A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS NO ENSINO DE CONFORTO AMBIENTAL: EXPERIÊNCIAS DIDÁTICAS NO CONTEXTO DE ENSINO REMOTO

Diego Zumpano Antonio (1); Andressa Couto Nora (2); Cecília Videira Rocha de Souza (3); Júlia Medici Tardelli (4); Karin Maria Soares Chvatal (5)
(1) Graduando de Arquitetura e Urbanismo, diego.zumpano@usp.br
(2) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, andressa.couto@usp.br
(3) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, ceciliavideira@usp.br
(4) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, juliatardelli@usp.br
(5) Doutora, Professora livre-docente do Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP), karin@sc.usp.br
Universidade de São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU), Av. Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590, São Carlos-SP

RESUMO
O atual cenário pandêmico da COVID-19 (Coronavírus SARS-CoV-2) provocou profundas alterações nas formas de organização das universidades, que se centraram no planejamento de procedimentos adaptados às novas condições, como a adoção de aulas remotas com atividades síncronas e assíncronas. Para auxiliar no desenvolvimento de atividades didáticas a serem realizadas através de ferramentas digitais e garantir o aprendizado dos conceitos teóricos das disciplinas de Conforto Ambiental do curso de graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP), foram criadas quatro pesquisas de Iniciação Científica com foco na proposição de metodologias ativas de ensino – que promovem o envolvimento dos discentes no processo de aprendizagem através da resolução de problemas práticos e realísticos. Sendo assim, este artigo apresenta as experiências das pesquisas e faz uma análise do uso das ferramentas digitais nos processos de ensino. A metodologia utilizada consistiu em: levantamento de alternativas de ferramentas digitais, seleção para o desenvolvimento das atividades didáticas e aplicação experimental com posterior análise das resoluções. Os resultados da avaliação permitiram corroborar a eficiência das ferramentas digitais para a proposição de metodologias ativas de ensino, além de identificar o incentivo à diversidade de respostas a partir da reflexão particular dos alunos. Conclusivamente, as análises possibilitaram a enunciação de indicações para futuras aplicações das atividades, como a inclusão de um momento subsequente de discussão com os discentes, e para a proposição de novas atividades auxiliadas por ferramentas digitais.

Palavras-chave: metodologias ativas de ensino, atividades didáticas, ferramentas digitais.

ABSTRACT
The current pandemic scenario of COVID-19 (Coronavirus SARS-CoV-2) has provoked great changes in the forms of organization of the universities, which have focused on planning adapted procedures that fit the new conditions, such as the adoption of online classes with synchronous and asynchronous activities. Therefore, four scientific initiation researches aiming to support the development of didactic activities to be performed through digital tools were created. They sought to ensure the learning of the theoretical concepts related to the environmental comfort disciplines of the undergraduate course of the Institute of Architecture and Urbanism of São Carlos (IAU-USP) by proposing active teaching methodologies, which promote the involvement of students in the learning process through the resolution of practical and realistic problems. This article in turn intends both to present the researches' experiences and to make an analysis of the use of digital tools in the teaching processes. The adopted methodology consisted of: survey of digital tool options, selection for the elaboration of the didactic activities and experimental application with further analysis of the results. The results of the evaluation allowed to corroborate the efficiency of digital tools to promote active teaching methodologies and to recognize the incentive to the variability of responses based on the students' particular reflection. In conclusion, the analyzes also made it possible to enunciate indications for future applications of the activities, such as the inclusion of a subsequent moment of discussion with the students, and for the proposition of new activities using digital tools.

Keywords: active teaching methodologies, didactic activities, digital tools.

1. INTRODUÇÃO

Os processos e as metodologias que envolvem a prática do ensino como um todo e, mais especificamente, do campo de Conforto Ambiental são alvo de estudo de diversos pesquisadores em nível nacional e internacional. O grau de complexidade desse tema exige que a conduta dos pesquisadores e profissionais da área seja constantemente repensada e adaptada às inovações criadas. Neste sentido, o atual cenário pandêmico da COVID-19 (Coronavírus SARS-CoV-2) exigiu - e continua exigindo - soluções rápidas e eficientes por parte das universidades para dar continuidade às atividades de ensino, que, de modo geral, deixaram de ser realizadas presencialmente e migraram para as aulas remotas, como foi o caso do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP) ao seguir as deliberações elaboradas pelos "Planos USP de readequação do ano acadêmico". Embora algumas dessas medidas tenham caráter emergencial e provisório, forçaram, por um lado, a enxergar possibilidades para além do que é de praxe e, por outro, a revisar soluções já empregadas, mas pouco exploradas.

Os avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) tornaram possível a realização das aulas remotas, alternativa encontrada por grande parte das instituições de ensino para dar continuidade ao aprendizado durante este período, e, junto a isso, a adaptação dos materiais que dão amparo ao processo de aquisição de conhecimento, como as atividades didáticas. Morán (2015) utiliza os termos "ensino híbrido" ou *"blended"* para designar a integração e a ampliação da educação que, devido à tecnologia, não ocorre mais somente nos espaços físicos da escola, mas se expande para as interfaces virtuais.

Com relação ao ensino de Conforto Ambiental nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo, a informática propiciou ferramentas digitais e *softwares* capazes de realizar simulações antes impraticáveis ou somente possíveis através de equipamentos físicos (como heliodons, mesas d´água e caixas quentes). Para além das contribuições que concernem as simulações e análises de desempenho, Delbin (2006 apud VILELLA; LIMA; ZANCANELI, 2015) discorre sobre o potencial conciliatório dessas ferramentas para estreitar as relações entre as áreas de Conforto e Projeto, comumente encaradas como díspares e dissociáveis. No entanto, ainda segundo os autores, existem barreiras para a implementação de tais tecnologias, pois demandam esforços e investimentos para reestruturar metodologias e materiais já consagrados, dificilmente colocados de lado para a abertura de novas possibilidades, mesmo quando estas conferem uma maior amplitude de resultados com mais precisão e em menos tempo.

Outros dois conceitos muito utilizados no contexto educacional são o *learning by doing* (aprender fazendo) e as "metodologias ativas de ensino", ambas inclusas na clássica relação entre teoria e prática. As incumbências atribuídas ao arquiteto envolvem não somente ele como indivíduo, mas uma gama complexa de elementos, o que requer especial cuidado na tomada de decisões, incluindo as de cunho projetual. Assim, métodos ativos de ensino e aprendizagem, que colocam os alunos no centro do processo, permitem o uso do pensamento crítico e criativo, além de fazê-los pensar na solução de problemas reais que vivenciarão no dia a dia da profissão, pois, em Arquitetura, o processo é tão importante quanto o produto final (YAZICI; TÖRE, 2014; MORÁN, 2015).

Isso posto, fica evidente o infindável campo de oportunidades que o emprego de ferramentas digitais no processo de ensino-aprendizagem de Conforto Ambiental oferece, questão que é continuamente discutida por uma extensa bibliografia (SARAMAGO; BORTOLI, 2012; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; VILELLA; LIMA; ZANCANELI, 2015; BINI; GALAFASSI, 2017; LEAL; SALGADO, 2019), mas que, especialmente em nível nacional, ainda carece de maiores estudos e, principalmente, experiências práticas das discussões. É neste sentido que este artigo apresenta uma análise das potencialidades das ferramentas digitais utilizadas no desenvolvimento de quatro pesquisas de Iniciação Científica (na modalidade de ensino) que tiveram como objetivo a proposição de atividades didáticas de diferentes assuntos que compreendem o Conforto Ambiental para aplicação em um contexto de ensino remoto.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente artigo consiste em expor experiências de desenvolvimento de atividades didáticas auxiliadas por ferramentas digitais, de forma a analisar o potencial dessas ferramentas para contribuir na adoção de metodologias ativas de ensino-aprendizagem no contexto de ensino de Conforto Ambiental nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo.

3. MÉTODO

Consideradas em conjunto, as pesquisas de Iniciação Científica com foco no ensino adotaram uma metodologia em comum composta pelas seguintes etapas: revisão bibliográfica do aspecto teórico;

levantamento de alternativas de ferramentas digitais e seleção; desenvolvimento e proposição das atividades didáticas; e aplicação experimental das atividades e análise dos resultados. Logo abaixo, na Figura 1, segue o diagrama que compreende as etapas da metodologia e uma breve descrição das atividades realizadas em cada uma delas, descrição que é destrinchada nos tópicos seguintes.

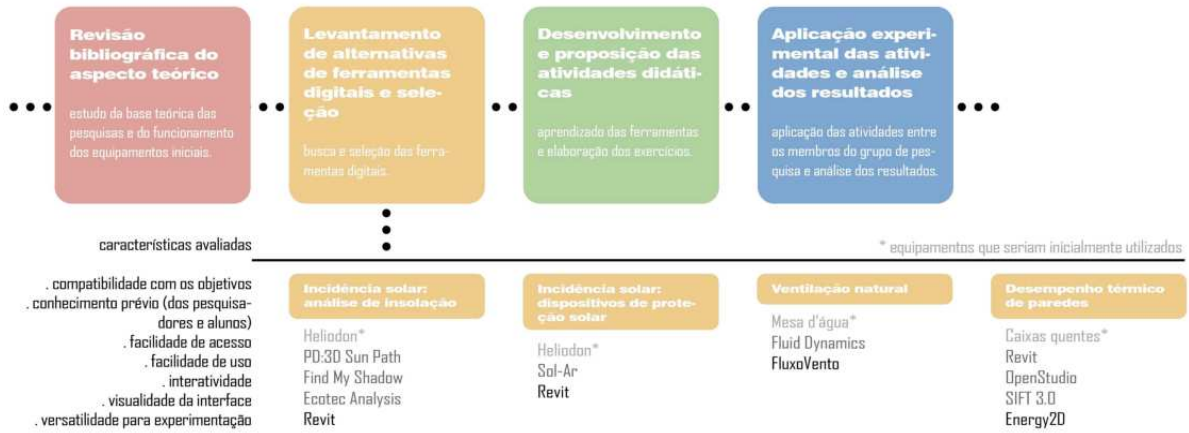

Figura 1 – Diagrama do processo metodológico adotado.

3.1. Revisão bibliográfica do aspecto teórico

Na primeira etapa das pesquisas, houve uma intensa revisão bibliográfica a respeito da base teórica que envolve os temas tratados pelas Iniciações Científicas, incluindo o funcionamento dos equipamentos que seriam inicialmente utilizados para a elaboração das atividades didáticas e: os fenômenos que envolvem a radiação solar (LECHNER, 1991; MCCLUNEY, 1994); dispositivos de sombreamento e levantamento de modelos de Heliodon (SZOKOLAY, 2007; MARTINS, 2018); propriedades térmicas da envolvente (ABNT, 2005; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014); ventilação natural (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006; FROTA; SCHIFFER, 2001); e metodologias ativas de ensino (BERBEL, 2011; YAZICI; TÖRE, 2014; MORÁN, 2015).

3.2. Levantamento de alternativas de ferramentas digitais e seleção

Após a fase de revisão bibliográfica e a partir da impossibilidade de utilização dos equipamentos que se encontram no Laboratório de Conforto Ambiental (LCC) do Instituto, visto que as atividades presenciais haviam sido suspensas, a decisão tomada considerou a alteração dos materiais utilizados para a realização das pesquisas, o que representava a migração para as ferramentas digitais. Sendo assim, deu-se início à busca por alternativas para a elaboração das atividades que respeitassem tanto o modelo de aulas remotas adotado pelo Instituto quanto os objetivos inicialmente estabelecidos, o que incluía a manutenção da excelência do ensino através da adoção de metodologias ativas. Para tanto, foram levados em consideração alguns aspectos que caracterizavam as ferramentas, como exposto anteriormente na Figura 1.

3.2.1. Incidência solar: análise de insolação e dispositivos de proteção solar

A pesquisa com foco na incidência solar voltada para o estudo de insolação reuniu quatro alternativas de ferramentas: o PD:3D Sun-Path (Andrew Marsh, disponível em: <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html>), Find My Shadow (Matt Swain, disponível em: <https://www.findmyshadow.com/>), Ecotec Analysis (Autodesk) e Revit (Autodesk). O PD:3D Sun-Path permite a visualização da posição solar e da projeção das sombras para a localidade e data indicadas pelo usuário, no entanto, a ferramenta não conta com um recurso para a modelagem livre, sendo necessário importar modelos de outros programas. O Find My Shadow, por sua vez, conta com funções similares às da ferramenta anterior, diferenciando-se pela possibilidade de modelagem 2D, mas que ainda assim inviabiliza a análise de insolação desejada para os exercícios. Sendo assim, foi feita uma procura por ferramentas que possibilitam a modelagem 3D, sendo encontrado o Ecotec Analysis, da Autodesk. Contudo, verificou-se a indisponibilidade do programa, uma vez que este está passando por processo de desligamento por parte dos desenvolvedores. Finalmente, optou-se pela realização da atividade didática por meio do *software* Revit, amplamente utilizado pelos alunos do Instituto e que cumpre com os requisitos das simulações (livre escolha da localização e data, projeção das sombras e modelagem 3D).

Em relação à atividade envolvendo os dispositivos de proteção solar, inicialmente foi considerada a ferramenta Sol-Ar (LabEEE, UFSC), através da qual é possível observar as máscaras de sombra de proteções solares segundo a latitude e os ângulos de projeção da sombra definidos pelos usuários. Entretanto, reconsiderando os objetivos iniciais da pesquisa e visando a maior similaridade com os tipos de ensaio que seriam desenvolvidos com o Heliodon, observaram-se discordâncias em relação à utilização do Sol-Ar. Desse modo, decidiu-se pela seleção do programa Revit (também utilizado para a pesquisa de estudo da insolação), que, além de permitir as simulações de mancha solar, conta com a livre modelagem de componentes. A Figura 2 apresenta a interface do Revit e os principais recursos utilizados para a elaboração da atividade.

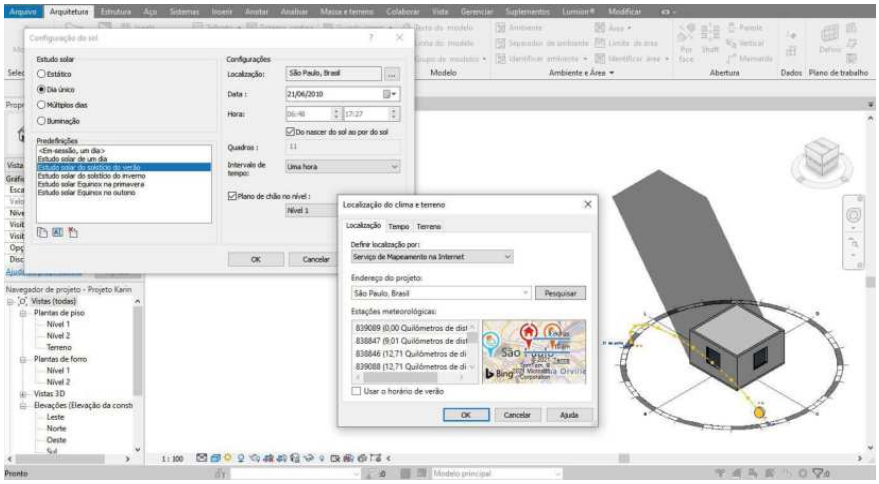

Figura 2 – Interface do programa Revit mostrando alguns recursos para a configuração do caminho do sol e da geolocalização.

3.2.2. Ventilação natural

De início, na busca por uma ferramenta digital de fácil acesso e que permitisse a realização de simulações *online*, sem a necessidade de ser instalada, foi levantada a alternativa para a utilização da ferramenta Fluid Dynamics Simulation (Weber State University, disponível em: <https://physics.weber.edu/schroeder/fluids/>). Esta apresenta similaridades na forma de visualização das simulações com a mesa d'água e possui uma interface intuitiva, permitindo a análise bidimensional do fluxo do vento através de *layouts* livremente criados pelos usuários, que podem alterá-los de maneira fácil e rápida. Todavia, o programa não se adequou inteiramente em decorrência da escassez de recursos para o registro da simulação, elemento útil para a realização dos exercícios pretendidos.

A segunda opção encontrada foi o *software* FluxoVento, selecionado para a criação da atividade. O programa foi desenvolvido por um grupo de pesquisas da PUC-Rio e tem como objetivo possibilitar a simulação da ventilação cruzada através de arranjos (em planta ou corte) compostos por paredes e aberturas definidos pelos usuários. O caminho das correntes de vento é representado por linhas que atravessam o plano de simulação, delineando as regiões com maior e menor concentração de vento no interior e no entorno do arranjo criado, como é demonstrado na Figura 3, que apresenta a área de trabalho do FluxoVento e a forma de representação das simulações.

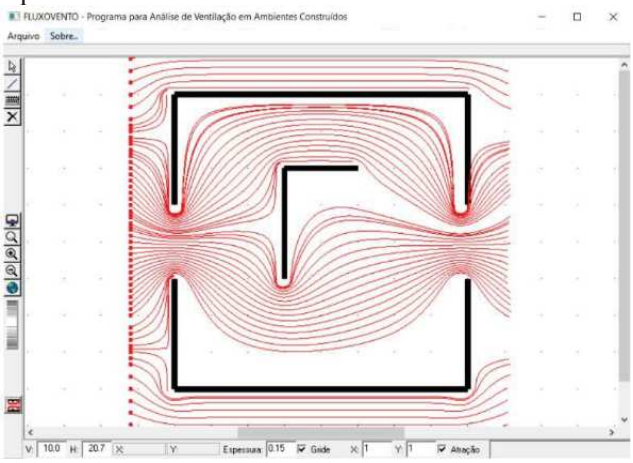

Figura 3 – Interface do programa FluxoVento.

3.2.3. Desempenho térmico de paredes

No contexto da elaboração da atividade didática através de ferramentais digitais para a compreensão dos fenômenos que envolvem o desempenho térmico de paredes, foram consideradas quatro alternativas: Revit, OpenStudio (NREL, LLC), SIFT 3.0 (Perfil Térmico, disponível em: <https://www.perfiltermico.com.br/sift>) e Energy2D (The Concord Consortium).

O Revit apresenta os benefícios de ser comumente utilizado pelos alunos do IAU desde os primeiros anos da graduação e também de dispor de uma interface razoavelmente intuitiva, especialmente se tratando de usuários que possuem contato prévio com a ferramenta. Entretanto, após mais estudos, constataram-se limitações do programa ao ser levado em conta os objetivos da pesquisa, uma vez que o mesmo comporta apenas a atribuição de valores às propriedades térmicas dos materiais que compõem o elemento modelado, não sendo possível a observação das trocas de calor entre os elementos e o ambiente. Com relação ao OpenStudio, que está atrelado ao *software* de modelagem 3D SketchUp, verificou-se a necessidade do emprego do EnergyPlus para a visualização das análises, fator que inviabilizou a elaboração da atividade através daquele, pois exigiria o aprendizado de duas diferentes e complexas ferramentas por parte dos alunos. Já o SIFT 3.0, que não se trata de um *software*, mas de uma ferramenta disponível em página da *web* que possibilita a simulação do fluxo térmico através da geração de um relatório apresentado logo após o preenchimento dos dados do experimento, também demonstrou uma limitada experiência aos usuários, que não são capazes de acompanhar visualmente as trocas de calor no sistema. Por fim, a ferramenta que mais se mostrou adequada para a proposta foi o Energy2D, pois apresentou grande potencial na promoção do engajamento dos discentes no processo de aprendizado e, com o auxílio das instruções que seriam fornecidas, os alunos não teriam grandes dificuldades de acesso e manejo do programa. A Figura 4 ilustra a interface do programa e os recursos disponibilizados pelo mesmo.

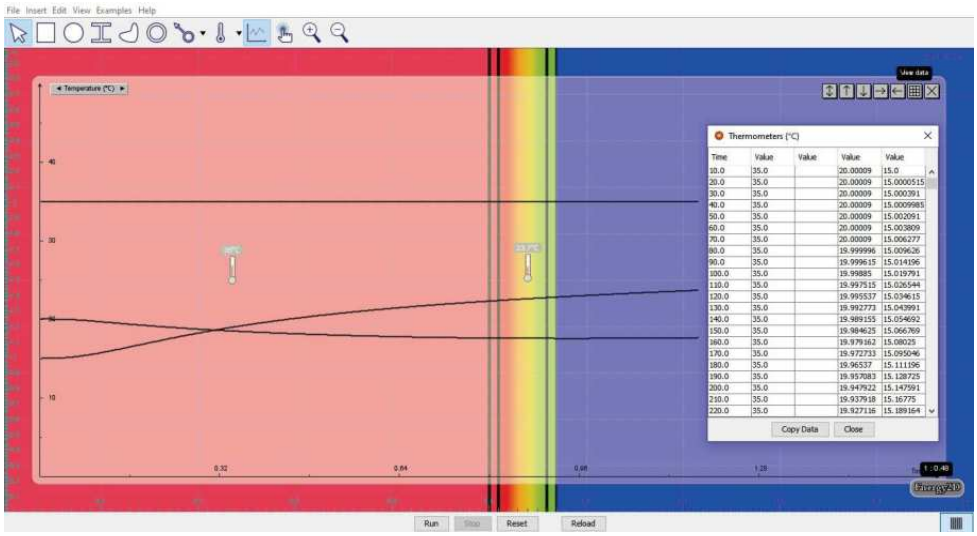

Figura 4 – Interface do programa Energy2D junto ao gráfico e à tabela que podem ser gerados a partir das simulações.

3.3. Desenvolvimento e proposição das atividades didáticas

Na terceira etapa das pesquisas, ocorreu o processo de familiarização dos pesquisadores com as ferramentas digitais selecionadas para que, então, estivessem aptos a propor as atividades didáticas. Os exercícios para a análise de insolação visavam a investigação do posicionamento de edifícios e o impacto da volumetria dos mesmos em uma quadra e no entorno, permitindo visualizar as fachadas com maior insolação e a projeção das sombras de acordo com determinada localização e diferentes datas. A atividade para o estudo dos dispositivos de proteção solar teve como foco o ensaio da eficiência de brises verticais, horizontais e inclinados de diferentes dimensões em uma edificação cúbica genérica com aberturas nas quatro fachadas. Já com a atividade de ventilação natural, os alunos deveriam se atentar à trajetória dos ventos em ambientes com arranjos diversos que permitiam a ventilação cruzada. Por último, os exercícios de desempenho térmico de paredes propunham a observação da transferência de calor através de diferentes tipologias de parede, considerando as diversas materialidades, espessuras e os valores de transmitância e condutividade térmica das mesmas.

3.4. Aplicação experimental das atividades e análise dos resultados

Na quarta e última fase de desenvolvimento das pesquisas, foram conduzidas as aplicações experimentais das atividades didáticas e, em seguida, a análise do conjunto de respostas obtido. Com exceção do exercício de desempenho térmico de paredes, o qual exigiu maior tempo para o estudo e a adequação da ferramenta aos objetivos, as demais atividades didáticas foram aplicadas entre os quatro membros do grupo de pesquisa a fim de se traçar uma avaliação inicial da eficiência das mesmas e das ferramentas digitais escolhidas. Através das aplicações, seria possível identificar falhas de enunciação, inconsistências das ferramentas digitais, o

tempo médio despendido para a realização das atividades, insuficiência ou excesso na quantidade de exercícios e possíveis medidas para favorecer a compreensão desses últimos, como a produção de tutoriais.

4. RESULTADOS

Os tópicos seguintes apresentam os resultados adquiridos por cada atividade didática. Desse modo, indicam-se os objetivos das atividades e quais materiais foram produzidos para atingi-los. Ademais, são expostas as análises das aplicações experimentais realizadas entre os pesquisadores do projeto (quatro alunos), elucidando pontos de sucesso e dificuldades observados, o tempo médio de duração para a resolução e sugestões para o aperfeiçoamento das atividades

4.1. Incidência solar: análise de insolação

A atividade didática com enfoque na análise de insolação utilizou o *software* Revit como ferramenta digital para a realização dos exercícios elaborados. Além da modelagem 3D, os exercícios demandavam o uso do recurso "caminho do sol", o qual simula o movimento aparente do sol de acordo com a data, hora e localização estabelecidas pelo usuário. Assim, os alunos poderiam visualizar as áreas com maior e menor sombreamento e a dimensão das sombras em cada época do ano no modelo produzido, composto por edifícios multipavimentares e uma área de lazer implantados em uma quadra genérica. Para auxiliar na resolução dos quatro exercícios da atividade, foi feito um tutorial textual acompanhado de imagens.

A partir das respostas obtidas e da análise delas, foi possível identificar as seguintes observações:

a) Algumas dificuldades de interpretação das simulações indicaram um nível reduzido de compreensão do recurso "caminho do sol", mesmo se tratando de alunos com experiência em Revit e sendo disponibilizado o tutorial textual. Como forma de mitigar este problema, foi sugerida a substituição do tutorial em forma de texto por um em vídeo, através do qual poderia haver um melhor treinamento da ferramenta.

b) Alguns aspectos da resolução dos exercícios estimulavam a liberdade de escolha do aluno (por exemplo, foi solicitada a implantação de um segundo edifício na quadra, de forma a avaliar a melhor posição em relação ao edifício já existente e às áreas de maior insolação e sombreamento entre eles, como pode ser observado na Figura 5), fator que contribuiu para a autonomia deste e para a maior variabilidade de respostas. Por outro lado, a falta de maiores detalhamentos no enunciado causou desconformidades, o que pode ser evitado com a adaptação do mesmo e/ ou, quando possível, com o acompanhamento de uma explicação oral dos exercícios.

c) O tempo médio para a resolução da atividade foi de cerca de 1 hora e 30 minutos. Entretanto, por dificuldades com a modelagem 3D, houve um caso que excedeu consideravelmente este tempo. Logo, a disponibilização dos arquivos Revit já modelados pode auxiliar nesta questão, deixando apenas as simulações a cargo dos discentes.

Apesar dos apontamentos feitos, o Revit apresentou um ótimo desempenho, reflexo das análises de qualidade feitas pelos alunos. As informações sobre o tempo para a realização da atividade indicam uma vantagem em relação ao Heliodon, pois as maquetes digitais podem ser modeladas e alteradas com maior rapidez, quando comparadas às maquetes físicas. A Figura 5 expõe algumas das simulações obtidas com a aplicação experimental da atividade.

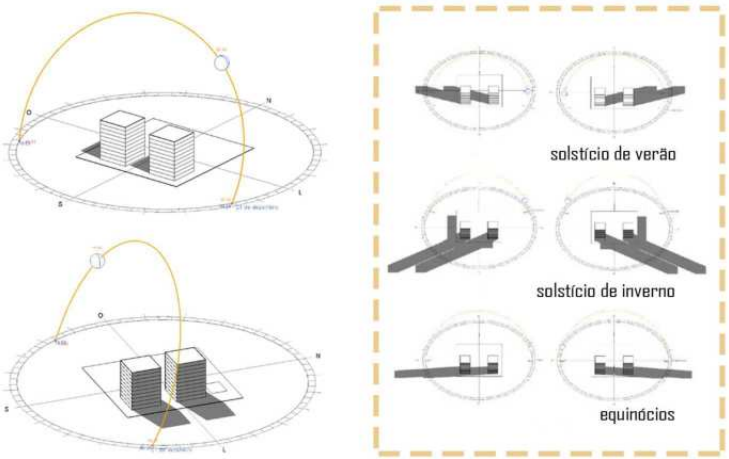

Figura 5 – Conjunto de simulações anexadas nas resoluções da aplicação experimental da atividade para análise de insolação.

4.2. Incidência solar: dispositivos de proteção solar

A atividade didática para auxiliar na compreensão dos dispositivos de proteção solar utilizou como ferramenta digital o *software* Revit. Os exercícios tiveram como foco a análise dos métodos passivos de sombreamento, neste caso, os brises verticais, horizontais e inclinados. Para a realização da atividade, foram disponibilizados o arquivo Revit modelado para as simulações (que consiste em uma edificação cúbica com fechamentos e aberturas nas quatro fachadas, nas quais seriam modelados os dispositivos de sombreamento pelos discentes) e o arquivo contendo os exercícios propostos. Nas linhas iniciais da atividade, foi apresentado um passo a passo para auxiliar na definição das configurações iniciais da ferramenta "caminho do sol" e nos procedimentos de modelagem que deveriam ser seguidos.

A partir da aplicação experimental conduzida, os seguintes aspectos foram identificados:

a) Não houve problemas de interpretação dos enunciados e a liberdade de dimensionamento de alguns elementos foi essencial para garantir a maior diversidade de análises e reflexões. Além disso, os exercícios mais balizados também não apresentaram unanimidade de julgamento por parte dos alunos, que atribuíram diferentes níveis de eficiência para um mesmo dispositivo, indicando a distinção dos critérios de avaliação utilizados por aqueles (enquanto alguns levavam em conta o desempenho do elemento de sombreamento para um único momento ou uma única fachada, outros analisavam o desempenho comparando com outras horas do dia, outra estação do ano ou até outra fachada, por exemplo).

b) O tempo médio de duração para a resolução da atividade foi de 1 hora e 45 minutos, tempo inferior ao que era esperado. Por consequência, foi sugerida a adição de um exercício para tratar da inclinação de brises horizontais, de forma a complementar o exercício existente sobre inclinação de brises verticais e melhor abranger o tema da atividade.

De modo geral, o Revit como ferramenta digital para a elaboração desta pesquisa apresentou um ótimo desempenho, uma vez que conferiu maior liberdade para a modelagem dos elementos e estendeu as possibilidades de estudo, não deixando a desejar na análise dos dispositivos de sombreamento. Além da facilidade para fazer alterações nas dimensões e no posicionamento dos brises com a modelagem digital, o próprio programa conta com recursos para gravar vídeos e salvar imagens das simulações, o que favorece a posterior análise dos resultados e representa um benefício da utilização da ferramenta. A Figura 6 apresenta algumas simulações realizadas durante a aplicação experimental.

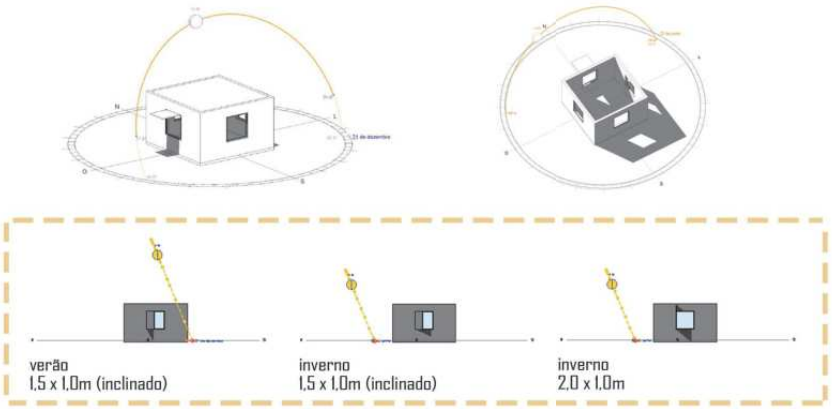

Figura 6 – Conjunto de simulações anexadas nas resoluções da aplicação experimental da atividade para análise dos dispositivos de proteção solar.

4.3. Ventilação natural

A atividade didática voltada para a compreensão dos fenômenos que envolvem a ventilação natural fez uso do programa FluxoVento, que simula a trajetória da circulação do vento em composições (em planta e corte) elaboraras pelos usuários. Durante a fase de estudo da ferramenta digital, foram identificadas e excluídas tipologias defeituosas, cujas simulações se mostraram incompletas e imprecisas. No enunciado de apresentação da atividade, foram disponibilizados os links para *download* do programa e para o redirecionamento a um tutorial em vídeo de autoria da pesquisadora sobre o uso da ferramenta. Ao todo, a atividade compreendeu cinco exercícios, que deveriam ser respondidos através de imagens das simulações feitas pelos alunos e de textos explicativos.

A aplicação experimental feita com os três pesquisadores resultou nos seguintes apontamentos:

a) Todas as simulações realizadas por um dos alunos foram incompletas, apesar da seleção prévia dos *layouts*, demonstrando um baixo desempenho do programa FluxoVento.

b) As imagens anexadas pelos alunos nas resoluções dos exercícios evidenciaram a não conformidade das simulações realizadas na ferramenta digital, uma vez que apresentaram diferenças entre si. As imagens das simulações defeituosas da aluna citada anteriormente foram as mais diferentes, enquanto as dos outros dois alunos, apesar de apresentarem pequenas divergências, não influenciaram para uma análise equivocada.

c) O tempo médio despendido para a realização da atividade foi de 1 hora e 40 minutos, não havendo excepcionalidades, o que implica a possibilidade de ausência de dificuldades específicas entre os alunos.

Diante das observações apontadas e das respostas obtidas pela aplicação experimental, as simulações pelo programa FluxoVento, apesar de contribuírem para a reflexão do posicionamento adequado das aberturas de projetos, apresentaram desempenho pouco satisfatório, especialmente em decorrência das inconsistências ocorridas, que diminuem as possibilidades de utilização e a confiabilidade da ferramenta. Dessa forma, sugerem-se maiores estudos a respeito do funcionamento do FluxoVento e o acompanhamento próximo de aplicações de atividades com o programa, de forma a sanar problemas técnicos que os alunos possam ter. Em caso de insucessos, o mais aconselhado seria a seleção de outra ferramenta digital e a readequação do exercício pedagógico. Ao lado, a Figura 7 demonstra algumas das divergências encontradas nas simulações realizadas durante a aplicação e a diversidade de respostas obtidas.

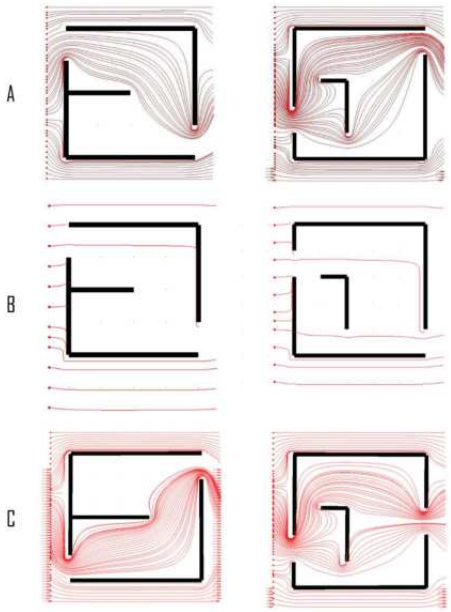

Figura 7 – Conjunto de simulações anexadas nas resoluções da aplicação experimental da atividade para análise da ventilação natural.

4.4. Desempenho térmico de paredes

A atividade didática com foco na análise do desempenho de paredes teve como objetivo propor exercícios para a compreensão dos fenômenos que envolvem a transferência de calor através de diferentes tipologias de parede, atentando-se às diversas materialidades, espessuras e aos valores de transmitância e condutividade térmica. Assim, foram elaborados modelos que possibilitassem comparações pertinentes, como a análise de paredes de mesma materialidade, mas diferentes espessuras, e vice-versa. Dentre as ferramentas digitais estudadas, foi selecionado o programa Energy2D, tendo em vista a interface altamente visual e interativa que possui, simulando a transferência de calor através da gradação de cores e possibilitando, ainda, a geração de gráficos e tabelas dos resultados.

Por conta do processo de estudo da ferramenta e das três fases de teste necessárias para incrementar a qualidade da atividade proposta, não houve tempo hábil para a aplicação experimental. Ainda assim, foi possível analisar, mesmo que do ponto de vista do pesquisador e da orientadora responsáveis, a eficácia da ferramenta digital no processo de ensino-aprendizagem. Para futuras aplicações, foram elaborados o enunciado contendo dois exercícios e o redirecionamento para baixar o Energy2D, e os modelos finais para serem simulados. A partir das fases de teste e do resultado final da atividade pedagógica, foi possível levantar as seguintes observações:

a) As simulações com duração de 24 horas (cronômetro do programa, que é configurado com maior velocidade) permitem uma melhor análise dos resultados, pois, em muitos casos, quando a parede possui condutividade e transmitância térmica elevadas, é possível observar o momento em que o modelo atinge o equilíbrio térmico (tanto o ambiente interno quanto a parede atingem a mesma temperatura do ambiente externo, que, nos modelos, é a fonte de calor e possui temperatura constante).

b) Considerando que a principal propriedade térmica a ser observada pelos discentes durante as análises é a transmitância térmica - esta variável não é inserida no programa, mas calculada pelos alunos separadamente -, que é influenciada pela condutividade térmica e pela espessura das paredes, apenas estas variáveis foram consideradas e seus valores foram inseridos de acordo com a materialidade desejada, enquanto os valores dos demais parâmetros foram mantidos constantes para todas as paredes. A Tabela 1 apresenta os valores das propriedades térmicas utilizadas para os modelos e a Figura 8 ilustra o desempenho das paredes já no final das simulações.

Em relação à atividade desenvolvida, as solicitações dos exercícios foram feitas de forma ordenada e guiada, orientando os discentes a se atentarem progressivamente às informações. Com o primeiro exercício, espera-se que os alunos comecem a se familiarizar com a dinâmica do programa ao mesmo tempo que interpretem os dados que lhes são apresentados, associando-os aos conteúdos de transferência de calor estudados. Já com o exercício posterior, os alunos passam a fazer alterações de modelagem diretamente no Energy2D e as análises assumem maior grau de complexidade.

Finalmente, espera-se que esta ferramenta pedagógica possa ser utilizada em outras disciplinas (na justificativa da escolha de materiais e espessuras para as paredes externas de um projeto, a nível de exemplo) e, até mesmo, na carreira profissional ou acadêmica dos discentes.

Tabela 1– Características dos materiais utilizados para a modelagem e simulação das paredes.

Parede	**Espessura [cm]**	**Condutividade térmica [W/m.K]**	**Calor específico [J/kg.K]**	**Densidade [kg/m^3]**	**Transmitância* [W/M².K]**
Concreto	10	1,75	1000	2000	4,4
Tijolo maciço	9	0,89			3,69
Tijolo maciço + reboco	13	1,149 (reboco); 0,89 (tijolo)			3,28
Drywall + lã de vidro	10	0,349 (gesso); 0,045 (lã de vidro)			0,5
	12				0,41

* Esta propriedade não é inserida no Energy2D, mas calculada separadamente.

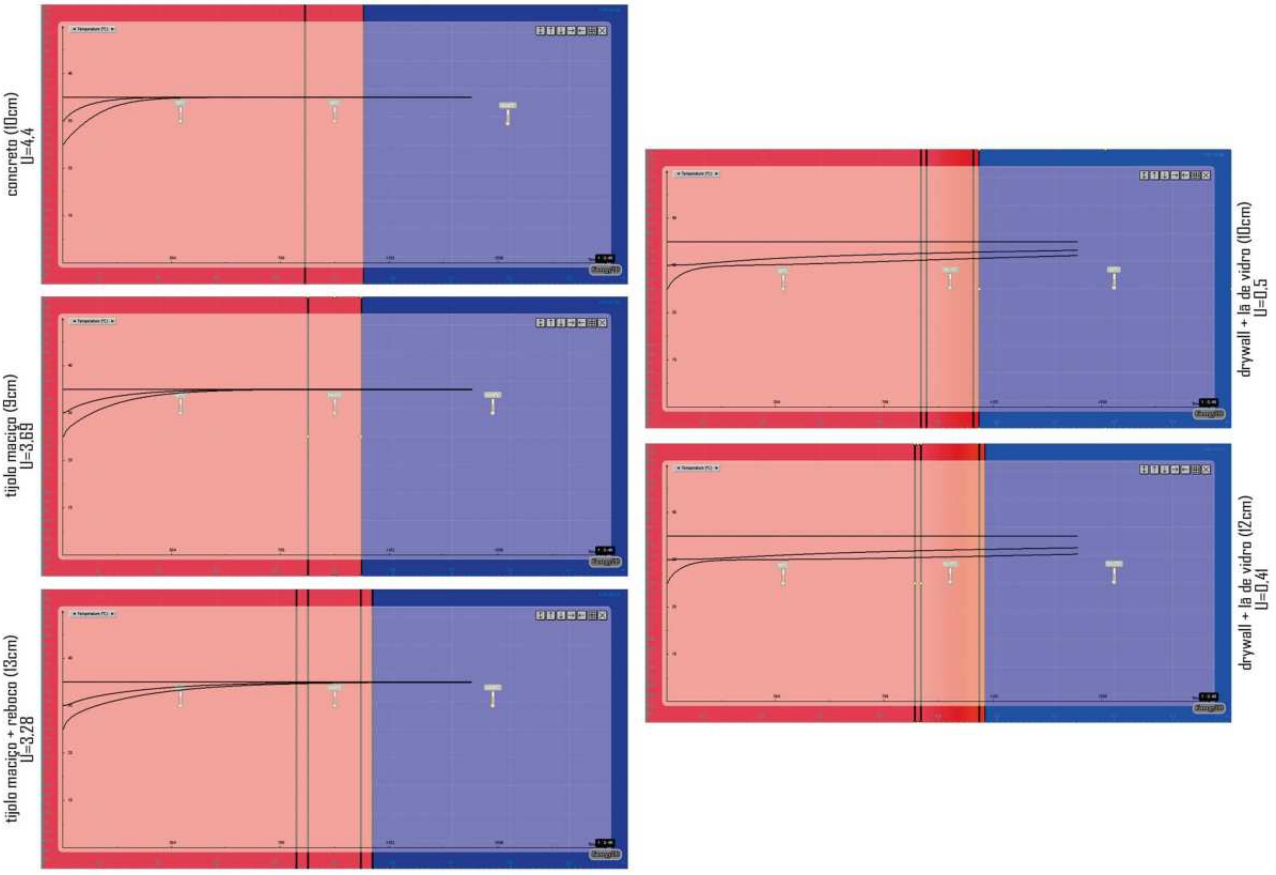

Figura 8 – Simulações das paredes modeladas para a realização da atividade didática para a análise do desempenho térmico de paredes.

5. CONCLUSÕES

As experiências de emprego de ferramentas digitais para a adoção de metodologias ativas de ensino através de atividades didáticas trouxeram diversas contribuições, entre elas, a formulação de indicações para futuras pesquisas relacionadas ao tema abordado neste artigo. Primeiramente, foi possível identificar importantes aspectos a serem observados para a seleção da ferramenta digital, tais como: a predefinição do objetivo de sua implementação; a facilidade de acesso e uso do programa; o nível de liberdade de experimentação; e a visualidade da interface e dos produtos obtidos.

No que tange à manutenção de um certo nível de liberdade de investigação e decisão dos discentes, as experiências demonstraram que este fator garante maior pluralidade de respostas ao mesmo tempo que

estimula a criatividade e o pensamento crítico daqueles, proporcionando um maior engajamento. A inclusão de um tutorial, preferencialmente em vídeo e de curta duração, é essencial para assegurar o aprendizado da ferramenta digital ou até mesmo para o entendimento das solicitações dos exercícios. O acréscimo de um momento posterior de discussão com os alunos se mostrou uma necessidade, uma vez que possibilita o debate sobre os aspectos observados, como os pontos de dificuldade detectados e, tão importante quanto, a construção de uma apreciação da ferramenta digital adotada e da atividade didática, visando o aprimoramento das mesmas.

Finalmente, vale destacar que o forte potencial do emprego de ferramentas digitais no processo de ensino-aprendizagem de Conforto Ambiental não deve ficar restrito ao contexto de aulas remotas, mas sempre que forem observados a viabilidade e os benefícios de sua aplicação para os contextos em particular. De modo geral, pode-se mencionar vantagens em comparação com os equipamentos físicos, como a grande diversidade de ferramentas gratuitas disponíveis, a rapidez na construção de modelos e na execução das simulações, e, de certo modo, a maior acessibilidade dessas ferramentas, pois podem ser utilizadas a qualquer momento quando instaladas em computadores pessoais e não demandam a construção de estruturas físicas para serem abrigadas. Quanto às limitações, existe a possibilidade de apresentarem diferentes resultados e inconsistências de acordo com a máquina em que é executada, e, quando se tratam de *plug-ins* ou ferramentas associadas a outros programas, demandam maiores conhecimentos e habilidades por parte dos usuários. Ademais, notam-se a possibilidade de promoção da interdisciplinaridade e a continuidade do uso das ferramentas aprendidas em outras situações que não somente para a realização da atividade, seja no âmbito acadêmico ou profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

ANTONIO, D. Z. **Desempenho térmico de vedações: atividades didáticas nas Caixas Quentes**. Relatório (Iniciação Científica) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Carlos, 2020.

BERBEL, N. A. N. **As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes**. Ciências Sociais e Humanas, Londrina, v. 32, p. 25-40, 2011.

BINI, C.; GALAFASSI, M. Estudo e Comparação de Softwares Relacionados ao Projeto Bioclimático para Utilização no Curso de Arquitetura e Urbanismo. In: XIV ENCAC & X ELACAC: Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, 2017, Santa Catarina. **Anais...** Balneário Camboriú, 2017.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2006.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Ed. PW Brasil, 2014.

LEAL, B. M. F.; SALGADO, M. S. Propostas de incorporação de BIM no curso de Arquitetura e Urbanismo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019025, 2019.

LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting – Design methods for architects**. New York, John Wiley & Sons, 1991.

MARTINS, T. R. **Desenvolvimento de um heliodon com posicionamento automático**. 2018. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MCCLUNEY W. R. **Introduction to radiometry and photometry**. Artec House, Boston-London, 1994.

MORÁN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. **Coleção Mídias Contemporâneas**. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens, v.2. PG: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015.

NORA, A. C. **Incidência solar no ambiente construído: atividades didáticas no heliodon**. Relatório (Iniciação Científica) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Carlos, 2020.

SARAMAGO, C. P.; BORTOLI, K. C. P. Aplicação de simulação computacional na área de conforto ambiental e eficiência energética no curso de Arquitetura e Urbanismo. **II Fórum Internacional Sobre Prática Docente Universitária** – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SOUZA, C. V. R. de. **Ventilação natural no ambiente construído: atividades didáticas na mesa d'água**. Relatório (Iniciação Científica) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Carlos, 2020.

SZOKOLAY, S. **Solar Geometry**. PLEA Notes. Passive and Low Energy Architecture International em associação com University of Queensland: Department of Architecture, 2007.

TARDELLI, J. M. **Ensino de Conforto Ambiental: incidência solar nos edifícios e dimensionamento de dispositivos de proteção solar**. Relatório (Iniciação Científica) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Carlos, 2020.

VILELLA, J. P.; LIMA, F.; ZANCANELI, M. Reflexões sobre a simulação ambiental e BIM: uma abordagem pedagógica em Arquitetura e Urbanismo. In: Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital, SIGraDi, 19, Florianópolis, 2015. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2015. p. 756-760.

YAZICI, Y. E.; TÖRE, E. Learning by Doing in Architectural Education: From Urban Design to Architectural Design, Yenikapı-İnebey Case Study. **Education and Science**, v. 39, n. 175, p. 296–308, 2014.