elaboração de um e-book.

Foi possível detectar que no formato híbrido houve mais dificuldade de entendimento da metodologia e da interface do programa, conforme relatado nas diferentes mensagens e na enquete de whatsapp publicada, conforme exposto no Quadro 2. Já no formato online síncrono e presencial, os participantes relataram mais facilidade, o que ficou comprovado pelo desenvolvimento completo, durante o período previsto, da atividade proposta pela professora.

Quadro 2 – análise do ensino e aprendizagem a partir de dados coletados nas enquetes

Dados coletados	Análise dos dados
Tempo de uso da ferramenta	Todos os participantes eram iniciantes no processamento de informações com uso do Envi-met, sendo o primeiro contato com o mesmo. A maioria dos participantes do curso (40 inscritos) não utilizaram mais o programa. Os alunos de iniciação científica tiveram contato prolongado com o software, gerando inclusive publicações.
Complexidade da atividade	Em relação à complexidade de utilização do software, mais de 80% dos participantes consideraram a interface amigável (conseguiram compreender as configurações) e 11% consideraram muito complexa (não conseguiram acompanhar a atividade proposta no curso). E nenhum aluno marcou a seguinte alternativa: não alterei minha impressão sobre o software (antes e depois do curso).
Publicação de conteúdo	Durante o decorrer desta pesquisa houve a publicação de pelo menos quatorze documentos (resumos expandidos, relatórios oficiais de iniciação científica, artigos) pelos participantes dos cursos e pesquisas com o software Envi-MET, o que correspondeu a 40% dos participantes com publicações advindas do conteúdo fornecido pelos cursos.

Fonte: elaborado pelos autores.

Uma outra observação realizada, desta vez a partir dos estudos desenvolvidos pelos alunos de iniciação científica, foi que o software não tem precisão refinada para análises em clima considerado tropical como o do município de Naviraí – MS. O software ENVI-met se mostrou coerente para demonstrar a realidade térmica e de conforto térmico da população da cidade. Através das simulações também foi possível perceber que apenas o incremento de vegetação arbórea não é suficiente para adequação ambiental e promoção de ilhas de frescor nas cidades analisadas, sendo Campo Grande e Naviraí.

Detectou-se a necessidade de intervenção em tipologias de superfícies do entorno imediato das áreas analisadas para adequação do albedo dos materiais e, consequentemente, melhora no conforto térmico. A partir das análises quantitativas foi possível detectar que o público mais interessado em aprender o software foi de alunos de graduação já em fase mais avançada do curso (Quadro 3).

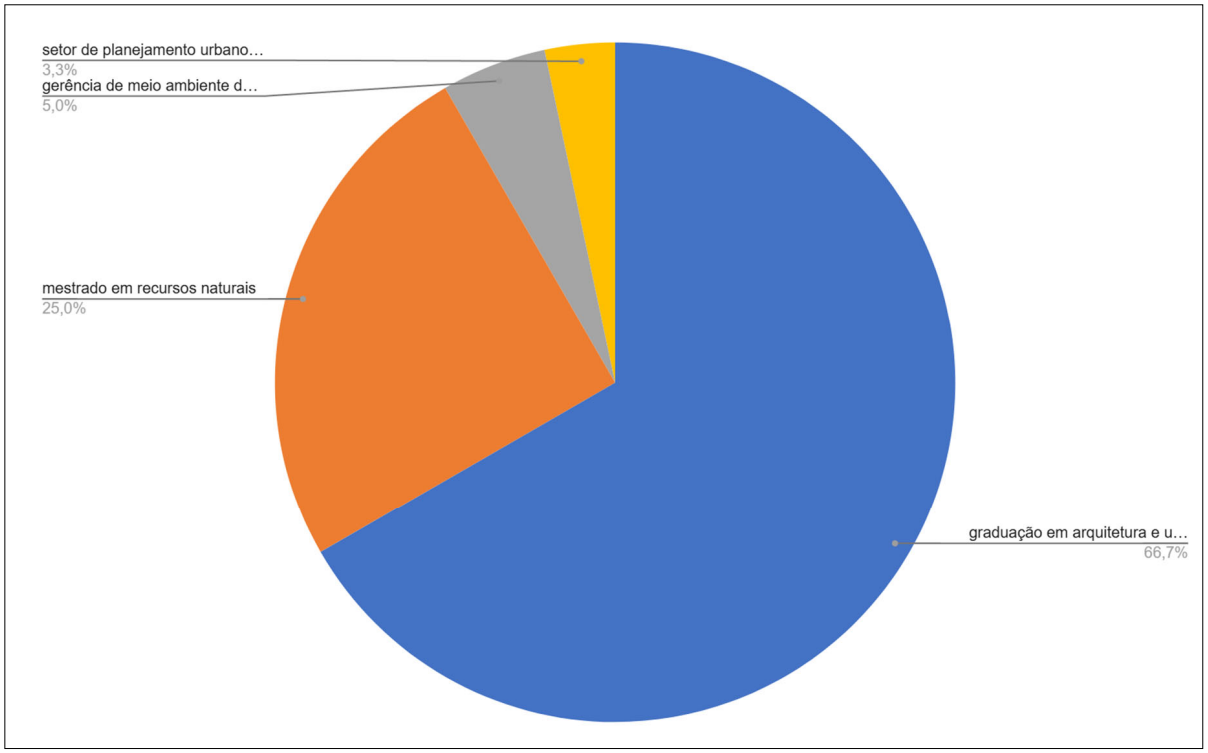
Quadro 3 – Classificação dos dados obtidos por categorias relevantes

Características analisadas	Resultados obtidos
Turma/ curso/ área de trabalho dos participantes	Graduação em arquitetura e urbanismo, mestrado em recursos naturais, gerência de meio ambiente da prefeitura de Naviraí, setor de planejamento urbano e ambiental da prefeitura de Campo Grande
Semestre do estudante/ órgão público do participante	A grande maioria dos participantes encontram-se na graduação, sendo alunos do sexto semestre em diante. Um total de 9% foi de profissionais técnicos da área. E tivemos 10% de participantes que eram provenientes de projetos de pesquisa.
Níveis de proficiência	A totalidade dos participantes não tinha contato anterior com o software, sendo iniciantes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 3 é possível observar o gráfico que divide os participantes por categoria de formação e atuação, sendo a grande maioria estudantes de graduação em arquitetura e urbanismo. A segunda maior quantidade de participantes foi de alunos de mestrado em ciências ambientais.

Figura 3 – gráfico da quantidade de participantes por categoria (estudantes e profissionais), sendo o total de 60 participantes



Fonte: elaborado pelos autores.

Ainda considerando a classificação, também por categoria, mas no que se refere a quantidade de estudantes de graduação em cada respectivo semestre de formação, constatou-se que a maioria estava no sexto semestre em diante.

Ao relacionarmos os resultados obtidos sobre o impacto no aprendizado, com discussões apresentadas pelos autores como Stewart e Oke (2012), Monteiro (1975) e Romero (2000), é possível identificar que neste campo de estudo houve uma intensificação da necessidade de

dados climáticos/ meteorológicos, de tipologias de coleta desses dados e de como analisá-los. Isso vem de encontro ao objetivo geral deste artigo, fortalecendo a necessidade de mais ferramentas como o uso do software ENVI-met na formação de estudantes de graduação em Arquitetura e Urbanismo, de pós-graduação em Ciências Ambientais e de profissionais técnicos da área que atuam em órgãos públicos municipais.

Por exemplo, os estudos de zonas climáticas locais de Stewart e Oke (2012) trouxeram um novo nível de análise de conforto térmico e simulações climáticas, com mais detalhamento e maior aproximação com o objeto. Além disso, trouxe também uma nova possibilidade de padronização universal de dados. E para que este tipo de estudo seja viabilizado, as inovações tecnológicas no âmbito de georreferenciamento, aplicativos e softwares é imprescindível.

As implicações práticas desta pesquisa nos fazem refletir sobre como os resultados podem influenciar a forma como esses cursos são oferecidos e a inserção do ENVI-met no currículo. Um exemplo é a situação atual de cidades e mudanças climáticas e como está cada vez mais difícil a tomada de decisões assertivas no que tange às análises microclimáticas. Outro ponto relevante foi o reconhecimento das limitações metodológicas e contextuais como a questão da versão gratuita ser de baixo alcance de área (em metros quadrados), tornando as simulações viáveis apenas para o alcance de 150 por 150 metros.

O desenvolvimento de algoritmos avançados, como os de otimização evolucionária assistida por substituto, oferece novas oportunidades para enfrentar os desafios do design urbano sensível ao microclima (Wu *et al*., 2021). A combinação desses algoritmos com módulos de design paramétrico permite a criação de esquemas robustos para a modelagem de problemas de design urbano, resultando em soluções que maximizam tanto o conforto ambiental quanto a viabilidade econômica dos projetos (Wu *et al*., 2021).

Essas abordagens destacam a crescente importância da simulação computacional no planejamento e design urbanos, especialmente em um contexto de mudanças climáticas globais, e ressaltam a necessidade contínua de educação e treinamento nessa área para preparar profissionais capazes de desenvolver e implementar estratégias urbanas resilientes e sustentáveis.

Foi possível perceber a necessidade de ministrar o curso presencialmente para melhor absorção do conteúdo e melhor desenvolvimento das atividades práticas propostas devido ao tipo de atendimento que o tutor desenvolve para a sua prática e devido à interação entre os participantes que fica dificultada no modo híbrido, os alunos se ajudam com dicas e apoio técnico quando o curso é ministrado presencialmente.

A simulação computacional microclimática tem se consolidado como uma ferramenta indispensável na arquitetura e urbanismo, especialmente quando o objetivo é otimizar o design urbano para aprimorar o conforto térmico e a eficiência energética (Buss, 2023). A integração de algoritmos avançados, como redes neurais e modelos de otimização, juntamente com a combinação de simulações internas e externas, oferece uma abordagem robusta para enfrentar os desafios climáticos urbanos (Bittencourt, 2021; Silva; Malvezzi, 2020). A consideração cuidadosa das características geométricas e das propriedades das superfícies urbanas é essencial para alcançar resultados precisos e práticos na prática de design urbano.

Uma das limitações identificadas é que a versão gratuita do programa consegue abranger uma área relativamente pequena de análise em metros quadrados, o que não favorece a simulação de áreas urbanas como praças, parques, trechos viários, loteamentos e outras áreas de preservação permanente, por exemplo. A versão paga fornece esse aprimoramento no que tange

seu uso em grandes áreas, mas atualmente ainda exige certa burocracia para ser implementada em universidades e faculdades públicas e particulares, o que gera atraso nas pesquisas.

O ENVI-met, uma das ferramentas de simulação dinâmica mais amplamente empregadas, permite a análise detalhada do potencial de resfriamento da vegetação urbana e de materiais frios, mostrando-se uma ferramenta eficaz na análise do clima urbano, desde que suas limitações sejam adequadamente consideradas (Tsoka; Tsikaloudaki; Theodosiou, 2018).

Algumas sugestões para aprimorar a inserção de tecnologias como o ENVI-met no ensino de Arquitetura e Urbanismo e Ciências Ambientais é já prever atividades práticas nos planos de ensino e nos cronogramas de atividades, bem como no plano pedagógico de curso. Cabe ainda a indicação de áreas para pesquisas futuras com o uso de outros softwares e aplicativos similares, sendo possível aplicar a expansão para outras regiões do país ou o desenvolvimento de módulos mais extensos de formação continuada.

Além disso, técnicas para modelar microclimas urbanos e temperaturas de superfícies de blocos urbanos são cada vez mais requisitadas por planejadores e arquitetos, especialmente em fases iniciais de projetos estratégicos urbanos. Modelos simplificados têm se mostrado eficazes na simulação de microclimas urbanos, possibilitando uma avaliação do impacto das propriedades das superfícies urbanas (Yao; Luo; Li, 2011). Comparações com dados experimentais demonstram que ferramentas de simulação podem produzir dados robustos e úteis para o design urbano sustentável.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as principais conclusões do estudo, foi possível identificar que as simulações computacionais já fazem parte da rotina de estudantes de graduação, pós-graduação e de profissionais técnicos. Diante deste contexto, o uso do Envi-MET se mostrou razoavelmente aprazível para a maioria dos estudantes e participantes desta pesquisa.

O planejamento ambiental e urbano vem ganhando com o avanço tecnológico nas aplicações das novas ferramentas que aprimoram as técnicas já consolidadas, ou seja, não estamos discutindo novas técnicas e sim aplicação de ferramentas tecnológicas para o aprimoramento dos resultados. Os gestores públicos se mostram muito mais sensíveis para a utilização de simulações computacionais nos dias atuais para as tomadas de decisão, considerando o custo benefício que as ferramentas proporcionam.

A experiência relatada nesta pesquisa mostra que o ENVI-met tem grande potencial como ferramenta de apoio ao ensino, à pesquisa e à prática profissional em urbanismo e ciências ambientais. No entanto, para que esse potencial seja plenamente realizado, é necessário superar desafios pedagógicos, técnicos e institucionais.

A simulação computacional de microclimas urbanos, em especial em contextos de mudanças climáticas, deixa de ser uma opção e passa a ser uma necessidade. É fundamental capacitar os futuros profissionais para que possam utilizar essas tecnologias com criticidade, criatividade e compromisso com a sustentabilidade urbana.

A adoção do ENVI-met como ferramenta de ensino em Mato Grosso do Sul ultrapassa a mera instrução técnica; trata-se de um vetor para o planejamento urbano resiliente. Diferente de modelos que simplificam o balanço de radiação ou a geometria urbana, o ENVI-met permite aos gestores locais de Naviraí e Campo Grande a prospecção de cenários de ocupação do solo onde a

vegetação arbórea, aliada ao albedo de materiais, é simulada com detalhamento tridimensional. Essa capacidade de predição é o diferencial que permite aos profissionais dos órgãos públicos municipais antecipar a eficácia de intervenções urbanas antes de sua execução, alinhando a prática profissional diretamente às metas dos ODS 11 e 13.

REFERÊNCIAS

ANTONOFF, F. F. *Ensino de BIM e interdisciplinaridade na graduação de arquitetura e urbanismo no Brasil*. 2023. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2023.

BITTENCOURT, G. Z. *Otimização evolutiva do desempenho térmico, lumínico e do custo de edifícios residenciais no processo BIM*. 2021. 82p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2021.

BOUYER, J.; INARD, C.; MUSY, M. Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context. *Energy and Buildings*, [*S. l.*], v. 43, n. 7, p. 1549-1559, 2011.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, [*S. l.*], v. 13, n. 3-4, p. 373-384, oct. 1998. DOI: 10.1016/S1364-8152(98)00042-5

BUSS, C. *Conforto térmico e eficiência energética de salas de aula destinadas ao ensino superior*. 2023. 307f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Latino-Americano de Tecnologia, infraestrutura e Território (ILATIT), Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, 2023.

COUTTS, A. M.; HARRIS, R. J.; PHAN, T.; LIVESLEY, S. J.; WILLIAMS, N. S. G.; TAPPER, N. J. Thermal infrared remote sensing of urban heat: hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. *Remote Sensing of Environment*, [*S. l.*], v. 186, p. 637-651, 2016. DOI: 10.1016/j.rse.2016.09.007.

DOROSTKAR, M. M. *CityFFD – City Fast Fluid Dynamics Model for Urban Microclimate Simulations*. 2019. Thesis (Doctor of Philosophy Building Engineering) – Concordia University, Montreal, 2019.

ENVI-MET. Urban cooling and climate adaptation software. ENVI-MET, [*S. l.*], Bergisch Gladbach, 2026. Disponível em: https://envi-met.com/microclimate-simulation-software/. Acesso em: 2 jun. 2026.

GARCIA FILHO, G.; OLIVEIRA, D. de. Uso da tecnologia BIM como ferramenta de ensino em disciplinas de conforto ambiental nos cursos de graduação em arquitetura brasileiros. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. *Anais* [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. Disponível em: antac.org.br. Acesso em: 2 jun. 2026.

KLEEREKOPER, L. *Urban climate design and planning*. London: Routledge, 2017.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, [*S. l.*], v. 54, n. 2, p. 415-423, 2018. DOI:10.1007/s00484-009-0261-0

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e clima urbano*. 1975. Tese (Doutorado em Livre-Docência) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1975.

MOTA, S. *Urbanização e meio ambiente*. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. *Nações Unidas Brasil*, Brasília, DF, 2026. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 22 set. 2024.

OLAZABAL, M.; PASCUAL, U. Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 18, p. 18-40, 2016. DOI: 10.1016/j.eist.2015.06.006

OLIVEIRA, I. A. *Petrolina – PE frente aos objetivos 6 e 7 do desenvolvimento sustentável*: um estudo sobre água e energia na escala urbana e do edifício. 2022. 175f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, 2022. Disponível em: https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/11400. Acesso em: 2 jun. 2026.

PENG, W.; QIN, S.; YANG, S.; WANG, J.; LIU, X.; WANG, L. L. Fourier neural operator for real-time simulation of 3D dynamic urban microclimate. *arXiv*, [*S. l.*], 30 set. 2023. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.03985

PROCHEIRA, L. A. R. Desenvolvimento de aplicativo computacional para o ensino de eficiência energética. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256802. Acesso em: 2 jun. 2026.

ROMERO, M. A. B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: ProEditores, 2000.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities: a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [*S. l.*], v. 103, p. 137-152, apr. 2014.

SILVA, T. A.; MALVEZZI, W. R. Estação meteorológica sustentável aplicada com IOT e machine learning. *Programa de Iniciação Científica – PIC/UniCEUB – Relatórios de Pesquisa*, Brasília, 2020.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, [*S. l.*], v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

TALEGHANI, M.; CRANK, P.; MOHEGH, A.; SAILOR, D. J.; BAN-WEISS, G. The impact of heat mitigation strategies on the energy balance of a neighborhood in Los Angeles. *Solar Energy*, [*S. l.*], v. 177, 2019.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, A.; THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications–A review. *Sustainable Cities and Society*, [*S. l.*], v. 43, p. 55-76, nov. 2018.

WU, Y.; ZHAN, Q.; QUAN, S. J.; FAN, Y.; YANG, Y. A surrogate-assisted optimization framework for microclimate-sensitive urban design practice. *Building and Environment*, [*S. l.*], v. 195, p. 107661, 15 maio 2021.

YAO, R.; LUO, Q.; LI, B. A simplified mathematical model for urban microclimate simulation. *Building and Environment*, [*S. l.*], v. 46, n. 1, p. 253-265, 1 jan. 2011. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.07.019

YENNETI, K.; DING, L.; PRASAD, D.; ULPIANI, G.; PAOLINI, R.; HADDAD, S.; SANTAMOURIS, M. Urban overheating and cooling potential in Australia: an evidence-based review. *Climate*, [*S. l.*], v. 8, n. 11, 2020. DOI: 10.3390/cli8110126.

Sobra a autora:

Camila Amaro de Souza: Doutora em Tecnologias Ambientais. Graduada em Arquitetura e Urbanismo. Professora adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) nos cursos de Arquitetura e Urbanismo e colaboradora no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (Mestrado e Doutorado). **E-mail:** camila.amaro@ufms.br, **ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-1982-6895

Editores Avaliadores do artigo: Victoria Mauricio Delvizio e Allan Rios Bezerra
Editores-chefes Responsáveis pelo artigo: Arlinda Cantero Dorsa e George Henrique de Moura Cunha

Disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.