ENSINO DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO COM ESTUDANTES DE ARQUITETURA

Larissa Pereira de Souza (1); Ana Paula Melo (2); Carlos Eduardo Verzola Vaz (3); Roberto Lamberts (4)

(1) Pós-mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, laripereiradesouza@gmail.com, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações e Grupo de Modelagem Avançada, Universidade Federal de Santa Catarina

(2) Professora do Departamento de Engenharia Civil, a.p.melo@ufsc.br, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina

(3) Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, cevv00@gmail.com, Grupo de Modelagem Avançada, Universidade Federal de Santa Catarina

(4) Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Boa parte dos arquitetos concorda que o desempenho das edificações deve ser importante no ensino acadêmico, no entanto, na maioria dos cursos de graduação em arquitetura, o ensino de desempenho térmico da edificação ocorre de forma distante em relação ao ensino de projeto. Por conseguinte, o processo criativo e a prática profissional não consideram de forma adequada questões do desempenho térmico da edificação na busca de solução de problemas de projeto. Tendo isso em vista, o objetivo desta pesquisa é analisar as tomadas de decisões de projeto de estudantes de arquitetura na fase de concepção de projeto, considerando e não considerando simulações termoenergéticas. Para tanto, este estudo propõe o ensino com o programa de modelagem Rhinoceros e Grasshopper utilizando a ferramenta de simulação Honeybee no ensino de simulações simples nas fases iniciais do projeto. Ao mesmo tempo, compara-se este mesmo exercício com o processo de concepção analógico e sem resultados de simulação ao auxiliar na tomada de decisões. Notou-se considerável diferença entre as alterações e resultados de projeto em cada caso. Enquanto que as análises realizadas de forma manual permitiram maior flexibilidade de disposição de projeto, as realizadas por meio de simulações permareceram inalteráveis quanto à forma. Por outro lado, as estratégias traçadas de forma manual não obtiveram nenhuma comprovação de efetividade, além de não variarem quanto à escolha das propriedades da envoltória. Em contrapartida, as alterações realizadas com base em resultados de simulação obtiveram maior alterações e variações neste quesito.

Palavras-chave: Rhinoceros Grasshopper; Simulação de desempenho térmico em projeto; Ensino de simulação termoenergética; Ensino em arquitetura.

ABSTRACT

Most architects agree that building performance should be important in the university curriculum, however in most of the undergraduate architecture courses the teaching of design and building physics occurs in separated courses. The goal of this research is to analyse the design decision-making of architecture students in early design stages, with and without building performance simulations. The study proposes a teaching method with Rhinoceros and Grasshopper modeling program using Honeybee simulation tool to teach and perform simple simulations in the conceptual phase. At the same time, we compare the analog design process and with simulation results in decision making. We noticed substantial difference between the design changes and the results of the project in each case. While the manual analyses allowed more flexibility in the shape of the project, those analyses carried out with simulations remained inflexible in terms of shape. On the other hand, the bioclimatic strategies on the manual exercise did not obtain any proof of effectiveness. Also, the students did had the same choice of envelope properties for the same climate. However, the changes made based on simulation results obtained greater changes and variations in this regard.

Keywords: Rhinoceros Grasshopper; Thermal simulation design; Teaching building simulation; Architectural education;

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica em edificações brasileiras vem aumentando nos últimos anos. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2020, observou-se um aumento de 15% no consumo final de energia elétrica em edificações (industriais, residenciais, comerciais e públicas) em relação ao ano de 2019. O setor industrial apresenta a maior parcela de consumo de energia; entretanto, são as edificações comerciais e residenciais que representam um aumento significativo de consumo de energia elétrica entre esses anos, superior a 30% em cada setor (EPE, 2020).

Frente a isso, destaca-se a importância das decisões realizadas na fase de projeto destas edificações para a busca de uma possível redução do consumo energético.

É comprovado que a geometria do edifício é um dos principais determinantes no seu desempenho pós-ocupação (SAMUELSON et al., 2016). Logo, são os projetistas os responsáveis por muitas destas decisões: orientações solares, massa volumétrica, conformação da envoltória, iluminação natural, entre outros. Estas decisões em fase de projeto afetam diretamente o consumo final de energia elétrica, necessário para a operação do edifício (AIA, 2019).

Em contrapartida, uma boa parte das medidas para melhorar o desempenho das edificações são tomadas apenas no final do processo projetual. Consequentemente, o projetista acaba dependendo de tecnologias de alto desempenho para solucionar problemas, visto que as mudanças mais importantes para o desempenho da edificação já não são mais viáveis em razão do nível de detalhamento e avanço do projeto em suas definições (NEMBRINI; SAMBERGER; LABELLE, 2014; SAMUELSON et al., 2016).

Sendo assim, o ensino de desempenho da construção é importante no currículo universitário; no entanto, o ensino de projeto e o ensino de desempenho térmico da edificação ocorrem de forma separada na maioria dos currículos do curso de Arquitetura no mundo. Estes ensinamentos são separados não só no aprendizado, mas também em relação ao método de ensino. Como resultado, os estudantes realizam poucas análises de desempenho de edifícios durante a sua formação acadêmica, e isso se remete à sua vida profissional, visto que grande parte do seu processo criativo individual já está consolidado. Assim, observa-se que as análises relacionadas ao desempenho de edificação não são realizadas nas fases iniciais de projeto, tanto em ambientes profissionais quanto educacionais (SOUZA, 2013). Portanto, as análises se tornam, posteriormente, um processo de resolução de problemas e dependente de tecnologias de alto desempenho, como citado anteriormente.

Para que estas análises de desempenho ocorram desde o início das decisões de projeto, é necessário a utilização de uma ferramenta de fácil acesso, considerando as constantes mudanças no processo de projeto. Assim, há também a necessidade de aprimorar a interoperabilidade entre programas de simulação energética e o desenvolvimento do projeto, visto que o processo de criação passa por diversas alterações, e portanto, boa conexão entre estes programas facilita a sua utilização. Além disso, a imersão de análises de desempenho térmico em um programa de desenvolvimento de projeto também pode promover alterações baseadas em resultados de simulações de forma mais recorrente. Diversos métodos de análises de desempenho térmico podem ser encontrados, como estatísticos, de otimização, holísticos, entre outros. Destacam-se as simulações proativas, visto que considera a geração de alternativas de projeto, que por sua vez guiam as escolhas do projetista em vez de simplesmente avaliar parâmetros específicos. Todavia, ainda existem desafios para efetivar a implementação no processo de projeto como um todo, em destaque o tempo demandado e a necessidade de alterações rápidas também são fatores cruciais para a integração ao seu desenvolvimento de projeto. (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2016). Mesmo com ferramentas de simulação, as informações não são facilmente aplicáveis à melhoria da construção (ALSAADANI; BLEIL DE SOUZA, 2019; BLEIL DE SOUZA, 2012). Ainda que se considerem análises de desempenho térmico durante as fases iniciais de projeto, na maioria das simulações, os resultados não são visuais e fáceis de compreender e, consequentemente, não são rapidamente aplicáveis para as alterações de projeto (ELBELTAGI et al., 2017).

Os alunos do curso de Arquitetura devem iniciar as suas experiências com o desempenho térmico das edificações projetadas já no início do seu aprendizado, buscando compreender o processo criativo no desenvolvimento de projeto. Mitchell (2009) ressalta que este processo não pode ser definido como algo linear, visto a complexidade dos pensamentos. O autor busca, então, defini-lo ao descrever os seus produtos durante as tomadas de decisões, a qual conta com a busca de problemas e, consequentemente, a solução para estes problemas. Estas soluções são analisadas, avaliadas e sintetizadas. A avaliação é realizada por meio de critérios, como a coerência, a viabilidade e a valoração da solução encontrada. A cada projeto, intensifica-se a base de dados de soluções dos arquitetos, compreendendo o que é viável e coerente em determinados casos. Portanto, se a busca pelo melhor desempenho da edificação for traçada desde o início da concepção de projeto pode-se, a cada projeto, melhorar a busca de melhores soluções passivas.

Nos últimos anos, alguns pesquisadores desenvolveram experiências de ensino combinando simulações de desempenho e projeto. No entanto, todos eles reforçam a necessidade pela busca de um método eficaz para ensinar simulação para arquitetos (BLEIL DE SOUZA, 2013). Sendo assim, nota-se a necessidade de mais experimentos na área, visando o aperfeiçoamento do ensino de simulações termoenergéticas durante o desenvolvimento de projeto. É importante, também, analisar os benefícios da utilização dessas ferramentas no processo criativo.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o uso de simulações termoenergéticas aplicadas às tomadas de decisões de projeto de estudantes do Curso de Arquitetura e Urbanismo na fase de concepção de projeto.

3. MÉTODO

O estudo propõe um experimento de ensino de simulação termoenergética a alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo. Utilizou-se o programa de modelagem Rhinoceros e Grasshopper com a ferramenta de simulação Honeybee para ensinar e realizar simulações termoenergéticas nas fases iniciais do projeto. O Rhinoceros 3D é um programa de modelagem tridimensional baseado em um modelo matemático de geração de curvas e superfícies. O plug-in Grasshopper é um editor gráfico de algoritmo, integrado ao Rhinoceros, que não requer nenhum conhecimento de programação e permite que os projetistas criem formas diversas e paramétricas de modo simples. Já o Honeybee faz parte do conjunto de ferramentas Ladybug Tools, que é um pacote de ferramentas de análises climáticas, lumínicas, térmicas, entre outras análises, por meio de simulação computacional. Este conjunto de ferramentas gera uma interface conectada ao programa de modelagem, ao mesmo tempo que realiza testes de simulação baseando-se em programas de simulação termoenergéticas e lumínicas difundidos na área, como o programa EnergyPlus e o Radiance. Portanto, o software oferece uma experiência completa entre programas de desenvolvimento de projeto e simulação de desempenho térmico. Reforça-se, que nesse estudo não foram abordadas simulações lumínicas.

Este estudo de caso foi realizado com alunos de Arquitetura em um curso de 12 horas, dividido em duas fases distintas, e ocorreu no primeiro semestre do ano de 2019, com a presença de 8 alunos. Inicialmente, fez-se necessário uma introdução sobre os conceitos de arquitetura bioclimática, propriedades dos materiais e variáveis climáticas no projeto, para posteriormente, introduzir os conceitos de simulação termoenergética. O ensino foi dividido em duas fases principais: a primeira, revisando estratégias e projetos bioclimáticos, e a segunda, introduzindo o conceito da simulação termoenergética. Cada fase incluiu seminários, aulas práticas e um exercício final. Nas aulas práticas foi realizado um trabalho básico sobre a consolidação dos conceitos ministrados durante a oficina, permitindo que os alunos desenvolvessemo exercício final a partir do conhecimento adquirido. A Figura 1 representa o esquema do método de ensino desenvolvido para o presente estudo. Nas próximas seções são descritas as fases, bem como o material de apoio utilizado e o questionário final.

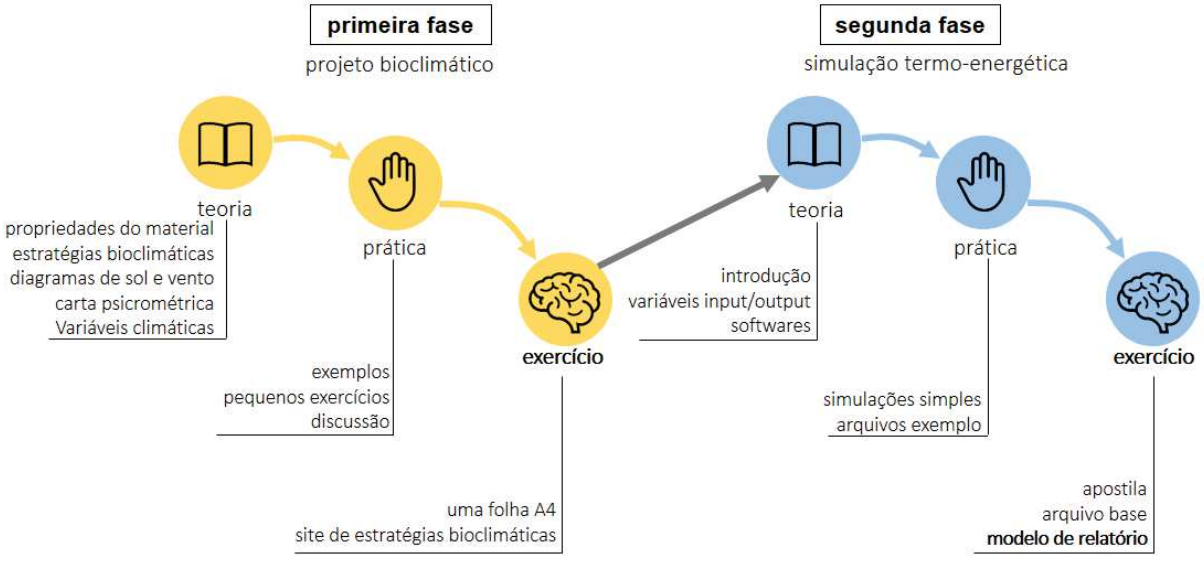


Figura 1 – Fluxo de ensino proposto.

3.1. Primeira fase

A primeira fase se concentrou na revisão do projeto bioclimático e estratégias. O seminário teórico revisou conceitos básicos de conforto, desempenho térmico e estratégias bioclimáticas no projeto de edifícios, visto que os alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo já haviam cursado disciplinas desta mesma temática. Além disso, contextualizou-se a situação atual do consumo de energia a nível nacional e global, as perspectivas para o consumo de energia associado às mudanças climáticas, e por conseguinte, a importância de se projetar considerando o clima.

Após isso, a aula prática ocorreu de forma expositiva. Diversos projetos foram apresentados e, posteriormente, discutidos segundo a sua inserção no clima. Além disso, discussões foram abordadas em relação à pontuação de erros de diferentes projetos, estudos de diferentes diretrizes bioclimáticas utilizadas em projetos distintos e debates conjuntos.

Após revisar os conceitos de arquitetura bioclimática, propriedades dos materiais e a situação mundial de acordo com o consumo de energia dos edifícios, os alunos realizaram o exercício final para esta fase. Este estudo consistiu no traçado de estratégias de projeto esquemáticas na conformação de espaços internos e das aberturas para uma residência unifamiliar de 2 quartos, apresentadas em uma folha de papel A4. Solicitou-se que os alunos traçassem o projeto e as estratégias de forma global: volumetria, aberturas, definição de materiais, cores, entre outros. Para tanto, foi apresentada uma planta baixa de uma habitação de interesse social unifamiliar, a qual deveria ser alterada segundo as premissas levantadas. Além disso, os alunos optaram por diferentes localizações: cada aluno escolheu pelo menos duas cidades brasileiras necessariamente localizadas em zonas bioclimáticas distintas: Zona Bioclimática 1 (considerada a zona mais fria do Brasil), Zona Bioclimática 3 (na qual Florianópolis está localizada) ou Zona Bioclimática 8 (área mais quente do Brasil) (NBR 15220). Essas estratégias e alterações projetuais foram realizadas manualmente pelos alunos, sem o uso de simulações computacionais, mas sim, baseando-se nos conhecimentos adquiridos. Portanto, a entrega do exercício final consistiu em uma entrega por clima, com a descrição do projeto e das estratégias estabelecidas, como escolha dos materiais, orientações, aberturas e sombreamentos, juntamente com o novo esquema de projeto.

3.2. Segunda fase

Nesta fase, o seminário teórico tratou de simulação computacional aplicada ao processo de projeto. Nos seminários, aspectos da simulação foram introduzidos, como a relação entre os dados de entrada e saída, o arquivo climático e os diferentes programas de simulação disponíveis. Também foi apresentado a influência dos dados de entrada na solução de projeto, análise dos resultados de saída da simulação, para realizar uma possível alteração de projeto.

Nas aulas práticas, os alunos aprenderam o programa de simulação utilizado durante o curso: Honeybee e Ladybug. Os alunos aplicaram os conceitos apresentados no seminário para configurar a simulação computacional. Em situações práticas, assistida durante a aula, é possível resolver não apenas erros de configuração, mas também erros na análise final. Para tanto, foram realizadas pequenas simulações para aprimorar seus conhecimentos sobre o programa nesse período

Por fim, foi desenvolvido um exercício de simulação utilizando a ferramenta de projeto paramétrico. Após as aulas teóricas e práticas, apresentou-se a proposta de exercício final. Este exercício contou com um arquivo padrão de simulação. Para o desenvolvimento deste exercício foram formados três grupos: dois trios e uma dupla de alunos. Optou-se por não solicitar trabalhos individuais, tendo em vista a dificuldade ao realizar simulações na aula prática. Além disso, acreditou-se que a discussão gerada entre os membros do grupo sobre as possíveis mudanças no projeto poderia auxiliar no processo de aprendizagem. No caso deste estudo, o arquivo padrão incluiu um projeto esquemático de um edifício residencial unifamiliar com dois quartos, um banheiro e uma área de estar/cozinha integrada. A residência apresentada é idêntica à apresentada no exercício realizado na primeira fase, permitindo alterações volumétricas paramétricas pré-concebidas: alteração de aberturas, dimensão das paredes, pé direito, rotação, alteração no terreno de implantação, entre outros. A análise foi realizada para Florianópolis - SC, com o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*).

O exercício contou com um modelo de relatório, o qual serviu para estruturar o desenvolvimento e as análises realizadas. Inicialmente, todos realizaram uma simulação padrão, sem alterações, como ponto de partida para o exercício. A partir desta simulação inicial, os estudantes realizaram a primeira análise do problema, síntese de uma solução para, posteriormente, avaliá-la antes e depois de obter resultados de simulação. Logo, o exercício consistiu em melhorar o projeto proposto com base nas determinantes climáticas e estratégias pertinentes para o local, e assim, alterando parâmetros do edifício: desde as

dimensões da sala, dimensões da abertura, materiais, orientação e sombras. O objetivo deste exercício foi proporcionar a mesma experiência e possibilidades de mudança de projeto com base no primeiro exercício, a fim de compará-los. Assim, o produto final deste exercício se deu por meio de um relatório de alterações de projeto e suas devidas descrições e análises. Os alunos, a partir de um modelo padrão de relatório, relataram tanto o motivo quanto a ordem das alterações realizadas. Junto com o modelo, disponibilizou-se também o material didático a fim de dar autonomia aos estudantes na resolução de problemas e erros da configuração de simulação. Ainda assim, parte do exercício foi desenvolvido durante duas aulas, para que os alunos também tivessem suporte presencial.

3.3. Material de apoio

Como mencionado anteriormente, como suporte ao ensino, foram desenvolvidos alguns arquivos. O primeiro deles é o arquivo padrão de simulação, contendo a forma inicial da edificação, juntamente com um pequeno banco de dados com as possíveis alterações necessárias para realizar a simulação. Além disso, foi desenvolvido o segundo material, um manual básico para mostrar aos alunos como realizar mudanças na simulação. Por fim, criou-se o modelo de relatório, nos quais os estudantes se basearam para relatar os resultados obtidos durante o processo.

O arquivo padrão contém um banco de mudanças possíveis: orientação solar, dimensões dos quartos, materiais da envoltória (opacos e translúcidos), área de abertura e elementos de sombreamento. Quanto à escolha dos resultados da simulação para realizar as melhorias do projeto, as possibilidades foram: temperaturas de superfície, temperatura ambiente (ar, operacional e média radiante), carga térmica para aquecimento e resfriamento. Todos esses dados podiam ser analisados por períodos: anual, mensal, diário, horário ou por valores médios, máximos e mínimos.

O manual também auxiliou os alunos para as possíveis dúvidas e foi desenvolvido para incentivar o uso de simulação em problemas de projeto futuros. O manual apresenta uma organização seguindo as fases do método de ensino proposto. A primeira parte auxilia na criação e familiarização com o programa de modelagem Grasshopper, já apresentado em um curso anterior a este. Em seguida, foram apresentados os componentes da análise dos arquivos climáticos, seguidos das configurações da zona térmica com suas especificações, iniciando-se então pelas configurações de simulação termoenergética. Por fim, há também uma descrição dos componentes que auxiliam na análise dos resultados da simulação.

Já o modelo de relatório final ajudou a analisar os resultados obtidos pelos alunos. O relatório tem duas partes principais: uma análise do clima e uma simulação. Foi organizado de forma que os alunos relatassem passo a passo seus pensamentos e as decisões que tomaram com base no resultado de cada simulação. Portanto, a principal fonte de análise de resultados se dá por meio deste relatório final, juntamente com o material entregue no primeiro exercício, e assim, comparados.

3.4. Questionário

Ao final do curso, foi aplicado um questionário aos alunos para que estes reportassem sua experiência. A partir das perguntas, espera-se observar a compreensão do software por parte dos alunos, o impacto que esta experiência pode ter em projetos no futuro e dificuldades de modo geral.

Os questionamentos foram sobre os seminários, aulas práticas, exercícios e, o mais importante, sobre a experiência e a consideração da simulação computacional para projetos posteriores. As principais questões retratavam:

- Seminários da primeira e segunda fase e sua importância para o exercício, projetos futuros e compreensão dos conceitos apresentados.
- Primeiro e segundo exercício, quanto ao tempo disponível, à orientação e à compreensão dos resultados.
- A consideração dos parâmetros bioclimáticos ao projetar e a sua utilização a partir do curso.
- A consideração das simulações em projetos futuros, e por quê (o uso da simulação é muito complicada ou não, a simulação é rápida ou muito lenta, o interesse do aluno pelo tema em geral, os resultados da simulação são fáceis ou difícil de entender, ou mesmo entender os resultados, o que alterar no projeto para melhorar o desempenho).

4. RESULTADOS

Analisam-se nas próximas subseções o primeiro e o segundo exercício, juntamente com os resultados obtidos pelo questionário final do curso. Nas seções seguintes apresentam-se estes separadamente, para então realizar a discussão conjunta dos resultados obtidos. A partir da análise desses resultados, é possível realizar melhorias no método de ensino proposto para torna-lo mais eficaz e facilmente replicável para outros estudos de caso. Além disso, é possível notar as discrepâncias entre as análises realizadas sem simulação, e posteriormente, com o apoio dos resultados advindos do programa.

4.1. Exercício 1

Nos resultados obtidos no primeiro exercício de projeto, notou-se flexibilidade em relação à forma e à orientação das edificações para um mesmo clima. Houve diferenças no que diz respeito à forma do edifício, às orientações dos quartos e aberturas, ao tamanho da forma e aos elementos da fachada utilizados, e por isso, os projetos resultantes foram bastante diferentes. A distribuição dos cômodos difere no número de andares, orientações e ambiente vegetativo proposto. Assim, nota-se grande flexibilidade de criação ao comparar os projetos de diferentes alunos para o mesmo clima.

Porém, não houve diferença nas estratégias de projeto em relação aos materiais utilizados, à incidência de luz solar e ventilação entre os desenhos esquemáticos e descrições dos alunos para o mesmo clima. Apesar das descrições de projeto quanto às propriedades de materiais (alta ou baixa capacidade térmica, alta ou baixa transmitância térmica) e às medidas tomadas para insolação, sombreamento e ventilação serem as mesmas para as mesmas zonas bioclimáticas, a composição final de materiais foi diferente (seja na composição de parede, telhado ou piso). O mesmo ocorreu para as orientações quanto à insolação e aos ventos, ainda que descritos como importante em alguns casos, ou buscando sombreamento em outros, os apontamentos eram, em alguns casos, realizados de forma errônea: direção e intensidade de ventilação natural onde se esperava ter, mas sem embasamento de orientação dos ventos; sombreamento em fachadas que não recebem muito sol; e inexistência de sombreamento em fachadas com maior hora de exposição (ambos os casos buscando menor insolação). Ressalta-se que os alunos realizaram as análises do clima e de estratégias por meio do site ProjetEEE (PROJETO 3E).

As Figuras 2, 3 e 4 representam os exercícios realizados por alguns dos alunos, sendo que cada figura representa o trabalho de um aluno com análise de climas distintos.

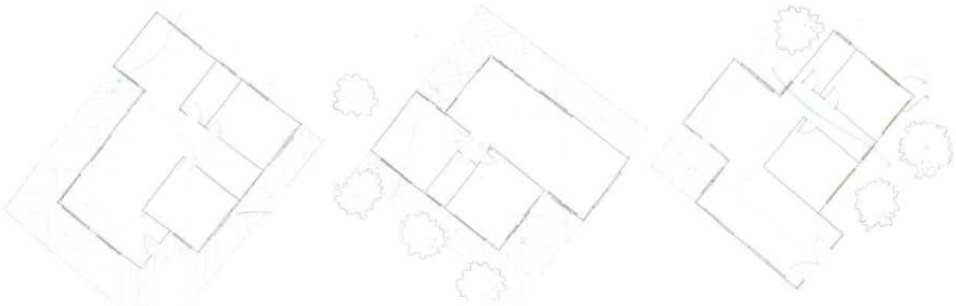


Figura 2 – Resultado do exercício 1 do aluno 01 para três cidades.

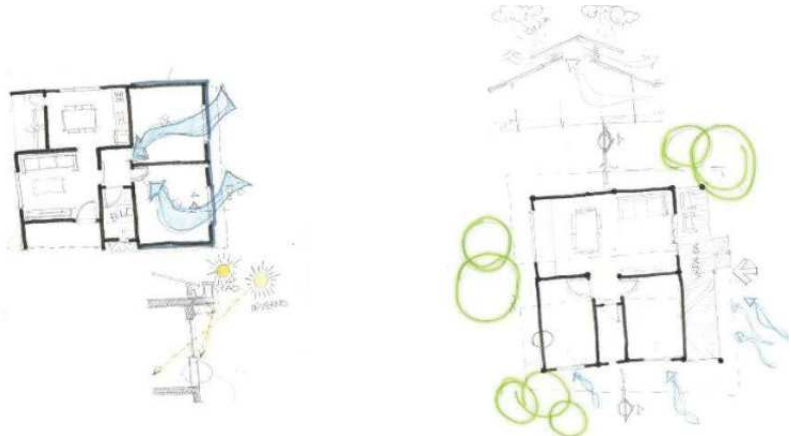


Figura 3 – Resultado do exercício 1 do aluno 02 para duas cidades.

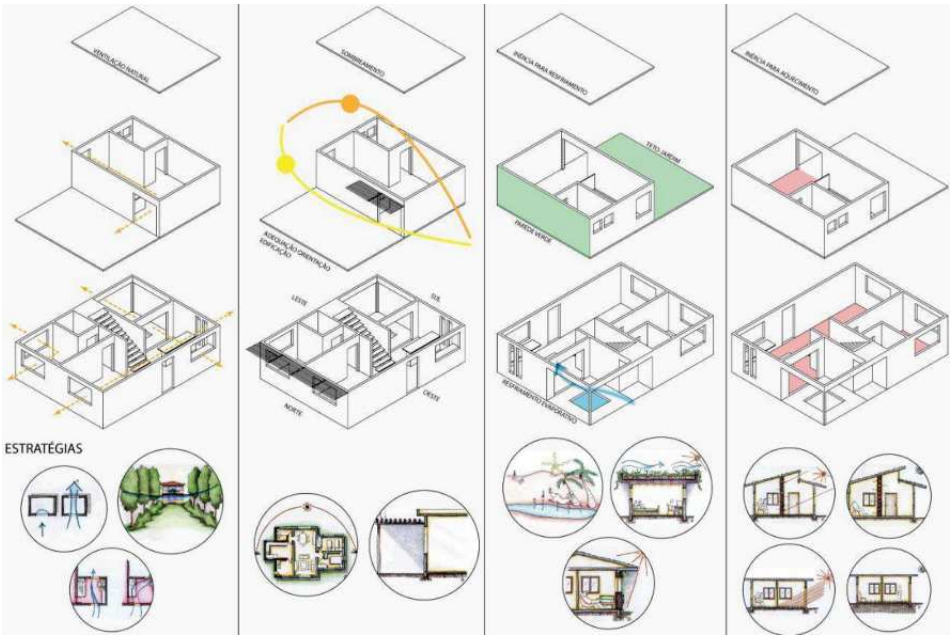


Figura 4 – Resultado do exercício 1 do aluno 03 para uma cidade.

4.2. Exercício 2

Neste exercício, os projetos não diferiram em forma. Para facilitar a descrição dos resultados, visto que este exercício foi realizado em grupos, nomearam-se os grupos em Grupo 01 (três alunos), Grupo 02 (três alunos, sendo composto pelos alunos 01 e 02 do exercício anterior) e Grupo 03 (dois alunos, composto pelo aluno 03 do exercício anterior). Apenas o Grupo 01 alterou as dimensões relacionadas à volumetria, como tamanho das janelas, pé direito e rotação, ainda que realizadas de forma generalizada (alterando dimensões de todos os ambientes ao mesmo tempo, assim como a altura de todas as janelas ao mesmo tempo). Já o Grupo 02 optou por adicionar um volume representativo de vegetação (uma árvore), mas só o fez com o auxílio, pois este mesmo grupo relatou grande dificuldade no exercício devido ao pouco domínio do programa de modelagem. O Grupo 03 não realizou alterações neste sentido.

As principais alterações foram realizadas nos testes de composições de materiais na envoltória. O arquivo base do exercício final contém um banco de materiais com suas respectivas propriedades. A partir destes, os alunos criaram composições entre materiais (alterando espessura e cores), criando composições de cobertura, parede e piso. Estas alterações de projeto foram realizadas apenas pelos Grupos 01 e 03, visto que o Grupo 02 relatou dificuldade em realizar a simulação termoenergética. As alterações realizadas e por no máximo 3 vezes.

As alterações de materiais, realizadas pelos grupos 01 e 03, foram baseadas nos resultados de temperaturas superficiais externas e internas da envoltória, obtidas após cada simulação realizada. Inicialmente, os alunos analisaram as temperaturas superficiais externas, para posteriormente, analisar a relação com a temperatura superficial interna. A partir deste dado de saída, os grupos realizaram as análises de problemas na envoltória, e por conseguinte, realizaram as alterações dos materiais constituintes da envoltória. Estes grupos também realizaram análises de temperatura operativa média anual dos ambientes, porém, notou-se que os alunos não demonstraram saber como analisar este resultado e, a partir dele, realizar alguma alteração de projeto. Isso porque estas análises foram a partir de médias anuais de temperatura operativa e ambientes, e logo, não sofreram alterações bruscas entre uma alteração e outra, e ao mesmo tempo, não mostram possíveis problemas sazonais de picos ou baixas de temperatura, nas quais as temperaturas estariam fora do desejável. Logo, os resultados de temperatura, ainda que importantes, não foram analisados da forma correta e, por conseguinte, não agregaram às alterações de projeto realmente necessárias, como evitar situações extremas de temperatura, que são ocultadas ao analisar apenas pela média anual. Os resultados de carga térmica não foram mencionados pelos estudantes nos relatórios. Já o Grupo 02 reportou dificuldade com as simulações termoenergéticas e realizou apenas simulações externas de análise do arquivo climático (como análise de disponibilidade de radiação na fachada), mas sem analisar os ambientes internamente segundo suas alterações de projeto. A Figura 5 representa o resultado do Grupo 01, muito similar ao resultado do Grupo 03.

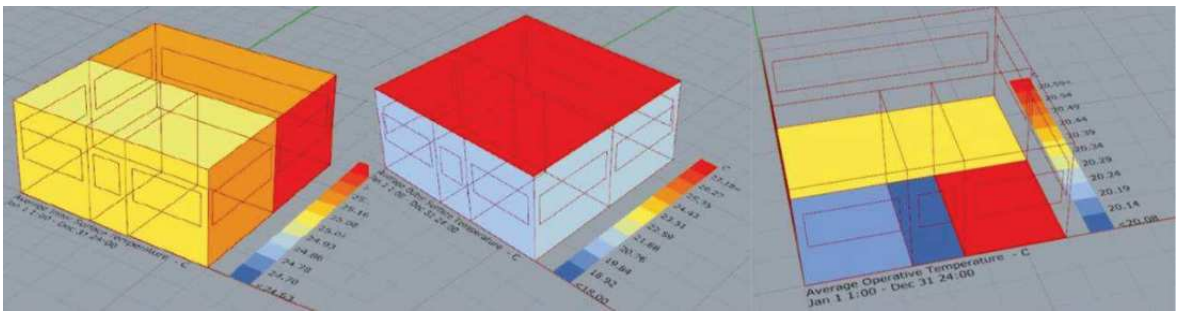


Figura 5 – Resultado volumétrico do exercício 2 do Grupo 01 para Florianópolis.

4.3. Questionário

Dos 8 alunos da disciplina, 6 responderam ao questionário. Os seis alunos avaliaram a aula de revisão de conceitos tanto de projeto bioclimático, quanto de propriedades do material como "muito" ou "satisfatória" para todos os fatores questionados: compreensão dos termos apresentados, a importância da aula para o exercício final e importância para o projeto no futuro.

No caso dos seminários que apresentaram os conceitos de simulações termoenergéticas, apenas um aluno relatou como "pouco" para os itens "compreensão dos termos apresentados" e "importância do design no futuro". Isso significa que o restante dos alunos classificou esta aula como "satisfatória" ou "muito" em relação à sua importância. De acordo com as respostas ao questionário, três alunos relataram que já consideraram os parâmetros bioclimáticos ao projetar, outros dois alunos que responderam que às vezes os analisam, e um declarou nunca ter avaliado. Em contrapartida, todos os seis alunos relataram que pretendem refletir sobre esses parâmetros após essa experiência.

Em relação à simulação, todos consideraram a “configuração complicada da simulação” como o único motivo para não utiliza-la no futuro. Ainda assim, três alunos acharam o tempo de simulação razoável ou bom, três estão interessados no conteúdo que a simulação gera e 4 consideraram os resultados fáceis de compreender. Em contrapartida, apenas um considera a simulação para um projeto futuro e outro não pretende implementar simulação no futuro.

4.4. Discussão

Ao analisar os resultados anteriormente apresentados, É importante destacar alguns pontos da experiência. Em primeiro lugar, o número de alunos não gerou expressividade e variação para uma análise aprofundada. Apesar do tempo disponível para apresentar o conteúdo ser considerado suficiente pelos alunos, nota-se a necessidade de mais tempo de aula teórica e prática para o desenvolvimento do trabalho. Neste experimento foi necessário que os alunos mantivessem o exercício, grande parte do tempo, fora da aula para obter melhores resultados, o que acarretou o acúmulo de dúvidas e dificuldades no seu desenvolvimento. Além disso, houve um grande afastamento entre as aulas devido a feriados e cancelamentos devido à greve, o que distanciou as aulas teóricas das práticas e de desenvolvimento dos exercícios.

Apesar do Exercício 1 apresentar os resultados de projeto mais variados, percebe-se que a análise de insolação e sombreamento possui erros, e ainda, diretrizes de ventilação são apresentadas mesmo sem comprovação. Ainda que a diversidade de resultados seja interessante, a mesma pode reforçar ainda mais a deficiência no conhecimento e aplicação do aprendizado de desempenho térmico das edificações no processo projetual. Vê-se, então, grande variedade de projetos, mas também, superficialidade nas soluções. Já no Exercício 2 notou-se que a pouca experiência dos alunos com o programa de modelagem resultou em limitações no exercício. Além disso, a edificação presente no arquivo padrão pode ter influenciado nas limitações e poucas alterações. Visto já possuir uma edificação consolidada, vários parâmetros construtivos influenciaram nos seus resultados de simulação de desempenho, existindo, então, grande volume de informações a serem analisadas e consideradas para a tomada de decisões. Além disso, o arquivo padrão desconsiderou o entorno do edifício, o que é um fator determinante na concepção do projeto e suas alterações.

Os alunos relataram que pretendem considerar a simulação ao projetar. Apesar disso, todos consideram a simulação complicada, sendo a única razão para não utilizá-la em projetos futuros, devido a

dificuldades relacionadas ao programa. Reforça-se, então, a necessidade de uma interface fácil para esta análise, tanto possibilitando alterações de projeto mais fáceis e intuitivas em relação ao processo criativo, quanto de análises de desempenho térmico imersas nesse contexto, de modo imperceptível e prático.

Por fim, o método de ensino utilizado necessita de ajustes. Enfatiza-se a necessidade de união dessas duas práticas: o incentivo da criatividade para desenvolver o projeto em um ambiente conhecido, e ao mesmo tempo, a melhoria na interface dos programas de simulação. Além disso, ressalta-se a importância da complementação do exercício final, Considerando análises iniciais do clima local, das estratégias bioclimáticas, análise do terreno e arredores quanto à disponibilidade de fatores bioclimáticos (como sol e vento) para, então, iniciar análises do desempenho térmico do edifício nesse contexto e adequar estas estratégias.

Tendo em vista o programa utilizado para esse experimento e para o aprimoramento do método de ensino, sugere-se a melhoraria do arquivo padrão do exercício em alguns pontos. Primeiramente, o formato, que já possuía muitas definições internas e salas consolidadas, resultava em pouca flexibilidade de trabalho, logo, deve-se propor um estudo de concepção com uma forma básica de apenas um ambiente, podendo facilitar o entendimento das ações do clima em cada parte da envoltória. Em segundo lugar, considerar um entorno de projeto, fator importante na elaboração das diretrizes bioclimáticas e que impactam os resultados de desempenho térmico do edifício. Além disso, no arquivo padrão, há necessidade de disponibilizar mais resultados de simulação para análise, e assim, que os estudantes escolham e relacionem mais os dados de saída ao mesmo tempo, e dessa forma criem um processo de tomada de decisões. Acredita-se que dessa forma os estudantes passariam a obter mais autonomia sobre as suas decisões, e assim, compreender por meio da experiência os fenômenos físicos do projeto e, ainda, adquirir mais soluções interessantes para seu conhecimento.

5. CONCLUSÕES

Ao concluir o estudo, apontam-se neste capítulo os pontos mais importantes. Notou-se considerável diferença entre as alterações e resultados de projeto comparando exercício 1 (manual e sem simulação termoenergética) e 2 (digital e com simulação termoenergética). Enquanto que as análises realizadas de forma manual permitiram maior flexibilidade de disposição de projeto, as realizadas com simulações permaneceram inalteráveis quanto à forma. Por outro lado, as estratégias traçadas de forma manual não obtiveram nenhuma comprovação de efetividade, além de não variarem quanto à escolha das propriedades da envoltória. Em contrapartida, as alterações realizadas com base em resultados de simulação obtiveram maior alterações e variações neste quesito. Apesar disso, nota-se que no exercício manual a análise de insolação e sombreamento possui erros quando as estratégias traçadas (como sombreamento em fachadas com pouca insolação, e fachadas de maior insolação sem sombreamento), e ainda, diretrizes de ventilação são apresentadas mesmo sem comprovação.

Apesar de considerarem a simulação complicada, os alunos relataram que pretendem considerar a simulação em projetos futuros. Reforça-se, então, a necessidade de uma interface fácil que possibilite alterações de projeto mais intuitivas e rápidas durante o processo criativo, estando imersas nesse contexto, de modo imperceptível e prático.

Por fim, o método de ensino utilizado necessita de ajustes. Enfatiza-se a necessidade de união dessas duas práticas: o incentivo da criatividade para desenvolver o projeto em um ambiente conhecido, e ao mesmo tempo, a melhoria na interface dos programas de simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIA, The American Institute of Architects. **Architect's Guide to Building Performance - Integrating performance simulation in the design process**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://content.aia.org/sites/default/files/2019-06/Energy_Design_Modeling_Guide_v4.pdf>.

ALSAADANI, Sara; BLEIL DE SOUZA, Clarice. Performer, consumer or expert? A critical review of building performance simulation training paradigms for building design decision-making. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 289–307, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1447602>

BLEIL DE SOUZA, Clarice. Contrasting paradigms of design thinking: The building thermal simulation tool user vs. the building designer. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 22, p. 112–122, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.09.008>

BLEIL DE SOUZA, Clarice. Studies into the use of building thermal physics to inform design decision making. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 30, p. 81–93, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.026>

ELBELTAGI, Emad et al. Visualized strategy for predicting buildings energy consumption during early design stage using parametric analysis. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 13, n. July, p. 127–136, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.07.012>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. **Rio de Janeiro : EPE**, [s. l.], p. 264, 2020.

LADYBUG TOOLS. **Ladybug.tools**, 2020. Página inicial. Disponível em: <https://www.ladybug.tools/>. Acesso em: 22 de ago. de 2020

MITCHELL, William J. **A Lógica da Arquitetura.** 1ª Edição. Campinas - SP. Editora Unicamp, 1 de janeiro de 2009.

NBR15220. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**, 2003.

NEMBRINI, Julien; SAMBERGER, Steffen; LABELLE, Guillaume. Parametric scripting for early design performance simulation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 68, n. PART C, p. 786–798, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.044>

ØSTERGÅRD, Torben; JENSEN, Rasmus L.; MAAGAARD, Steffen E. Building simulations supporting decision making in early design - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 61, p. 187–201, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>

PROJETO 3E. **ProjetEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Página inicial. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: 01 de nov. de 2020.

SAMUELSON, Holly et al. Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts. **Building and Environment**, [s. l.], v. 101, p. 19–31, 2016.

SOUZA, Clarice Bleil De. Studies into the use of building thermal physics to inform design decision making. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 30, p. 81–93, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.026>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.