



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Larissa Pereira de Souza

**Avaliação do potencial de inserção de simulações termo-energéticas em fases iniciais de projeto:** proposta de método de ensino e estudo de caso

Florianópolis  
2020

Larissa Pereira de Souza

**Avaliação do potencial de inserção de simulações termo-energéticas em fases iniciais de projeto: proposta de método de ensino e estudo de caso**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, Dr.

Coorientador: Prof. Carlos Eduardo Verzola Vaz, Dr.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira de Souza, Larissa

Avaliação do potencial de inserção de simulações termo energéticas em fases iniciais de projeto: : proposta de método de ensino e estudo de caso / Larissa Pereira de Souza ; orientador, Roberto Lamberts, coorientador, Carlos Eduardo Verzola Vaz, 2020.

161 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Fases iniciais de projeto. 3. Simulações de desempenho térmico. 4. Ensino de simulação. I. Lamberts, Roberto. II. Verzola Vaz, Carlos Eduardo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Larissa Pereira de Souza

**Avaliação do potencial de inserção de simulações termo-energéticas em fases iniciais de projeto:** proposta de método de ensino e estudo de caso

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.a Ana Paula Melo, Dr.a  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Martin Gabriel Ordenes Mizgier, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.a Clarice Bleil de Souza, Dr.a  
Instituição Cardiff University

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

---

Prof. Paolo Colosso, Dr.(a)  
Coordenador(a) do Programa

---

Prof.(a) Roberto Lamberts, Dr.(a)  
Orientador(a)

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Noé de Souza Filho e Cacilda Pereira de Souza, por todo o apoio e incentivo durante a vida, mas principalmente em seguir a carreira acadêmica.

À minha irmã, Wanessa Pereira de Souza, que mesmo distante me apoia e incentiva todos os dias.

Ao Professor Roberto Lamberts pelas orientações, discussões e empenho no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Professor Carlos Vaz, pelas ideias, paciência nas orientações e nos experimentos realizados em conjunto.

Ao Professor Martin Ordenes Mizgier pelo grande apoio aos experimentos realizados nesta pesquisa e por aceitar avaliar esta pesquisa.

À Professora Ana Paula Melo pelos conhecimentos passados no laboratório desde a graduação, e por agora contribuir e avaliar o desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Clarice Bleil de Souza por ser grande inspiração neste trabalho e aceitar avaliá-lo.

Ao Mateus Bavaresco e ao Matheus Geraldi pelo constante incentivo, ajuda e ensinamentos da área acadêmica, tudo isso com muito bom humor. Pelos trabalhos em equipe, pelas conversas e divagações produtivas que renderam boas ideias.

À Maíra André e à Roberta Cureau pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa, e por tornar o processo mais divertido.

Ao Ricardo Cantelli e à Yasmim Rodrigues por sempre me ouvirem atentamente no dia a dia e pela paciência com o meu entusiasmo.

Ao Joaquim, Carlos, Júlia, Júlio e Anna pelos momentos de distração e divertimento durante todo esse período.

À Giselle, Ana e Maíra pelo longo caminho de amizade e por ainda confiarem tanto em mim.

Aos colegas do LabEEE pelas horas do café de grandes (ou nem tão grandes) ideias, tornando o caminho mais leve.

Aos colegas do GMA, principalmente ao Gustavo e ao Arthur, pelos cafés longos, pelas reuniões e projetos encaminhados de forma divertida e produtiva.

Às sobreviventesaream, Jéssica, Leandra, Fabíola e Franciele, amigas que o mestrado proporcionou, pelo caminho traçado juntas e pelo apoio constante em seguirmos adiante.



## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a inserção de simulações termo-energéticas nas alterações iniciais de projeto como método de ensino de variáveis de desempenho de edificações. Para tanto, apresentou-se uma breve análise sobre os programas de simulação existentes que estão integrados a ambientes de modelagem e levantou-se dados sobre o processo de projeto de arquitetos formados. A partir disso, propôs-se um método de ensino de simulações termo-energéticas para estudantes e profissionais na área de arquitetura. A fim de avaliar a compreensão dos termos técnicos relacionados ao desempenho a partir de testes e análises com simulações termo-energéticas e reportar dificuldades de aplicação de simulações energéticas em fases iniciais de projeto, realizou-se um experimento piloto do método de ensino na busca do seu aperfeiçoamento. A partir destes levantamentos, realizaram-se outros dois experimentos do método de ensino, já alterado, com estudantes de arquitetura e arquitetos. Para tanto, dividiu-se a pesquisa em duas etapas. Na Etapa 1 levantaram-se os programas de simulação aplicáveis ao processo de projeto, os parâmetros relacionados a este processo, bem como um experimento piloto de ensino de simulação a estudantes. Na Etapa 2 foram realizados dois experimentos com base nos levantamentos da Etapa 1, aplicados a estudantes e a arquitetos. Ao final da pesquisa foi possível correlacionar as respostas obtidas por questionário com experimentos de ensino de simulação durante alterações de projeto. Evidencia-se a falta de autonomia dos arquitetos para a tomada de decisões de projeto relacionadas ao desempenho térmico da edificação nas respostas obtidas pelos arquitetos entrevistados, enquanto que o experimento de ensino de simulação de estudante mostra a capacidade dos projetistas de obterem respostas de simulação e, a partir disso, conseguirem a partir de poucas alterações, produzir projetos de melhor desempenho. Reforça-se, com esta pesquisa, a necessidade de utilização de simulação termo-energética durante o desenvolvimento de projeto, pelos projetistas, a fim de se obter edificações que respondam melhor ao clima inserido e, consequentemente, necessitem de menos energia para gerar conforto aos usuários. Evidencia-se, também, a necessidade de reforçar as análises térmicas durante o projeto desde a formação dos projetistas, para que esta se torne uma prática de projeto comum e embutida durante o processo criativo.

**Palavras-chave:** Fases iniciais de projeto. Simulações de desempenho térmico. Ensino de simulação.



## ABSTRACT

The goal of this research was to evaluate thermo-energetic simulations in early design changes as a method of teaching building performance variables. For this, a brief analysis of the existing simulation programs integrated with modeling software was presented, and data was collected on the design process of trained architects. From this, a method of teaching thermo-energetic simulations for students and architects was proposed. To assess the understanding of technical terms related to building thermal performance, students performed thermo-energetic simulations and analyses. Before that, a pilot experiment of the teaching method was carried out, seeking its improvement. They reported difficulties in applying these simulations in the early stages of the project. From these surveys, two main experiments of the altered teaching method were carried out with architecture students and architects. To this end, the research was divided into two stages. In Step 1, the simulation programs applicable to the design process were raised, as well as the study of the design process parameters related to its phase. By the end of Step 1, the pilot experiment took place. By the end of Step 1, the method was developed and tested. So in Step 2, two main experiments were carried out based on the surveys of Step 1, applied to students and architects. At the end of the research, it was possible to correlate the responses obtained through a questionnaire or the reports of the simulation experiments. It was evident the lack of autonomy of architects to make design decisions related to the thermal performance of the building in the answers obtained by the interviewed architects. However, the student simulation teaching experiment shows the designers' ability to carry out simulation and then develop projects with better performance with a few changes. This research reinforces the need for designers to use thermal performance simulations during project development to obtain buildings that respond better to the climate and, consequently, use less energy to generate comfort for users. It is also evident the need to reinforce thermal analysis during the project since the beginning of the designers' graduation studies so that it becomes an embedded design practice during the later creative process.

**Keywords:** Early design stages. Building thermal performance simulations. Simulation teaching method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do método proposto .....	39
Figura 2 – Escopo de ensino.....	46
Figura 3 - Desenvolvimento do material de apoio. ....	49
Figura 4 – Linha do tempo de coleta de dados .....	54
Figura 5 – Distribuição do questionário por cidade (à esquerda) e estado (à direita) .....	59
Figura 6 – Distribuição dos entrevistados de acordo com a idade e anos de formação .....	60
Figura 7 - Método de validação de parâmetros bioclimáticos.....	63
Figura 8 - Interesse em considerar mais parâmetros. ....	65
Figura 9 - Modo de visualização dos resultados obtidos.....	67
Figura 10 - Tomada de decisões. ....	68
Figura 11 - Utilização de programas de modelagem.....	70
Figura 12 – Proposta de estrutura de trabalho. ....	79
Figura 13 – Análises da parte 2 do trabalho. ....	86
Figura 14 – Análises da parte 3 do trabalho. ....	86
Figura 15 – Resultado antes e depois do Grupo 01. ....	88
Figura 16 – Resultado antes e depois Grupo 07. ....	89
Figura 17 – Resultado antes e depois Grupo 08. ....	90
Figura 18 – Resultado antes e depois Grupo 09. ....	92
Figura 19 – Resultado antes e depois Grupo 13. ....	93
Figura 20 – Resultado antes e depois Grupo 15. ....	95
Figura 21 – Resultado antes e depois Grupo 17. ....	96
Figura 22 – Segundo trabalho do Grupo 17. ....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da análise de programas .....	58
Quadro 2 – Legenda dos quadros 5, 6 e 7 quanto à relevância para cada etapa de projeto.....	61
Quadro 3 – Parâmetros bioclimáticos e de desempenho. ....	61
Quadro 4 – Resultado de interesse para análise da edificação. ....	66
Quadro 5 – Definição de parâmetros da edificação.....	69
Quadro 6 – Síntese do exercício 2 .....	74
Quadro 7 – Classificação dos climas e cidades propostas e o grupo de trabalho.....	81
Quadro 8 – Agrupamento de trabalhos.....	84
Quadro 9 – Comparação de percentual de conforto adaptativo e carga térmica. ....	87
Quadro 10 – Fluxo de alterações de projeto por grupo. ....	99
Quadro 11 – Nova análise de programas.....	106

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BIM Building Information Modeling

CFD Computational Fluid Dynamic

EUI Energy Use Intensity

TMY Typical Meteorological Year

TRY Typical Weather Year

VPL Visual Programming Language

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1	COMPREENSÕES DO PROCESSO DE PROJETO .....	20
<b>2.1.1</b>	<b>Modelagem paramétrica .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Arquitetura bioclimática e simulações termo-energéticas.....</b>	<b>24</b>
2.2	ENSINO DE SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA EM ARQUITETURA.....	28
2.3	INTEGRAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....	33
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	36
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>38</b>
3.1	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS .....	39
<b>3.1.1</b>	<b>Análise de programas de simulação aplicados ao processo de projeto.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Aplicação de questionário .....</b>	<b>41</b>
3.1.2.1	<i>Processo de projeto .....</i>	42
3.1.2.2	<i>Diretrizes bioclimáticas.....</i>	42
3.1.2.3	<i>Simulação termo-energética no projeto .....</i>	43
3.1.2.4	<i>Análise de resultados.....</i>	44
<b>3.1.3</b>	<b>Experimento piloto .....</b>	<b>44</b>
3.2	PROPOSTA DE MÉTODO DE ENSINO.....	46
<b>3.2.1</b>	<b>Escopo do ensino das aulas .....</b>	<b>46</b>
3.2.1.1	<i>Aulas expositivas .....</i>	47
3.2.1.2	<i>Aulas práticas .....</i>	47
3.2.1.3	<i>Exercício .....</i>	48

<b>3.2.2</b>	<b>Material de apoio .....</b>	<b>48</b>
3.2.2.1	<i>Arquivo padrão.....</i>	49
3.2.2.2	<i>Manual básico .....</i>	50
3.2.2.3	<i>Modelo de relatório .....</i>	50
3.3	ETAPA 2: EXPERIMENTAÇÃO.....	51
<b>3.3.1</b>	<b>1º Experimento – Estudantes de arquitetura .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.2</b>	<b>2º Experimento – Arquitetos.....</b>	<b>52</b>
3.4	PERGUNTAS DE PESQUISA .....	53
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
4.1	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS .....	54
<b>4.1.1</b>	<b>Análise de programas de simulação aplicados ao processo de projeto.....</b>	<b>54</b>
4.1.1.1	<i>Programas de modelagem .....</i>	55
4.1.1.2	<i>Sefaira.....</i>	56
4.1.1.3	<i>Ladybug Tools .....</i>	56
4.1.1.4	<i>CoveTool.....</i>	57
4.1.1.5	<i>Archsim.....</i>	57
4.1.1.6	<i>Conclusões da análise de programas .....</i>	58
<b>4.1.2</b>	<b>Aplicação de questionário .....</b>	<b>59</b>
4.1.2.1	<i>Definição de parâmetros bioclimáticos e de desempenho da edificação.....</i>	61
4.1.2.2	<i>Inserção de simulações termo-energéticas no processo projetual.....</i>	65
4.1.2.3	<i>Características do processo projetual.....</i>	69
4.1.2.4	<i>Conclusões do questionário.....</i>	71
<b>4.1.3</b>	<b>Experimento piloto .....</b>	<b>72</b>
4.1.3.1	<i>Exercício 1 .....</i>	73
4.1.3.2	<i>Exercício 2.....</i>	73
4.1.3.3	<i>Questionário final.....</i>	75
4.1.3.4	<i>Conclusões sobre o experimento .....</i>	75

4.2	CONSIDERAÇÕES ETAPA 1 .....	76
4.3	ETAPA 2: EXPERIMENTAÇÃO.....	80
<b>4.3.1</b>	<b>1º Experimento – Estudantes de arquitetura .....</b>	<b>80</b>
4.3.1.1	<i>Análise geral dos grupos .....</i>	82
4.3.1.2	<i>Análise de grupos específicos.....</i>	85
4.3.1.2.1	Grupo 01 – Mumbai.....	88
4.3.1.2.2	Grupo 07 – Petrolina.....	89
4.3.1.2.3	Grupo 08 – Petrolina.....	90
4.3.1.2.4	Grupo 09 – Cairo .....	91
4.3.1.2.5	Grupo 13 – Varsóvia.....	93
4.3.1.2.6	Grupo 15 – Chicago.....	94
4.3.1.2.7	Grupo 17 - Egilsstadir.....	96
4.3.1.3	<i>Considerações.....</i>	97
4.3.1.4	<i>Exercício livre.....</i>	99
4.4	CONSIDERAÇÕES ETAPA 2 .....	101
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>102</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	102
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	105
<b>5.2.1</b>	<b>Limitações da pesquisa.....</b>	<b>106</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICE A – Questionário aplicado em arquitetos sobre o processo de projeto.....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE B – Material de apoio do piloto, 1ª e 2ª experimento .....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE C – Modelo de relatório.....</b>	<b>148</b>
	<b>APÊNDICE D – Questionário final do experimento piloto .....</b>	<b>156</b>
	<b>APÊNDICE E – 2º Experimento - Arquitetos.....</b>	<b>160</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

Um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia - IEA chamado “*The Future of Cooling*” mostra dados alarmantes quanto ao aumento de consumo de condicionamento de ar no mundo. De 1990 a 2016, o número de vendas anuais de ar condicionado quase que quadruplicou. No final do ano de 2016, mais da metade da potência instalada destes equipamentos estava localizada no setor residencial. Destes equipamentos levantados, cerca de 70% destes estavam também instalados em edifícios residenciais, tornando assim os splits o sistema de maior predominância no mundo. Este mesmo estudo também traz duas projeções para o ano de 2050, uma de referência e uma eficiente. Segundo premissas tomadas pela pesquisa, para o cenário de referência, o uso mundial de energia para resfriamento pode mais que triplicar de 2015 a 2050, sendo a maior parcela deste crescimento advinda do setor residencial. Já para o cenário de eficiência, o ensaio apresenta grande redução do consumo esperado, mas ainda assim, este apresenta aumento considerável no consumo em relação ao atual. Projeta-se sobre este último a melhoria do desempenho térmico dos edifícios, e conseqüentemente, considera-se a redução de seu consumo necessário para refrigeração. O estudo mostra que, ao considerar que novos edifícios serão necessariamente eficientes energeticamente, é possível estagnar o consumo energético despendido para refrigeração (IEA,2018).

Já no âmbito brasileiro, segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2019 (EPE, 2019), de 2009 a 2018 houve um aumento significativo de 25,7% no consumo final de energia elétrica. De acordo com o balanço, o setor que mais consumiu em 2018 é o setor industrial com 37,5% do total, seguido do setor residencial com 25,4%, acima do setor comercial que tem 16,9% da parcela. Apesar do setor industrial possuir maior parcela no consumo de energia elétrica, são os setores comercial e residencial que apresentaram o maior crescimento no consumo entre os anos de 2009 e 2018. As edificações comerciais consumiram 37,5% a mais em 2018, em comparação a 2009, seguido de 35,4% a mais para edificações residenciais, enquanto que o consumo no setor industrial cresceu em 7,6%.

Diante desses fatores, é importante reconsiderar as tomadas de decisões do projeto de edifícios em relação às suas influências no desempenho térmico do ambiente construído. É comprovado que a forma do edifício é um dos principais determinantes (por vezes o maior) no

seu desempenho pós-ocupação, e assim, as fases iniciais de projeto são cruciais para a redução do consumo final da edificação. Sendo assim, são os projetistas os responsáveis por muitas decisões durante as fases iniciais de projeto, decisões estas relacionadas principalmente ao microclima da edificação, orientações, massa volumétrica, envoltória, iluminação natural, entre outros, que afetam o consumo de energia necessário durante todo o uso do edifício. Em contrapartida, grande parte das medidas tomadas para a sua melhoria são realizadas ao final do projeto, ou em fases em que a forma do edifício já está definida, e há grande dependência de novas tecnologias na busca de melhor desempenho da edificação. Ou ainda, que estas mudanças necessárias ao final do projeto, não são apenas mais dispendiosas, mas também podem não ser possíveis de alcançar (AIA, 2019; NEMBRINI; SAMBERGER; LABELLE, 2014; SAMUELSON et al., 2016).

Com isso, há a errônea percepção de que projetos eficientes possuem necessariamente custo elevado, pois se considera que estas alterações só são realizadas dependendo de materiais de alto custo e desempenho. Isso porque o objetivo de alcançar um bom desempenho da edificação não é traçado desde a sua concepção. Como resultado, incorporar as simulações de desempenho no processo pode ser uma importante estratégia, não só para os escritórios, mas também para os clientes e futuros usuários do edifício, uma vez que os ambientes passam a ser mais confortáveis. Além disso, estas simulações podem guiar a tomada de decisões e impactar custos iniciais e operacionais do edifício. Por exemplo, o ajuste tanto da orientação quanto da volumetria do edifício, a fim de minimizar o aquecimento por ganho solar, pode reduzir futuramente o consumo do sistema de condicionamento de ar. Entretanto, há a dificuldade de integração entre a modelagem e as simulações termo-energéticas visto a necessidade de conhecimento de diferentes programas computacionais. Assim, o denso fluxo de trabalho e significativo desgaste de tempo, além da quantidade de alterações de projeto que já ocorrem nas fases iniciais de projeto, desestimulam a utilização destas ferramentas, e conseqüentemente, as simulações de desempenho da edificação. Essas análises tornam a concepção mais trabalhosa, visto o tempo despendido ao de conectar o desenvolvimento do projeto com as simulações (AIA, 2019; ELBELTAGI et al., 2017).

Ademais, em parte significativa das simulações, os resultados não são visuais e de fácil compreensão, e conseqüentemente, não são rapidamente aplicáveis às alterações de projeto. Nota-se, assim, necessidade de melhoria da relação entre simulação energética e o desenvolvimento do projeto, tanto no seu desenvolvimento integrado, como citado anteriormente, quanto na resposta obtida. Para mais, a fragmentação educacional existente entre

o ensino de projeto e o de física do ambiente construído intensifica o afastamento entre projeto e simulação. A distância que se tem entre os dois conteúdos faz com que o desempenho térmico do edifício não seja considerado crucial no desenvolvimento do projeto, passando a ser, posteriormente, um processo de busca por soluções que visam a melhora no desempenho de um projeto com uma concepção pré-definida. Isso se deve também à falta de ferramentas computacionais que auxiliem no entendimento dos fenômenos físicos da edificação, forçando projetistas a se basearem em conhecimentos adquiridos em certas localidades de projeto para prever consequências das decisões de projeto tomadas, que podem não ter relação direta com o conhecimento adquirido anteriormente. Estes pontos demonstram a necessidade de um método mais efetivo que integre simulações de desempenho térmico no processo de ensino de projeto, incentivando a sua implementação na futura carreira do projetista (AIA, 2019; BLEIL DE SOUZA, 2012).

Portanto, o presente trabalho visa implementar análises termo-energéticas no ensino de desempenho térmico de edificações nas fases iniciais de projeto. Busca-se compreender fatores relevantes ao ensinar os fenômenos térmicos das edificações a fim de elaborar e aprimorar um método de ensino. A implementação avaliará o entendimento da influência de parâmetros por meio de alterações volumétricas do projeto a partir de análises integradas e de resultados visuais, a fim de incentivar o seu uso no processo projetual, bem como o processo de alterações projetuais ao considerar estas análises.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar a inserção de simulações termo-energéticas nas alterações iniciais de projeto como método de ensino de variáveis de desempenho de edificações.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- Analisar brevemente os programas de simulação existentes que estão integrados a ambientes de modelagem de projetos de arquitetura;

- Levantar dados sobre o processo de projeto de arquitetos a fim de compreender pontos cruciais de definição de projeto em fases diferentes do desenvolvimento;
- Propor um método de ensino de simulações termo-energéticas para estudantes e profissionais na área de arquitetura;
- Avaliar a compreensão dos termos técnicos relacionados ao desempenho a partir de testes e análises com simulações termo-energéticas, avaliando o método de ensino proposto;
- Reportar dificuldades de aplicação de simulações energéticas em fases iniciais de projeto em relação ao método abordado.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em cinco capítulos principais. No primeiro, apresenta-se a introdução, na qual é apresentada a contextualização e problematização do tema, com um apanhado geral para ambos (tópico 1.1), seguido dos objetivos geral e específicos do estudo (tópico 1.2), para então apresentar a presente estrutura do trabalho (tópico 1.3).

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica. Esta foi dividida em quatro tópicos principais, relacionados ao embasamento do tema desta pesquisa. Inicialmente, apresentam-se as discussões sobre o processo de projeto arquitetônico (tópico 2.1), tanto de forma abrangente, quanto tratando de tópicos mais específicos quanto a sua relação com modelagem paramétrica (tópico 2.1.1) e com a arquitetura bioclimática e simulações termo-energéticas (tópico 2.1.2). Após essa discussão, trata-se sobre o ensino de simulações termo-energéticas (tópico 2.2), na qual discutem-se conceitos e métodos. Seguindo estes pensamentos, discutem-se estudos sobre a integração de modelagem em projeto e de simulação e o panorama atual sobre o tema (tópico 2.3). Finaliza-se o capítulo com considerações finais e gerais em relação a todos os temas apresentados anteriormente (tópico 2.4).

O terceiro capítulo detalha o método utilizado na presente pesquisa, o qual foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa (tópico 3.1) realizam-se análises sobre o processo de projeto e sobre programas de simulação existentes, além de um experimento piloto, a fim de criar e aperfeiçoar o ensino de simulação para aplicação futura. A segunda etapa (tópico 3.3) descreve as aplicações práticas do método desenvolvido a partir da primeira etapa.

Nos dois últimos capítulos concentram-se os resultados e discussões da pesquisa (capítulo 4) e nas conclusões e considerações finais (capítulo 5). Ao final são apresentadas as referências bibliográficas e apêndices do presente estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão de estudos realizados nos últimos anos sobre este tema, seguindo a linha de raciocínio conforme a apresentação dos termos: processo de projeto; ensino de simulação; integração de modelagem e simulação; visualização de dados. Esta sequência se deu a fim de definir a construção do raciocínio atrelado à união de desenvolvimento de projeto de simulação, partindo de definições e pesquisas sobre o processo projetual de forma abrangente, seguidamente com a relação do ensino de simulação com o ensino de projeto, para então analisar qual a integração entre as duas áreas no âmbito de programas e tecnologias, bem como suas problemáticas atualmente constatadas.

### 2.1 COMPREENSÕES DO PROCESSO DE PROJETO

O processo de projeto não pode ser definido com algo linear, considerando os pensamentos complexos e diversos dos projetistas (MITCHELL, 2009). Tendo isso em vista, busca-se defini-lo pela descrição de seus produtos, visto que estes têm suas relações complexas. Assim, a tomada de decisão conta com a análise, a síntese e avaliação, aqui caracterizadas como a estruturação do problema, a geração de soluções e a crítica sobre estas, respectivamente. Parte-se do princípio que o projeto é um processo no qual a problematização e a solução coexistem e emergem juntos. Estes dois pontos são também um acordo, um reflexo, em que as três etapas (análise, síntese e avaliação) envolvem e unem a relação de problema e solução, ainda que não se tenham nem pontos de partida, nem uma direção no fluxo de trabalho de uma para outra.

Estes princípios partem da análise de Lawson (2011) sobre a caracterização do processo de projeto, a partir de uma crítica a diversos autores. Para isto, este considera que a busca prematura pela definição do método pode acarretar uma visão restrita, visto que os arquitetos não possuem certeza de todas as necessidades. É considerado ainda que, para se projetar, sejam primordiais algumas habilidades genéricas, e ao mesmo tempo, demandam-se habilidades específicas, como noção visual bem desenvolvida.

Lawson (2011) defende, ainda, que as condições experimentais de projetistas, a fim de mapear o andamento de projeto, não condizem com o verdadeiro processo de tomada de decisões de projeto. Ressalta que esses casos experimentais, por serem de observação do processo criativo, promove um comportamento diferente do habitual do sujeito, e logo, não

transparecem o resultado verdadeiro. O autor acredita que uma pesquisa por meio de entrevistas faz com que os arquitetos consigam descrever melhor o seu trabalho, contando que neste caso seja mais improvável que não falem a verdade. Mesmo que não desvirtuem informações sobre seu desenvolvimento, é comum que estes o descrevam de modo mais lógico do que realmente ocorre. As entrevistas permitem, ainda, que diversos profissionais possam respondê-la, ao passo que experimentos são realizadas em alunos, majoritariamente.

Mitchell (2009) analisa a racionalização do processo. Compara a crítica arquitetônica com uma base de dados, na qual é representada por meio de sentenças, diagramas, códigos de programas, e assim por diante. Considerando que tanto o projetista, quanto o próprio crítico, são os mesmos agentes considerados pelo autor, este ator deve ter conhecimento de características e regras possíveis de se fazer declarações e conclusões sobre determinado trabalho. Dentro dessa base de dados, consideram-se os axiomas, dados e regras, que vão desde regras de geometria e física clássicas, à economia, ciências sociais e aspectos culturais. Assim, o conhecimento necessário não engloba apenas o desenvolvimento de habilidades do mundo projetual, mas também de uma extensa base de dados de conhecimentos prévios, para que desta forma, a percepção sobre o desenvolvimento do seu próprio projeto seja crítica em relação às possíveis consequências deste no ambiente. Estas declarações e conclusões são realizadas de forma gradual, em que se chega a uma conclusão final a partir de diversas intermediárias.

A avaliação de um projeto trata desde sua coerência até sua viabilidade, e comprovados estes parâmetros, este é analisado por uma ótica mais abstrata, a de valoração. Iniciando pela coerência, esta trata de analisar o sentido ou não para aquilo que foi proposto, sendo este o parâmetro, talvez, mais simples de todos. A viabilidade pode estar relacionada a condicionantes como as leis da física, a lógica, econômica, ou mesmo limitações históricas e sociais. Em relação à valoração, a análise é mais complexa, dependendo do contexto em que o projeto se insere para que o avalie como prazeroso. Assim, a interpretação deste é dependente de suas determinantes e diversas possibilidades (MITCHELL, 2009).

Mitchell (2009) aborda, ainda, a eficiência computacional de representação do projeto, e vê nisto uma solução para limites temporais e de recursos. Segundo este, as melhorias na tecnologia buscam o aumento da eficiência, partindo do princípio de que se desenvolveram procedimentos de avaliação de custos e de desempenho, até atualmente, em que projetos são modelados em computador, por meio de *Computer Aided Design* (CAD), substituindo os processos analógicos com o papel. A tecnologia permite a junção de diversas análises em um mesmo ambiente computacional, por exemplo, a avaliação de custos e a modelagem, e

conforme novas tecnologias surgem, a automatização dos processos e do raciocínio se desenvolve mais rapidamente. Por fim, encontramos uma solução projetual quando distinguimos o desenho das alegações críticas, ou seja, por meio da parte representativa demonstramos que este satisfaz as alegações. Ainda assim, o autor enfatiza que a tomada de decisões e conclusões podem se desenvolver melhor tanto graficamente como verbalmente.

Desta forma, com a inserção de tecnologias computacionais na análise do processo, Stefani (2014) analisa a produção acadêmica existente sobre o assunto, mas reflete principalmente sobre a discussão existente acerca do impacto de ferramentas digitais neste processo. Para tanto, esta optou por analisar As duas perspectivas sobre o assunto: a de ferramentas analógicas e digitais. O estudo analisa estas duas abordagens como distintas e não relacionadas, em que conclui que, ao se valorizar métodos digitais, desvalorizam-se os métodos analógicos. Percebe, ainda, a alteração no papel do arquiteto com a diferenciação dos métodos com o passar do tempo, e considera o processo de inserção de métodos digitais no ensino de arquitetura como algo negativo, pois essa vertente de pensamento pressupõe que o desenvolvimento de conceitos por meio da digitalização barra o processo criativo.

Em contrapartida, Tonelli (2017) avalia o esboço no processo de projeto, ou seja, analisa este método analógico. No estudo considera-se apenas a implementação deste apenas em fases bem iniciais de projeto, anteriores à fase conceitual: desde o planejamento, às informações até se chegar, então, ao conceito. Isto reforça a importância de métodos analógicos inicialmente para que se consiga inserir procedimentos digitais durante o restante do processo.

Assim como outros já mencionados nessa seção, Tonelli (2017) também classifica o início de projeto partindo de uma base de conhecimento e do estabelecimento de metas e objetivos para a busca de soluções. Disto, geram-se novamente os produtos de trabalho, que passam por testes específicos, a fim de compreender e lapidar as soluções encontradas. No caso deste estudo, a análise passa a ser necessariamente um teste perceptivo, visto a visualização dos esboços. Só quando este teste é positivo é que se toma a decisão de projeto. Por fim, no caso da aprimoramento deste, as fases de geração de soluções voltam a ser analisadas pela ótica de Lawson (2011): análise, síntese e avaliação.

A consideração de que processos analógicos e digitais são distantes é errônea. Boa parte das tecnologias inseridas no desenvolvimento de projeto foram criadas com o intuito de racionalizar e aprofundar soluções de problemas maçantes, para que assim o projetista se concentrasse tanto no aperfeiçoamento de mais âmbitos de projeto quanto na criatividade das novas soluções e assim expandir sua base de dados. A racionalização de pontos trabalhosos deu

mais liberdade e tempo para se chegar a um maior número de soluções possíveis que, somente com métodos analógicos não seria tangível. Da mesma forma, os métodos analógicos demandam boa parcela de tempo para representações técnicas e detalhadas, reduzindo o tempo de trabalho despendido no processo criativo de soluções. Ambos métodos desempenham papéis de grande importância neste desenvolvimento e o enriquecem mutuamente.

### **2.1.1 Modelagem paramétrica**

Seguindo a ideia de digitalização e racionalização do desenvolvimento de projeto, surge recentemente a modelagem paramétrica. Esta é uma abordagem que transcreve variáveis e propriedades geométricas, convertendo uma ideia por meio de parâmetros e ações, e estes parâmetros são significativos para a alteração de projeto, conformando um conjunto de associações previamente determinado partindo de definições lógicas, alterados a qualquer momento do processo. Este é utilizado, principalmente, na geração de formas complexas de edifícios e na otimização da busca por múltiplas soluções (ELBELTAGI et al., 2017; YU; GERO; GU, 2015).

De acordo com Yu, Gero e Gu (2015), esta estratégia permite que o projetista substitua o conhecimento por um algoritmo próprio de criação, que codifica padrões e formam uma base de regras, reutilizáveis pelo arquiteto, e que acabam por desenvolver um estilo próprio deste. Cada estudo gerado, mesmo que com a utilização destes padrões, é único, mas faz parte de um mesmo estilo. Esta estratégia permite a expansão para o conhecimento de outras áreas, pois a definição de formas complexas são gerenciadas com maior eficiência, além da incorporação de parâmetros externos que permitem soluções mais racionais e alterações projetuais mais rápidas. Novamente, os autores citam a alteração do papel do arquiteto neste desenvolvimento tecnológico, tal qual cita Stefani (2014).

Conforme este recurso se desenvolve, surgem questões que consistem na preocupação com a alteração brusca do que antes se definia como elaboração projetual. Este conta com solução rápida de problemas, processos generativos e automatização. Devido a isso, pesquisas recentes buscam compreender a relação entre este procedimento e o processo cognitivo, bem como a criatividade dos projetistas imersos nesse método.

A partir de estudos, nota-se que este método não necessariamente dificulta a criatividade do projetista. Tendo em vista que o algoritmo desenvolvido pode, na verdade, dar suporte à criatividade ao produzir soluções mais úteis, como a melhoria no desempenho do

edifício, no qual a definição de regras e algoritmos podem resultar em soluções mais interessantes e próximas do ideal (YU; GU; OSTWALD, 2018).

Sendo assim, a digitalização do processo demonstrou ganho para os projetistas de forma geral. Isto não ocasionou perdas criativas ou de conhecimento, pelo contrário, esta tecnologia permite que os projetistas estejam mais vinculados com o processo criativo, além de ter contato com áreas que antes não eram possíveis devido ao tempo de desenvolvimento do projeto, e assim, podem alcançar produtos finais mais avançados e “bons”, de acordo com Mitchell (2009), em um menor espaço de tempo.

### **2.1.2 Arquitetura bioclimática e simulações termo-energéticas**

Seguindo o raciocínio de pesquisas sobre o processo de projeto, analisa-se o emprego de estratégias bioclimáticas. Como já mencionado anteriormente, grande parte das alterações de projeto que almejam melhor desempenho térmico e eficiência da edificação ocorrem nas fases finais de projeto e por consequência, são de menor impacto, visto que é na volumetria da edificação que se encontra maior potencial para alcançar estes objetivos.

Como ressalta Maciel (2006), a arquitetura bioclimática é um pacote adicional à edificação, não incorporada ao projeto como diretriz na concepção. A autora enfatiza a importância de compreender o processo de projeto para que sejam identificados os elementos incorporados relacionados a conceitos bioclimáticos. Há, porém, grande dificuldade nisto devido à não linearidade dos estágios de projeto, e por consequência, não há afirmação de quais são as eventuais barreiras na implementação destas diretrizes. Ainda assim, identificam-se alguns pontos comuns neste processo em relação às ferramentas utilizadas para a análise de diretrizes bioclimáticas, em que grande parte tem como objetivo o desenvolvimento de proteções solares. Outras também propiciam a junção de características climáticas e estratégias de projeto, bem como ferramentas de ensino que facilita o entendimento de arquitetura passiva.

Para se alcançar um edifício de alto desempenho e qualidade é necessário focar primeiramente em estratégias passivas, e ainda assim, é imprescindível o uso de simulações de desempenho do edifício para a otimização das estratégias passivas e de custos. Estudos atuais buscam a otimização de alguns parâmetros da edificação a partir de diversas análises de desempenho com o enfoque em melhoria da envoltória da edificação, estando intrinsecamente relacionado com as fases iniciais de projeto.

Bichiou e Krarti (2011) realizam uma análise com enfoque em otimização da envoltória em relação ao sistema de HVAC (dependendo de cada cidade analisada: bombas de calor, ar condicionado e refrigeração evaporativa), levando em consideração também o ciclo de vida. O método de análise traz a utilização de algoritmos genéticos (GA), busca linear (SS) e otimização por enxame de partículas (PSO). Os resultados foram avaliados em 4 grupos: otimização do sistema HVAC apenas, considerando a envoltória pré-definida; da envoltória e do sistema de HVAC juntos; da envoltória e depois do sistema HVAC, buscando o entendimento dos efeitos de interação entre ambos; e por último, a otimização baseada na redução do consumo anual de energia em vez de custos de ciclo de vida. Os resultados foram melhores quando a análise englobava tanto envoltória quanto HVAC, mas acabavam por serem resultados de custo elevado, visto que esse não foi um parâmetro considerado na pesquisa. Como conclusão, os autores consideraram os esforços necessários para a pesquisa baseada em algoritmos genéticos (também com o PSO) menores do que em relação à busca linear (cerca de 70%). Ainda que os sistemas de condicionamento de ar não sejam considerados nas fases iniciais de projeto, é importante que haja o incentivo para que estudos nesse âmbito sejam realizados e que englobem todo o processo visando seu aprimoramento.

Já Granadeiro et al. (2013) desenvolveram um indicador que relaciona a demanda de energia do edifício com o seu projeto, unindo parâmetros iniciais da envoltória como fator de forma, percentual de abertura da fachada e fator solar do vidro. Os autores partem da hipótese de que transferências de calor por transmissão e ganho solar são os componentes mais sensíveis às modificações da alteração de parâmetros da envoltória. Esse indicador tem como objetivo principal ser simples e motivar projetistas a usá-lo na fase inicial de projeto, mas ao mesmo tempo trazer resultados mais coerentes com a forma do edifício. Como conclusão, estes defendem a ideia de que as ferramentas devem facilitar e direcionar o projeto para boas soluções energéticas. Caso a alteração da forma do edifício piorar a performance energética, o projetista deve saber como isso pode ser compensado por outras alterações da envoltória.

Outra análise com o mesmo princípio de alteração de variáveis da envoltória foi realizada por Méndez Echenagucia et al. (2015), mas por meio de algoritmos genéticos, a fim de avaliar as melhores configurações desta para aquecimento, resfriamento e iluminação, separadamente. Os autores consideraram as simulações com e sem o contexto urbano. Para realizar este estudo, que considera diversos parâmetros e fatores, nota-se a necessidade de conhecimento em áreas diversas (arquitetura e processo de projeto, algoritmos, configuração e execução de simulações termo-energéticas, entre outros) a fim de entender relações de

parâmetros simples de projeto, como aberturas, orientações, entorno e elementos de sombreamento, com o seu desempenho final.

Samuelson et al. (2016) apresentam uma análise de sensibilidade sobre um protótipo de edificação residencial multifamiliar, realizada com os seguintes programas de modelagem paramétrica e avaliação de desempenho: Rhinoceros (modelagem tridimensional), Grasshopper (alteração de parâmetros do modelo), Archsim (um *plug-in* que converte a informação do modelo para o EnergyPlus) e EnergyPlus (simulação energética). A partir da interoperabilidade destes aplicativos, foi possível realizar uma análise holística sobre três formas do edifício abordadas. Foram avaliados os melhores resultados na minimização da intensidade de uso de energia e de cargas de pico, ao mesmo tempo que a maximização da “sobrevivência passiva” (*passive survivability*) do edifício seja alcançada, definida como a habilidade do edifício de manter as temperaturas internas passivamente. O protótipo foi simulado para três cidades, Pequim, Shenzhen e Nova York, variando parâmetros como o percentual de abertura (WWR), o tipo de vidro, a orientação da edificação, a forma do edifício e o isolamento da parede, a fim de compreender quais desses parâmetros possuem maior influência nos resultados das simulações energéticas de edificações. Com estes programas, os autores também analisaram o efeito do contexto urbano sobre a simulação energética. Como resultados, estes chegaram a diferentes configurações da edificação para cada cidade, com possibilidades próximas ao ideal, ou seja, valores mais baixos de intensidade de uso de energia aliados a valores máximos de “sobrevivência passiva” da edificação. As possibilidades demonstraram que, quanto melhores as performances dos materiais, menor a interferência da forma e das orientações no desempenho. Logo, o contrário também ocorre: com materiais de desempenho inferior, a forma e as orientações da edificação obtiveram significativa relevância no seu resultado.

Mais recentemente, Shiel, Tarantino e Fischer (2018) buscaram analisar a inserção de dados em fases diferentes de projeto, a fim de entender a diferença de resultados entre o início e o final de projeto. Para tal, consideraram 9 fases (crescentes no nível de detalhamento): 4 fases diferentes de design (nas quais a definição de equipamentos, padrão de uso, entre outros, eram suposições), 2 de definição dos sistemas (uma considerando padrões da ASHRAE e outra definições específicas), até fases de utilização, detalhamento e de inserção do contexto urbano. Os autores estudaram dois edifícios comerciais, localizados em situações diferentes, com métodos construtivos distintos e em climas diferentes. Utilizaram os programas de modelagem Autodesk Revit e Trimble SketchUp, e de simulações o EnergyPlus e o OpenStudio. Compararam o que chamaram de *mean bias error* (MBE), um coeficiente que mede o quanto

que o consumo energético previsto corresponde com o resultado real, comparando as 9 fases dos dois projetos. Os maiores erros encontrados foram das bases da ASHRAE, enquanto simulações com definições iniciais tiveram erros em valor percentual próximos a erros (em módulo) de estágios mais finais com maior definição.

Pela ordem cronológica das pesquisas, Bichiou e Krarti (2011) apresentam estas por meio de algoritmos genéticos (GA), busca linear (SS) e otimização por enxame de partículas (PSO), aliados diretamente ao programa de simulação Energyplus. Samuelson et al. (2016), mais recentemente, já apresentam o desenvolvimento de sua pesquisa com softwares recentes integrando a própria modelagem do edifício à simulação. Os autores utilizam da modelagem paramétrica (nesse caso um plug-in de *visual programming*) em um software de modelagem juntamente com um plug-in de simulação. Mas, ao mesmo tempo, autores como Méndez Echenagucia et al. (2015) desenvolvem sua pesquisa de forma parecida a Bichiou e Krarti (2011), buscando a otimização por meio de algoritmos genéticos, e não apresentando interoperabilidade entre programas em seu método. Por dois fatores: conhecimento dos autores na área e não necessitando de conhecimento em um novo software para realizar a tal; ou então, o recém desenvolvimento destes softwares integrados.

Apesar de ser uma publicação mais recente, nota-se que Shiel, Tarantino e Fischer (2018) trabalharam com softwares diferentes dos até então trabalhados, mas não obtiveram um nível de respostas tão massiva quanto Samuelson et al. (2016), que chegaram a mais de 90.000 simulações. Esta diferença demonstra maior flexibilidade e nível de trabalho entre os programas utilizados em cada estudo, mas ao mesmo tempo, questiona-se a segurança dos dados apresentados pelos dois métodos, considerando quantidades tão elevadas de simulação para uma mesma análise.

Não se atendo apenas à quantidade de respostas que se pode obter, mas nota-se também que os softwares que possuem boa interoperabilidade entre simulação e modelagem apresentam mais análises em relação à tomada de decisão em fases iniciais de projeto. Independentemente do resultado analisado, a sua aplicação se mostra mais efetiva e recorrente entre os arquitetos, ao comparar com programas sem boa interoperabilidade entre ambos.

## 2.2 ENSINO DE SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA EM ARQUITETURA

Esta seção do trabalho visa referenciar o ensino de simulações térmicas e energéticas no âmbito de projeto. Pesquisas recentes apresentam métodos de ensino diversos, diferenciando abordagens utilizadas em experiências diversas.

Segundo Alsaadani e Bleil De Souza (2018), grande parte dos arquitetos concorda que o desempenho das edificações deveria ser de grande importância no currículo das universidades. Em contrapartida, o ensino de projeto e de física do ambiente construído são lecionados separadamente, e poucas vezes seguem a mesma linha de raciocínio, ou seja, há pouca aplicação quanto à resolução de problemas térmicos nas definições de projeto e grande foco em cálculos e aulas teóricas nem sempre facilmente aplicáveis às alterações de projeto. Devido a esta fragmentação, ainda se vê poucas análises de desempenho da edificação nas fases iniciais de projeto. Maciel (2006) segue este mesmo raciocínio, afirmando ainda que há grande disparidade entre o conhecimento acadêmico e a prática de projeto, reforçando a falta ou a não integração dos conceitos bioclimáticos nas diretrizes de projeto.

Esta fragmentação está ligada também ao tempo necessário para calcular um aspecto, por vezes, muito específico da edificação. Tempo este que é crucial nas fases iniciais de projeto, que conta com alterações constantes e diversas fundamentações necessárias para outros âmbitos tratados no projeto da edificação, como questões estruturais, busca de soluções das restrições de uso de projeto, de instalações, entre outros. Logo, uma solução neste caso deveria contar com uma ferramenta fácil e rápida de se compreender, e assim, aplicável ao ensino de fenômenos físicos da edificação e de interesse do estudante para aplicação posterior em seus projetos. Bleil de Souza (2013) aponta a falta de ferramentas que apoiem a tomada de decisões de projeto no âmbito do desempenho da edificação. Mesmo com a existência de ferramentas de simulação computacional de desempenho (*Building Performance Simulation* ou BPS softwares), as informações advindas destas ferramentas geralmente não são compreendidas ou facilmente aplicáveis à melhoria da edificação. A autora afirma ainda que a busca para o desenvolvimento de novas ferramentas tende a não ser interdisciplinar, ou seja, não contar com a opinião de arquitetos sobre seu funcionamento.

Ainda que se considere a informação de fácil compreensão, Alsaadani e Bleil De Souza (2018) ressaltam que não há uma base concreta de como ensinar BPS a arquitetos. Além disso, destacam que o ensino de BPS e o ensino de projeto são “dois fluxos paralelos” na maioria dos casos, o mesmo que ocorre com o ensino de física do ambiente construído e o de projeto. A fim

de entender os paradigmas que envolvem o ensino de simulação, Alsaadani e Bleil De Souza (2018) apresentam uma revisão crítica neste âmbito e analisam diversas aplicações de BPS publicadas nos últimos anos. As autoras dividiram os estudos em três paradigmas: o consumidor, o agente e o especialista.

O especialista diz respeito ao ensino aprofundado para a formação de simuladores: aulas com fundamentos de física e simulação, exercícios com aumento da complexidade de simulação, diagnóstico de erros e aprendizado do programa por meio de manuais e apostilas. Neste caso, as autoras apresentam que o treinamento de simuladores raramente foca em como estes resultados são repassados para tipos diferentes de projeto e de fluxo de trabalho. Este paradigma de ensino não é voltado para o ensino de arquitetos (ALSAADANI; BLEIL DE SOUZA, 2019).

Os outros dois paradigmas têm os arquitetos como o foco de ensino, visto que confiá-los a ferramentas de simulação pode facilitar o processo de tomada de decisões no projeto. Seguindo deste ponto, o consumidor considera que o projetista não será aquele a configurar e realizar a simulação, mas sim a receber os resultados. Desta forma, o arquiteto deverá trabalhar em união com o simulador, neste caso o especialista, e a partir desta união adquirir mais conhecimento sobre o tema. Assim, Alsaadani e Bleil De Souza (2019) consideram estes dois paradigmas (consumidor e especialista) complementares (ALSAADANI; BLEIL DE SOUZA, 2019).

O terceiro paradigma, agente, é de maior importância para a pesquisa e o mais comumente aplicado, segundo a literatura utilizada por Alsaadani e Bleil De Souza (2018). Este caso considera que o próprio projetista é também quem realiza a simulação do projeto. Acredita-se que, desta forma, os estudantes passam a considerar o desempenho da edificação em estágios mais iniciais de projeto em comparação com o restante e aumenta a criatividade destes ao buscar soluções de projeto relativas ao desempenho. Este método parte do princípio de aprendizado pela experiência e considera que as ferramentas de BPS são também ferramentas de projeto, sendo assim, o software utilizado serve de apoio e guia neste processo.

Reinhart et al. (2012) apresentam a proposta de ensino de simulação, criando um exercício em que se deve utilizar resultados de simulações energéticas para alterações de projeto por meio de um jogo. Neste experimento, os autores adotaram que os projetistas não precisam trabalhar nas simulações, mas sim, aprender a compreender os produtos desta e como alterar o seu projeto de acordo com as respostas obtidas. Esta proposta surge tendo em vista o foco maior na aplicação dos processos térmicos do edifício no projeto, do que simplesmente o aprendizado

de cálculo separadamente do processo. Estes acreditam, ainda, que o conhecimento é absorvido melhor de forma prática, além de incentivar a conversa entre os alunos que dominam a simulação (consultores) e os alunos de arquitetura (projetistas). O exercício consiste em reduzir a intensidade e uso de energia<sup>1</sup> - EUI, a partir de um banco de dados de parâmetros fixos, mas que permitiam diversas configurações de projeto: 11 opções de volumetrias, 8 orientações, grande variedade de materiais da envoltória, controles de iluminação e, também, custos calculados de forma simplificada. Durante a atividade, os alunos tiveram abordagens diferentes em relação à simulação (desde testes de sensibilidade a testes de combinações diferentes de parâmetros que geram resultados não necessariamente esperados), e no que se refere à forma do edifício. Por fim, os projetos tiveram reduções entre 22 a 31% da EUI, com análises dos próprios alunos sobre a orientação e a forma do edifício como componentes primordiais nos resultados energéticos. Os autores consideram também que o exercício, que teve 90 minutos de duração, foi curto, e incentivam novas experiências de implementação, a fim de se concluir métodos mais e menos eficazes, tendo em vista poucas experiências nesse assunto. Ainda assim, viu-se que os projetistas podem adquirir mais conhecimento a partir do método de “aprender fazendo”. Desta forma, os estudantes de arquitetura adquirem maior conhecimento sobre desempenho térmico de edificações conforme realizam as simulações termo-energéticas iniciais simples, e durante o desenvolvimento de seus projetos, exercitam o conhecimento da física do ambiente.

Já Bleil de Souza (2013) realiza um exercício com 75 projetistas, no qual estes deveriam propor uma composição de fachada que minimiza a utilização de sistemas de aquecimento e resfriamento. Destes 75, 6 foram analisados pela autora, visto que tiveram formas bem diferentes de lidar com a problemática proposta no estudo. As alterações foram baseadas nos conhecimentos de física do ambiente construído. As análises se deram pela separação em três estágios: a configuração, sendo o ponto de partida da resolução de um problema; o desenvolvimento, no qual as ações e alterações de projeto ocorrem, contando com o conhecimento prévio; e as mudanças visando a otimização, na qual a tomada de decisões passa por refinamento. Os resultados obtidos pelos projetistas foram, em sua maioria, as temperaturas do ar, uma vez que estes julgaram como significativos e tangíveis. No entanto, demandas como de aquecimento e resfriamento também foram analisadas, mas, em sua maioria, apenas como indicação. Concluiu-se que as temperaturas são mais usuais para os projetistas, uma vez que há a busca para que o edifício tenha bom desempenho e, desta forma, possa

---

<sup>1</sup> Energy Use Intensity - EUI

funcionar passivamente de acordo com o local inserido, em vez de refletir sobre resultados de cargas térmicas de resfriamento e aquecimento. A autora reforça, ainda, que este exercício poderia ser realizado também em novas ferramentas de simulação.

O estudo mais recente de Beausoleil-Morrison (2019) já apresenta uma estrutura concreta do ensino de simulações para estudantes de pós-graduação. No seu exercício, o autor o divide em 4 módulos: o da teoria, o exercício de simulação, a análise de produtos coletivamente (chamado por ele de autópsia), e por último a reflexão e alterações individuais. Estas fases conformam um ciclo de projeto, em que ao chegar à reflexão pessoal, inicia-se novamente o estudo da teoria e novas alterações são definidas a partir dos próximos resultados obtidos nas simulações. A teoria contou com 5 ciclos de análises internas, 6 de diagnósticos externos e 3 de verificação da envoltória. O aprendizado focou, principalmente, em transferência de calor, arquivos climáticos, irradiação, convecção, infiltração, e os resultados obtidos pelas simulações resumiam-se a ganhos de calor solar nas superfícies internas e a irradiação nas superfícies externas. A cada ciclo, o autor conclui que tanto o conhecimento de simulação quanto o de fenômenos são aprimorados, e, da mesma forma, os alunos caracterizaram as fases de exercício de simulação e de análise coletiva como as mais proveitosas, mesmo sendo as mais trabalhosas. Por fim, o autor também conclui que há a necessidade maior de entendimento entre características de projeto e de simulação, para que tanto a investigação de resultados para a tomada de decisões, quanto o entendimento de projeto por parte de simuladores, seja colaborativa e mais acessível e comum entre estes.

Bleil de Souza e Tucker (2015) concordam que o projeto e modelagem de acordo com os efeitos térmicos, combinados com a visualização de informação, podem fornecer uma base para uma estrutura de trabalho. Isso pode ocasionar no processamento de informações pós simulações térmicas que sejam relevantes e expressivas no projeto. É comum ao arquiteto a apresentação de informações térmicas do edifício em exposições visuais, que representam as diretrizes e estratégias tomadas. Assim sendo, os autores consentem que deve partir dos projetistas os tipos de informações que os são úteis na complexidade do projeto, e como essa informação deveria ser recebida, de modo que esta seja efetiva no seu ciclo de tomada de decisões.

O “problema” apontado por Alsaadani e Bleil de Souza (2019) é o possível choque entre agente e especialista, uma vez que a presença de um agente no processo de projeto pode dispensar a presença de um especialista. É natural que se pense isso, uma vez que a presença deste arquiteto capacitado dispensa consultorias na fase de concepção, porém, é importante

ressaltar que estas consultorias iniciais raramente ocorrem. Outro ponto importante é que, mesmo que o projetista adquira conhecimento na área, o trabalho dele não será comparável ao de um simulador especialista, e assim, este continuará sendo requisitado nos estágios mais avançados de projeto em que a precisão de resultados é mais importante. Além disso, a presença de um arquiteto agente na equipe de trabalho pode facilitar a comunicação entre os demais arquitetos e o especialista por possuir conhecimento nas duas áreas.

Ainda assim, arquitetos aprendem quesitos e conceitos da edificação que englobam outras áreas de formação há anos, como estruturas e instalações, e isso não fez com que os projetistas tomassem o posto de importância dos profissionais da área. Na verdade, o conhecimento prévio e básico do arquiteto nestes assuntos estreitou as relações destes e, ainda por cima, melhorou a relação de trabalho entre esses dois profissionais. Da mesma forma poderá ser possível melhor relação entre um simulador e um arquiteto com este conhecimento prévio. Ademais, conforme aprende-se mais sobre um assunto, específico e complexo como simulações, mais o projetista compreende suas restrições para utilizá-la (REINHART et al., 2012).

Sendo assim, nota-se que, atualmente, os projetistas aguardam que o projeto esteja bem desenvolvido para que este seja simulado por um profissional, visto sua falta de conhecimento na área. Desta forma, além de simular a edificação tardiamente e depender do simulador profissional, aguardam a resposta advinda do simulador para solucionar os problemas que, por muitas vezes, não podem ser solucionados. Estes fatores intensificam a relação entre o arquiteto simulador nas fases iniciais e o simulador profissionais em fases mais avançadas, uma vez que, ao simular a edificação inicialmente, a fim de encontrar soluções iniciais e de maior impacto, o seu conhecimento sobre o tema facilita a comunicação com o simulador em fases mais tardias de projeto, e ainda assim alterações mais plausíveis podem ser realizadas para a melhoria na performance do edifício, visto o maior conhecimento e precisão do simulador profissional.

Infelizmente, o ensino de simulação a arquitetos ainda é um assunto recente e em desenvolvimento. Isto acarreta métodos de ensino distintos aplicados em locais diversos, não havendo ainda comprovação de métodos mais ou menos efetivos. Visto isso, a necessidade de mais experimentos na área é imprescindível para o seu desenvolvimento pois, desta forma, será possível compreender como fazê-lo de forma satisfatória, ou seja: o que deve ser ensinado (quais dados de entrada e de saída da simulação), quando e como aplicar (tanto em qual fase de

projeto aplicar quanto qual fase de formação do projetista), para só então mensurar o seu real impacto de sua utilização.

### 2.3 INTEGRAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Esta seção traz breve análise da integração entre modelagem e simulações termo-energéticas. As diferentes ferramentas existentes de simulação possuem os mesmos métodos e não variam tanto em relação à sua tecnologia. Não apenas isso, mas os resultados obtidos são pouco relacionados às estratégias e alterações de projeto e dificultam a solução de problemas. Isto porque os desenvolvedores não possuem tanto contato com este processo ou a informação sobre é inadequada ou inexistente, e, portanto, as respostas para solucionar o problema são interpretações do que se assume como importante. Isso resulta na falta de familiaridade dos arquitetos com estes métodos e, por consequência, na dificuldade em utilizá-la. Mesmo com essa perspectiva, a busca pela melhoria das ferramentas é contínua, enaltecendo a necessidade de melhor integração entre simulações e o projeto. Sendo assim, é imprescindível se ter um método efetivo de análise de projeto, para que se tenham informações importantes e concretas repassadas aos desenvolvedores e, desta forma, possibilitar o surgimento ou a melhoria de ferramentas existentes.

Østergard, Jensen e Maagaard (2016) apresentam uma revisão sobre as simulações na tomada de decisões de projeto, tanto em relação aos métodos utilizados em diversos estudos, quanto a alguns programas atuais. Dentre esses, estatísticos, de otimização, holísticos, entre outros, destacam-se as simulações proativas. Diferenciando-se da lógica de simulações de informações pré-projeto<sup>2</sup>, na qual são realizadas anteriormente ao desenvolvimento inicial, a fim de gerar avaliações rápidas como em meta-modelos, o conceito proativo considera a geração alternativas de projeto, que por sua vez guiam as escolhas do projetista em vez de simplesmente avaliar parâmetros específicos. Isto porque estes estudos focam em gerar alternativas de projeto de forma mais rápida e integrando-se a programas de simulação. Ainda que realizada com menor número de informações detalhadas, a flexibilidade de criação e de testes de projeto deve ser de maior importância nestas fases em comparação com detalhamento e simulações. Assim, os projetistas podem usufruir deste conhecimento para observar e testar mais opções, mas sem descartar o embasamento no âmbito do desempenho de novas

---

<sup>2</sup> Traduzido de *pre-design informative*

alternativas de projeto. Todavia, ainda existem desafios para efetivar a implementação no processo de projeto como um todo que não só estas incertezas. O tempo demandado e a necessidade de alterações rápidas também são fatores cruciais para a integração ao seu desenvolvimento.

Novamente se dá destaque à otimização devido ao seu grande crescimento em pesquisas nos últimos anos. Isso ocorre devido ao recente avanço da computação, e assim, maior facilidade de se realizar estudos de algoritmos genéticos e de enxame de partículas. Não muito distante têm-se os métodos estatísticos, que consideram análises de incerteza, de sensibilidade, criação de meta-modelos e análise multicritério, além de embasarem os outros métodos já mencionados. Estes são mais concretos e verossímeis, mas também mais técnicos e trabalhosos, e por consequência, mais dificilmente aplicados ao desenvolvimento inicial de projetos (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2016).

Ao abordar otimização, Huang e Niu (2016) apresentam uma revisão voltada para a envoltória de edifícios. Destacam que as maiores buscas, dentre todos os aspectos da construção, dizem respeito à melhoria dos sistemas de aquecimento e refrigeração, seguido da envoltória. Estes dois aspectos têm notável diferença de trabalho, no qual o número de parâmetros avaliados para a otimização da envoltória é maior e mais denso em comparação aos sistemas. Após o desenvolvimento de métodos algorítmicos para isto, sua rapidez e precisão aumentaram consideravelmente, dando destaque novamente aos algoritmos genéticos pela sua popularidade de aplicação, além de considerado o melhor método de resolução de problemas. A maioria destes estudos têm como objetivo otimizar o desempenho do edifício, comparado a poucos exemplos existentes relacionados a conforto lumínico e térmico. Em contrapartida, as ferramentas disponíveis para este método, citadas pelos autores, requerem grande conhecimento de programação para que se atinja os objetivos traçados, ou seja, novamente não tão comum para projetistas.

Já Shi et al. (2016) analisam a otimização especificamente pela ótica dos projetistas. Os autores caracterizam as possibilidades segundo a integração entre a simulação com plataformas de otimização que são: genéricas, específicas, ou técnicas customizadas. Destas, as específicas têm melhor usabilidade, considerando que o seu diferencial engloba pouca necessidade de conhecimento de programação e boa integração com os ambientes, comparadas com as outras opções. Deste método, os autores citam o editor gráfico de algoritmo Grasshopper, que funciona integrado à ferramenta de modelagem Rhinoceros, e podem estar conectados ao motor de simulação EnergyPlus. Reafirmam, também, que as maiores

preocupações dos arquitetos englobam o pós processamento dos dados, a usabilidade da interface e a possibilidade de integração com os programas de modelagem mais usuais, fatores estes pouco notáveis na literatura. Estes programas não são desenvolvidos com a preocupação da familiaridade e a implementação destes por parte dos projetistas. Novamente enfatiza-se a necessidade de interoperabilidade imperceptível entre tecnologias para que variáveis de projeto mais complexas, como a forma, passem a fazer parte da otimização. Por fim, reforçam que a capacidade ou a incapacidade de processar os dados de otimização da edificação podem ser limitadores para o uso deste método. Sabe-se que o processo de projeto conta com diversos fatores e resoluções de diversos problemas em um mesmo momento, e assim, mais de um parâmetro deve ser analisado simultaneamente.

Sendo assim, Østergard, Jensen e Maagaard (2016) classificam os programas disponíveis atualmente segundo alguns fatores: o estágio de projeto que pode ser utilizado, o grau de interoperabilidade entre programas de modelagem e de simulação energética, a complexidade de desenvolvimento, os resultados gerados, entre outros. Ao concluir, reafirmam, assim como Shi et al. (2016), a necessidade de interoperabilidade imperceptível entre programas, além da indispensabilidade da resposta rápida e da modelagem interativa. Para tanto, três programas diferentes se destacaram: Riuska, OpenStudio e Honeybee. Destes, somente o Honeybee foi considerado englobando também a fase conceitual de projeto, e consequentemente, tanto arquitetos quanto engenheiros como possíveis usuários. O Honeybee é um pacote de ferramentas para o *plug-in* Grasshopper, que por sua vez integra-se com as ferramentas de modelagem 3D do Rhinoceros, também citados anteriormente por Shi et al. (2016). 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 de modo simples.

Partindo destes princípios apresentados pelos autores, existem pontos importantes que devem ser analisados ao se escolher o software de simulação no processo de projeto. Estes fatores englobam: facilidade de uso e de acesso ao suporte, tempo e custo de utilização, interoperabilidade com programas de modelagem, dados de entrada necessários (se possui dados padrões para parâmetros ainda não definidos), dados de saída (facilidade de compreensão dos resultados para a tomada de decisões) e precisão da ferramenta. Concluindo, para a escolha da ferramenta, é importante se saber para quais fases do projeto esta pode ser aplicada, quão modificável ela é, e sua capacidade de visualização de resultados. É reconhecido que a

possibilidade de visualização dos resultados pode estimular a criatividade dos projetistas, por se tratarem de “pensadores visuais” (AIA, 2019).

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas sessões anteriores apresentou-se uma revisão sobre estudos que englobam o processo projetual de arquitetura e suas influências de tecnologias digitais e de arquitetura bioclimática, bem como o ensino de desempenho de edificações e de simulações termo-energéticas e a atual integração sobre essas tecnologias. É importante, então, analisar a especificidade destes estudos, mas que também podem influenciar para melhorias em outros âmbitos. Como exemplo principal, a concordância de autores ao compreender o processo projetual como uma busca de problemas e suas soluções por meio de análise, síntese e avaliação. Ao estudar sobre simulações computacionais de desempenho, nota-se uma definição parecida no seu desenvolvimento, mas tratada de uma forma mais sutil e objetiva. Não obstante, a avaliação de resultados obtidos nas duas áreas são congruentes, ao notar que os conceitos de coerência e viabilidade das soluções encontradas são cruciais para sua determinação. Em suma, o desenvolvimento de projeto e de simulação termo-energética seguem princípios similares na sua evolução e aperfeiçoamento. Em contrapartida, o fator determinante no distanciamento de ambas é a avaliação de soluções pela valoração. Este conceito traz toda a subjetividade do processo projetual à tona, contrariamente à objetividade de simulações e seus critérios. O termo aborda a satisfação (estética ou não) dos projetistas, ou dos clientes, com a solução encontrada. Em resumo, esta é a dificuldade chave de ligação entre estas duas áreas.

Já em relação aos processos digitais, reforça-se sua potencialidade para a melhoria no desenvolvimento rápido de novas soluções de projeto, e a facilidade em unir criatividade a análises de problemas lógicos. Neste, é mais do que válido considerar a realização de simulações de desempenho para comprovar diretrizes de projeto, anteriormente sem provas de efetividade. Em contrapartida, nota-se também que a tecnologia digital permitiu uma infinidade de programas complexos, tanto de simulações como de análise de resultados, podendo voltar-se diretamente para a otimização de parâmetros da edificação. Porém, se tornam pouco aplicáveis às soluções de projeto justamente por sua complexidade e dificuldade de tradução de resultados, além de estar suscetível a erros quando o método de otimização não é dominado pelo projetista. Os programas que acabam sendo mais utilizados pelos arquitetos são aqueles que permitem diversos testes conceituais e que aguçam a sua curiosidade, motivando questionamentos sobre novas ideias. Ademais, é indispensável bom nível de interoperabilidade

com programas de alteração e desenvolvimento de projeto. Não menos importante que estes, conclui-se grande preocupação com o pós processamento dos dados obtidos do programa, bem como a familiaridade com a interface apresentada. Ou seja, a forte conceituação do que seriam programas de análises de desempenho ideais englobam integração entre os programas, visualização e bom processamento de resultados e boa acessibilidade (analisada aqui englobando desde a aquisição deste, até sua interface amigável).

Por fim, é importante retratar o distanciamento do aprendizado de desempenho térmico e projeto. Há a concordância de que a utilização destas ferramentas computacionais é uma potencialidade para o reforço no aprendizado das variáveis da edificação. Isso porque este método garante a aplicação de conceitos teóricos em situações práticas (e simples) de projeto. Excluem-se aqui as inúmeras simulações geradas para a otimização, a fim de se obter um resultado próximo do ideal sem maiores análises, e se reforçam as simulações proativas e básicas a partir do termo “aprender fazendo”. Assim, acredita-se que o projetista adquire mais autonomia e pode realizar maior número de simulações durante todo o seu desenvolvimento de projeto, compreendendo as influências de parâmetros diversos conforme o projeto se consolida.

### 3 MÉTODO

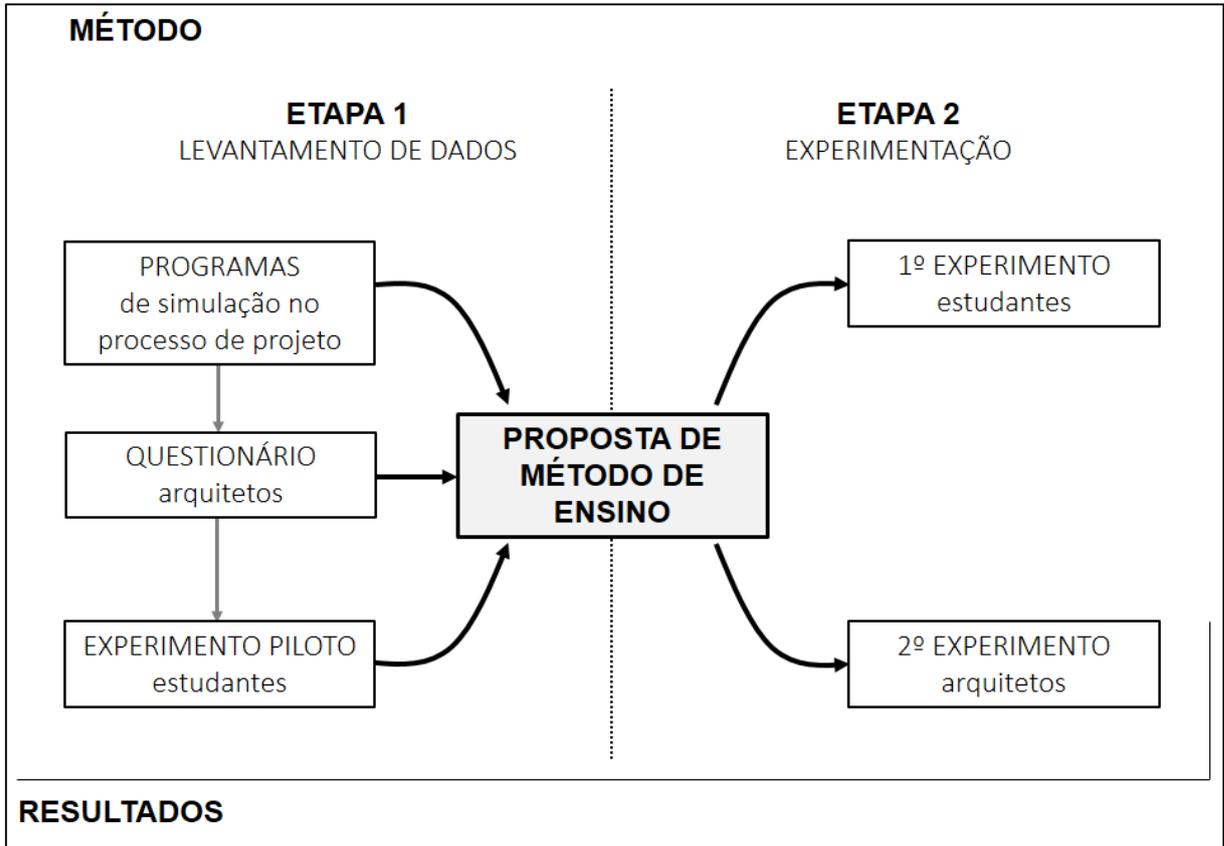
Desenvolveu-se o método desta pesquisa a partir das considerações finais apontadas na revisão bibliográfica. Para tanto, classifica-se a pesquisa de acordo com seus critérios metodológicos, e seguidamente dividiu-se em etapas de elaboração.

O estudo foi identificado segundo seus critérios estruturais. O suporte de registro foi majoritariamente documental e bibliográfico com abordagem indutiva, ao se tratar de uma pesquisa experimental. O método de procedimento seguiu de forma estatística e comparativa, possuindo uma espacialidade de campo no que se refere às últimas etapas da pesquisa, além de ter a abrangência e profundidade de estudo de caso, novamente relacionado com a pesquisa de caráter experimental. A relação da pesquisadora com o sujeitos é não participante, e por fim, os dados foram tratados tanto de forma quantitativa, para respostas advindas de questionários, quanto qualitativa, para resultados dos estudos de caso com observação dos sujeitos e análise individual dos seus desenvolvimentos.

A fim de traçar o objetivo geral e desenvolver os objetivos específicos, as atividades desta pesquisa foram divididas em duas etapas, segundo o fluxograma da Figura 1. Na Etapa 1 buscou-se suprir as lacunas encontradas na revisão bibliográfica, elaborando parte dos objetivos específicos. Para tal, realizou-se inicialmente um levantamento sobre programas de simulações termo-energéticas com melhor interoperabilidade com programas de desenvolvimento de projeto. Posteriormente, aplicou-se um questionário a arquitetos brasileiros de diferentes faixas etárias, regiões, tempo e experiência de trabalho, com a finalidade de obter informações sobre o seu processo projetual, medidas de desempenho térmico tomadas, o interesse pelo tema e o conhecimento de simulações termo-energéticas. Ao final desta etapa, efetuou-se um experimento piloto de ensino de simulação a estudantes de arquitetura a fim de compreender possíveis problemáticas em um esboço do método de ensino de variáveis por meio de simulação.

A partir desta primeira etapa organizou-se uma proposta mais consolidada de ensino a estudantes e profissionais de arquitetura. Então, na Etapa 2 a proposta é aplicada e avaliada a partir de um experimento inicial a alunos da graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e, posteriormente, a arquitetos já formados. Por fim, as duas etapas comportam os resultados dessa pesquisa, ainda que a Etapa 2 dependa da Etapa 1: seja o levantamento de dados por diferentes práticas da primeira etapa, sejam as experimentações do método aplicado, possibilitando as conclusões e discussões do tema.

Figura 1 - Fluxograma do método proposto



Fonte: Autora (2020)

### 3.1 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS

É necessário analisar os programas existentes que permitem a ligação entre simulação e processo de projeto a fim de implementar a simulação computacional no processo de projeto, compreender este processo e averiguar a sua relação com análises de desempenho térmico no âmbito brasileiro, e por fim esboçar um método de ensino e testá-lo para que se prove possíveis erros e execute mudanças a partir de um experimento piloto.

Para a análise dos programas de simulação termo-energética aplicadas ao processo de projeto, selecionaram-se alguns critérios. Mesmo com a apresentação de revisões de programas de simulação computacional, viu-se a necessidade de análise de outros plug-ins e programas que surgiram nos últimos anos e que não foram considerados nos trabalhos anteriores, assim como os programas já considerados nas revisões, mas que passaram por melhorias desde então.

Posteriormente, realizou-se um questionário aplicado a arquitetos e urbanistas formados e inseridos no mercado de trabalho. Neste, levantaram-se dados sobre o processo de

projeto e a definição de parâmetros da edificação e bioclimáticos considerados e a inserção de simulação termo-energética no seu desenvolvimento. Aplicou-se o questionário a diversos escritórios de arquitetura e arquitetos autônomos (para preenchimento pessoal de cada arquiteto) de todo o Brasil.

Para finalizar esta etapa, organizou-se um esboço de método de ensino a partir das considerações finais da revisão bibliográfica, juntamente com resultados obtidos da análise de programas. A partir deste esboço, realizou-se uma aplicação experimental a fim de corrigir erros e alterar definições equivocadas. Por último, a partir dos dados coletados durante toda esta etapa, define-se o método de ensino abordado nesta pesquisa.

### **3.1.1 Análise de programas de simulação aplicados ao processo de projeto**

A fim de definir os melhores programas para a aplicação de simulação nas fases iniciais de projeto, realiza-se uma breve análise dos programas atuais e existentes segundo três critérios, traçados de acordo com as considerações finais da revisão bibliográfica:

- i. Ambiente de simulação integrado a um ambiente de modelagem;
- ii. Processamento, visualização e aplicação de resultados de simulação de forma facilitada a um ambiente de modelagem e ao projeto;
- iii. Ser um software de modelagem/plug-in de simulação gratuito ou de fácil aquisição, facilitando o desenvolvimento do experimento.

Como discutido anteriormente, a boa interoperabilidade entre estes programas é importante para maior efetividade de utilização. Assim, os programas aqui revisados ou já foram analisados por Østergard, Jensen e Maagaard (2016) e considerados de melhor resultado, ou são outros que surgiram desde então e passaram por certa atualização, levantados nesta pesquisa. Analisaram-se as ferramentas:

- a) Sefaira (Revit/ SketchUp): é descrita como uma ferramenta de análises de desempenho de edifícios para estágios iniciais de projeto. Possui conexão com os programas de modelagem SketchUp e Revit, e realiza análises relacionadas à energia, iluminação natural, conforto térmico e dimensionamento de sistemas HVAC.
- b) Ladybug Tools: é uma coleção de ferramentas, na qual o plug-in Honeybee faz parte. Opera em programas de VPL<sup>3</sup> como Grasshopper (conectado ao programa de modelagem Rhinoceros 3D). Também realiza avaliações de energia, iluminação

---

<sup>3</sup> *Visual Programming Language*

natural, conforto térmico e dimensionamento de sistemas HVAC, além de analisar dados climáticos detalhadamente.

- c) CoveTool: é um aplicativo web que gera relatórios de energia, custos, emissões de carbono, iluminação natural e uso racional de água. Integra-se também com o Rhinoceros por meio do plug-in Grasshopper.
- d) Archsim: assim como as anteriores, é uma ferramenta de análises energéticas, térmicas e de iluminação natural. Conecta-se ao Grasshopper/ Rhinoceros 3D.

### 3.1.2 Aplicação de questionário

O objetivo principal do questionário é correlacionar as definições de projeto com os dados de entrada de simulações termo-energéticas para facilitar a sua integração. Sendo assim, este levantamento se baseou na NBR13532 (Norma de Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura) ao considerar as fases de desenvolvimento do projeto, aliado com a definição dos parâmetros da edificação.

Além disso, outros objetivos também foram traçados a partir da elaboração do questionário. O primeiro considerou organizar o fluxo de respostas de forma gradual segundo cada tema, para que os entrevistados não soubessem que seriam indagados sobre diretrizes bioclimáticas e de desempenho térmico da edificação após perguntas apenas sobre o seu processo de projeto. Assim, reduziu-se a chance de respostas por *Social Desirability Bias* (Viés de Desejabilidade Social), que ocorre quando os entrevistados respondem ao que acreditam que é o aceitável ao entrevistador, uma estratégia recorrente em estudos que envolvem seres humanos. Outro propósito visou relacionar programas e métodos de projeto, para que futuramente fosse vinculado às opções de programas de simulação interoperáveis com programas de projeto. Por fim, uma meta também importante foi perceber o grau de conhecimento dos entrevistados sobre as variáveis de análise de desempenho, deixando a opção de resposta sobre não saber analisar determinado dado, ou não saber sobre o tema.

Aplicou-se o questionário<sup>4</sup>, apresentado no Apêndice A, a partir de um formulário online, distribuído via e-mail. Esta estratégia evita o constrangimento por parte do entrevistado, caso este desejasse desistir da entrevista durante as respostas, e também possibilita a ampliação do universo de respostas, em comparação com o questionário impresso. A partir da segunda

---

<sup>4</sup> Questionário aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa - CEP

página iniciam-se as perguntas sobre o processo de projeto, as diretrizes bioclimáticas abordadas e o uso de simulação.

### *3.1.2.1 Processo de projeto*

Nessa seção levantou-se a fase do projeto em que determinados parâmetros da edificação são definidos e quais os métodos de projeto ou programas computacionais utilizados, também de acordo com a fase do processo. As fases de projeto aqui consideradas são: concepção, estudo preliminar e anteprojeto. A fase de detalhamento não foi considerada neste questionário por não ser uma fase de alterações significativas na forma e na composição do projeto, já apresentada em outros estudos. Buscou-se compreender os parâmetros e qual fase de projeto são mais influentes no projeto de modo geral.

Os parâmetros aqui levantados consistiram tanto em pontos importantes de definição de projeto, quanto dados de entrada necessários para a realização de simulações energéticas. Desta forma, é possível associar fases de projeto em que a simulação já possa ser realizada. Os parâmetros levantados foram: volumetria, análise do entorno, materiais, cores, orientação, número de ambientes, dimensões dos ambientes, pé direito, elemento de sombreamento, localização das aberturas, tamanho das aberturas, iluminação artificial, acessos e legislação. Todos estes parâmetros estão correlacionados também com definições de simulação.

Juntamente com o entendimento do processo de projeto e suas definições, buscou-se compreender quais os métodos mais utilizados para este desenvolvimento. Aqui foram levantados desde ferramentas analógicas, como anotações escritas, croquis e maquetes físicas, quanto ferramentas digitais, como prototipagem, e programas como AutoCAD, SketchUp, Revit, ArchiCAD, Rhinoceros, Rhinoceros + Grasshopper. Assim, buscou-se compreender a inserção destas tecnologias no dia-a-dia de projetistas, além de relacionar estas mídias com a possibilidade de aplicação de simulação posteriormente.

### *3.1.2.2 Diretrizes bioclimáticas*

Na segunda parte do questionário levantaram-se as diretrizes bioclimáticas tomadas pelos projetistas, quais as fases em que estes as aplicam e se estes já utilizam algum programa computacional ou método para testar a efetividade destas diretrizes. As fases de projeto denominadas são as mesmas da seção anterior, incluindo aqui apenas a opção de não considerar

algum parâmetro, tendo em vista a não obrigatoriedade em considerá-los. No caso dos métodos de efetivação das diretrizes, também foram considerados os mesmos da seção anterior.

Os parâmetros bioclimáticos levantados foram selecionados para que se tenha comparação entre os mais comuns, como: insolação / sombreamento; iluminação natural; ventilação natural. Os que fazem parte do projeto como um todo, mas que influenciam na eficiência final da edificação: iluminação artificial, projeto de ar condicionado, cores, materiais (isolamento, alto desempenho, entre outros). E por último, parâmetros mais técnicos (obrigatórios e não obrigatórios), mas que mostrem a situação atual de sua implementação no projeto, bem como o conhecimento dos entrevistados sobre o tema: análise da norma de desempenho; etiqueta de eficiência; simulação de consumo.

Ao fim da seção, o projetista foi questionado se gostaria de implementar mais parâmetros bioclimáticos no seu projeto, e caso a resposta fosse positiva (por motivos diversos, desde atualização no tema até o desconhecimento deste), o entrevistado parte para a seção seguinte.

### *3.1.2.3 Simulação termo-energética no projeto*

Nesta seção levantou-se como o arquiteto gostaria que se inserisse a simulação energética nas fases de projeto listadas. Nesta fase abordaram-se quais os resultados de simulação que o projetista gostaria de obter, em qual fase de projeto, como gostaria de visualizá-los e como se daria a tomada de decisões a partir dos resultados. Assim, como na seção anterior, consideraram-se as mesmas fases de projeto, com a possibilidade adicional do projetista indicar que não sabe analisar determinado dado. Pôde-se, portanto, compreender por que determinados parâmetros não são implementados no projeto, visto seu conhecimento prévio (ou a falta de).

Buscou-se compreender variáveis de análise mais comuns e compreensíveis pelos projetistas. Além disso, novamente o seu entendimento sobre outras questões que, por vezes, podem ser erroneamente consideradas como claras para estes profissionais. Ademais, questionou-se se, mesmo com a possibilidade de escolha destes fatores, o profissional necessitaria de alguma resposta do programa, ou mesmo contatar algum profissional para tomar decisões a partir destes resultados.

- i. Resultados levantados: temperatura interna do ambiente, trocas de calor das superfícies (paredes e janelas), concordância com a norma de desempenho

NBR15575, graus-hora de desconforto, carga térmica de aquecimento e resfriamento, consumo de ar condicionado, consumo total e classificação da etiqueta de eficiência energética;

- ii. Visualização dos resultados: por cores na própria volumetria, por uma escala gráfica de eficiência/ consumo, por meio de gráficos (anuais, mensais, sazonais, diários) e numericamente por meio de tabelas.

Ao fim do questionário completo, o entrevistado pode comentar sobre o tema em geral.

#### *3.1.2.4 Análise de resultados*

O questionário ficou disponível para preenchimento por 10 semanas. Os resultados foram analisados quantitativamente segundo as respostas obtidas, e qualitativamente segundo a resposta aberta ao final do questionário. Estes dados foram analisados estatisticamente de forma descritiva, representando os dados obtidos pela aplicação de questionário no que se refere aos entrevistados. Não houve correlação interna entre as respostas obtidas dentre as seções do questionário, as correlações realizadas foram gerais da amostra. Os dados avaliados após a aplicação dos questionários foram:

- i. Os parâmetros bioclimáticos já abordados no desenvolvimento do projeto e como os projetistas testam a efetividade da diretriz tomada;
- ii. O conhecimento ou falta de sobre termos relacionados ao desempenho e à eficiência do edifício;
- iii. O interesse em melhorar o desempenho da edificação durante seu processo;
- iv. A capacidade de tomar decisões de projeto ao escolher os resultados e o modo de análise da edificação;
- v. Os parâmetros de projeto definidos em cada fase do processo e sua relação com os dados de entrada necessários para simulações termo-energéticas.

#### **3.1.3 Experimento piloto**

O estudo piloto consistiu na inserção do programa de modelagem e de simulação resultante da análise realizada no item “3.2.1.1. *Análise de programas de simulação aplicados ao processo de projeto*” no ensino de alunos da graduação de Arquitetura e Urbanismo. O

desenvolvimento do experimento segue o mesmo princípio da “3.2.1.2. *Aplicação de questionário*”: considera alterações de projeto baseadas em dados de entrada de simulação termo-energética: dimensionamento de ambientes, pé direito, janelas, orientações de fachada, composições de elementos opacos e translúcidos, entre outros.

Este experimento foi realizado na disciplina de Projetos Arquitetônicos para o Futuro, optativa ao curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, lecionada pelo professor Carlos Eduardo Verzola Vaz, no primeiro semestre de 2019. A disciplina contou com 8 alunos, ideal tanto para ter *feedbacks* diários e rápidos dos alunos quanto ao ensino e à simulação, quanto para acompanhar de forma qualitativa o seu desenvolvimento. Este experimento durou quatro aulas de três créditos. Apenas um dos alunos não teve nenhum contato com disciplinas relacionadas à conforto térmico, desempenho e eficiência energética em edificações, enquanto o restante dos alunos se encontrava em fases avançadas da graduação.

As duas primeiras aulas tiveram enfoque em apresentar conceitos relacionados à arquitetura bioclimática. Viu-se a necessidade de relembrar como realizar análises por carta solar, rosa dos ventos, variáveis climáticas de cada local, bem como propriedades de materiais. Por fim, realizou-se um pequeno exercício de implementação de diretrizes bioclimáticas em um esboço de projeto, proposto pelos alunos, considerando três cidades diferentes (localizadas em três zonas bioclimáticas distintas).

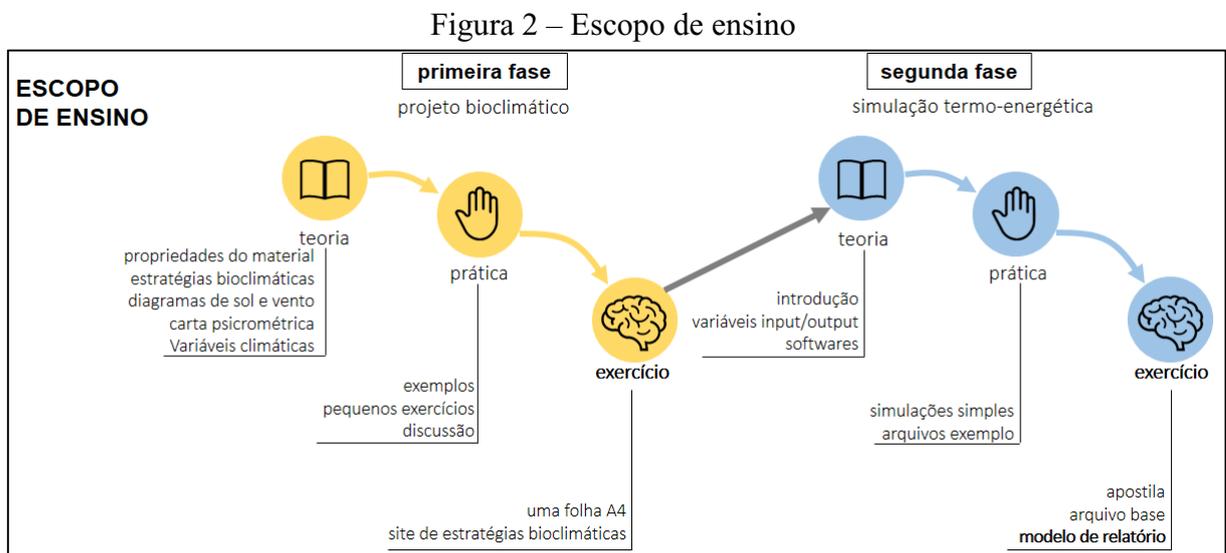
As duas últimas aulas focaram no ensino de simulação termo-energética. Foram introduzidos os conceitos, os programas existentes, as incertezas e o seu funcionamento, para que após as apresentações teóricas, fossem realizadas as aplicações práticas. Esta etapa final contou com alguns exercícios pontuais de aprendizado de simulação, e um exercício final de teste a partir de um arquivo já configurado com uma volumetria padrão, bem como as configurações padrão de simulação, para que os estudantes realizassem alterações projetuais. Nesta, a volumetria consistiu em uma residência unifamiliar térrea, com dois dormitórios, um banheiro, sala e cozinha conjugadas, com todas as suas definições alteráveis, bem como um banco de materiais pronto para testes. Ao final do exercício, solicitou-se a entrega de um relatório sobre as alterações realizadas, além de um breve questionário final sobre a experiência, a fim de notar problemáticas envolvidas no experimento teste.

### 3.2 PROPOSTA DE MÉTODO DE ENSINO

Após os dados coletados e analisados pela Etapa 1, elaborou-se o escopo do ensino de simulação termo-energética no processo de projeto. Foi necessário introduzir (ou reintroduzir) conceitos de arquitetura bioclimática e desempenho térmico da edificação; introduzir conceitos de simulações termo-energéticas; realizar a experimentação do programa; e por fim, ensinar a simulação em si de forma prática. Para dar suporte ao ensino, houve a necessidade de criação de materiais de apoio, tanto para o ensino durante as aulas, quanto para estimular a continuação da prática.

#### 3.2.1 Escopo do ensino das aulas

Pelos resultados obtidos na primeira etapa, notou-se a necessidade de retomar alguns conceitos, atentando para a arquitetura bioclimática, propriedades de materiais e variáveis climáticas em projeto. Como resultado, dividiu-se o ensino em duas fases principais: a primeira, de projeto bioclimático e a segunda, de simulação termo-energética, como representado na Figura 2.



Fonte: Autora (2020)

As duas fases contaram com aulas expositivas, aulas práticas e um exercício final. Na primeira fase, as aulas expositivas partiram da necessidade de revisão de conceitos de arquitetura bioclimática, visto nos resultados do questionário aplicado. Ao estabelecer a aula prática para esta fase, atentou-se às considerações finais da revisão bibliográfica, uma vez que

há a necessidade de aplicabilidade dos termos de forma prática no projeto. O exercício final, portanto, conta com o desenvolvimento de diretrizes bioclimáticas para determinado local, desconsiderando a simulação.

No desenvolvimento da segunda fase, assim como na primeira, consideraram-se os resultados obtidos por questionário e do experimento piloto. Neste caso, a teoria deve ser introduzida e apresentada, em muitos casos, pela primeira vez. As aulas práticas contaram com o ensino do programa de simulação a partir de pequenos exercícios desenvolvidos em sala. Por fim, o exercício final de simulação contou com o suporte dos materiais de apoio desenvolvidos e com o objetivo principal a alteração de parâmetros da edificação base em busca da melhoria do desempenho do ambiente interno.

#### *3.2.1.1 Aulas expositivas*

Na primeira fase revisaram-se conceitos básicos de conforto e desempenho térmico de edificações. Apresentaram-se dados atuais de consumo energético, prospecções do futuro quanto às alterações climáticas associadas ao aumento do consumo energético, e revisão de conceitos de projeto bioclimático. Na segunda fase, introduziu-se a simulação computacional aplicada ao processo de projeto e sua importância. Nesta mostrou-se aos alunos a relação entre os dados de entrada e de saída em uma simulação e como estes podem afetar uma solução de projeto e os diferentes aplicativos de simulação, integrados ou não aos diferentes ambientes de modelagem.

#### *3.2.1.2 Aulas práticas*

As aulas práticas dispuseram de pequenos exercícios para consolidação do aprendizado das aulas expositivas. No caso da primeira fase, se deram de acordo com o desenvolvimento da aula expositiva, como pontuar erros projetuais de diferentes climas, estudos de diretrizes bioclimáticas diferentes para cada situação, exemplos e discussões conjuntas. Já na segunda, contou com o aprendizado do programa de simulação, relacionando conceitos apresentados na expositiva com a ordenação do passo a passo de simulação durante a aula em conjunto com os alunos. Atentou-se a possíveis erros de configuração até a análise dos resultados, bem como alterações de projeto em busca de melhoria de resultados.

### 3.2.1.3 Exercício

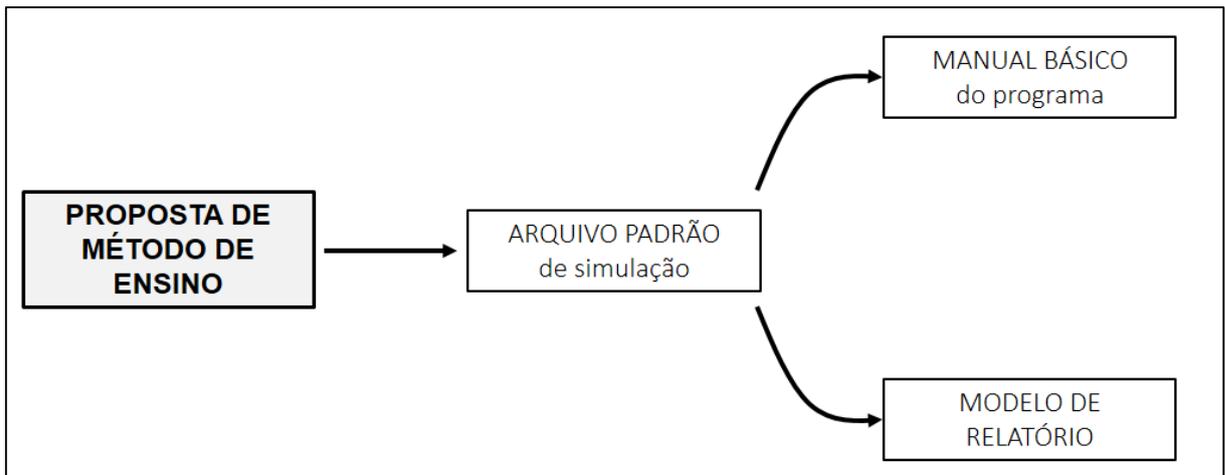
O exercício da primeira fase consistiu na pesquisa de diretrizes bioclimáticas aplicáveis ao clima escolhido e o grau de importância de cada uma. Solicitou-se, também, a partir destas diretrizes traçadas, correlaciona-las a um terreno de entorno existente, buscando outras soluções e chegando a conclusões segundo a sua viabilidade para aquela situação, por exemplo, disponibilidade de sol e vento considerando o entorno imediato.

Já na segunda fase, a partir dessas primeiras análises da primeira fase, inicia-se o desenvolvimento do exercício com o arquivo padrão, que consiste na busca pela melhoria do projeto proposto, já tendo base de como o clima e o entorno existente estão configurados. Inicialmente, todos realizaram uma simulação padrão, como ponto de partida para análise e alterações posteriores. Assim, nas fases seguintes, foi importante que os alunos reportassem o motivo e a ordem das alterações realizadas, e para isto, foi disponibilizado um modelo de relatório (Apêndice B). Parte das alterações de projeto foram desenvolvidas durante a aula para que os alunos tivessem apoio em caso de dúvidas, e para se ter nota das dificuldades dos alunos durante a utilização do programa. Estas dificuldades também foram solicitadas posteriormente no relatório.

### 3.2.2 Material de apoio

Além disto, como suporte ao ensino, criou-se um arquivo padrão de simulação que contém uma volumetria inicial, junto com um pequeno banco de dados com as alterações possíveis, necessários para realizar a simulação. A partir deste, desenvolveu-se um manual básico para a realização e alteração da simulação e um modelo de relatório para reportar os resultados obtidos. O resumo do material de apoio desenvolvido é representado na Figura 3.

Figura 3 - Desenvolvimento do material de apoio.



Fonte: Autora (2020)

### 3.2.2.1 Arquivo padrão

Inicialmente criou-se o arquivo de simulação termo-energética básico. Este foi previamente configurado para realizar as simulações no programa proposto e, conforme o aluno adquiriu conhecimento sobre o tema, este pôde alterá-lo ou refazê-lo conforme seu processo projetual. Este também já possui uma volumetria inicial, diferente da apresentada no experimento piloto: na segunda e na terceira aplicação a volumetria consiste em um módulo de planta livre, de 7 m x 7 m de área e 3 m de pé direito. Esta diferenciação se deu por análises realizadas sobre o primeiro experimento, notando que a presença de diversos ambientes pôde dificultar análises dos fenômenos na edificação

O arquivo contou, também, com um banco de alterações possíveis: entorno (do próprio terreno, inexistente no experimento piloto porém importante para as análises), orientação solar, dimensões do ambiente, materiais da envoltória (opacos e translúcidos), área de abertura, elementos de sombreamento, uso do ambiente (que por consequência, altera os padrões de cargas internas de pessoas, equipamentos e iluminação, nesse caso considerados como *default* de simulação). Já em relação à escolha de resultados de simulação para se realizar as melhorias de projeto, as possibilidades foram: temperaturas superficiais, temperatura do ambiente (do ar, operativa e radiante média), carga térmica para aquecimento e resfriamento, e resultados de conforto térmico, tanto pelo método adaptativo e PMV. Todos estes dados podem ser analisados segundo períodos: anuais, mensais, diários e horários, ou por valores médios, máximos e mínimos. O método de simular e de realizar alterações de projeto, bem como a interpretação e

visualização dos resultados foi realizada a critério do aluno, conforme o retorno obtido pelo programa.

#### *3.2.2.2 Manual básico*

O próprio desenvolvimento do arquivo padrão possibilita a criação do material de apoio para o ensino e para a posterior utilização. Com um manual os alunos podem solucionar dúvidas e pode incentivar a continuação do uso de simulação em projetos futuros, uma vez que este conhecimento adquirido será passado rapidamente e, conseqüentemente, facilmente esquecido se não praticado. O material de apoio desenvolvido encontra-se no Apêndice C. O Manual apresenta uma organização seguindo suas etapas de desenvolvimento (tanto do exercício como de projeto futuramente, como defendido no método de ensino proposto).

A primeira parte auxilia na criação e na familiarização com o método de modelagem do programa apresentado. Após isso, são mostrados os componentes de análise de arquivos climáticos, seguido de configurações do modelo para uma zona térmica com suas especificações de simulação, partindo então para as configurações de simulação. Nestas, apresentaram-se tanto opções de geração de simulações rápidas e com configurações padronizadas, quanto para testes detalhados e mais complexos. Por último, apontam-se os componentes interessantes para as análises de resultados das simulações, sejam pelos valores das superfícies, sejam pelas análises da zona como um todo.

#### *3.2.2.3 Modelo de relatório*

Visando analisar os exercícios tanto de forma quantitativa quanto qualitativa ao final dos experimentos, criou-se um modelo de relatório final. O relatório possui três partes principais: a análise do clima, análise do terreno com aplicação de estratégias bioclimáticas e, por fim, a análise de simulação. Este foi organizado de modo que os alunos reportassem seus pensamentos, avaliações e decisões que tomaram a partir de cada resultado obtido.

Na primeira realizou-se a descrição da cidade e de seu clima segundo as variáveis climáticas, sua caracterização, estratégias bioclimáticas segundo a carta psicrométrica, e as análises pessoais em cima destes fatos constatados. A segunda parte, intermediária entre estudo do clima e simulação, é a análise do terreno segundo a disponibilidade e diretrizes anteriormente traçadas para o clima, como vento, sol, vizinhança, contato com a rua, entre outros fatores. Por

fim, relata-se o processo de alterações do projeto a partir de uma simulação inicial sem alterações, contando com o embasamento das duas primeiras partes, como com o resultado concreto das diretrizes sobre a edificação na melhoria de seu desempenho.

Para cada alteração por simulação, baseado na conceituação de processo projetual e nas considerações da revisão bibliográfica, solicitou-se a descrição da análise, síntese e a avaliação da solução encontrada. Na análise, deve-se descrever os resultados da simulação (seja a primeira, sejam as seguintes) e analisá-los segundo a percepção problemas, quais os parâmetros influenciaram este resultado e a opinião pessoal sobre o porquê daquele resultado. Depois, na síntese (no relatório chamado de “alteração”). Em seguida, questionou-se qual alteração na edificação seria realizada pelo aluno para suprir a problemática levantada, e qual a melhoria que se esperou a partir da alteração e o porquê. Na avaliação, tratada como “resultado” no relatório, questiona-se se a alteração no parâmetro anteriormente citado resultou na melhoria esperada e quais as conclusões que se tirou deste resultado, juntamente com imagens do modelo.

Ao final do relatório, é necessário realizar uma breve descrição do resultado e conclusão geral do trabalho, desde as soluções encontradas, configurações diferentes, sua coerência, suas limitações e sobre o processo como um todo.

### 3.3 ETAPA 2: EXPERIMENTAÇÃO

Após o levantamento de dados da Etapa 1 e do desenvolvimento do método de ensino a partir destes resultados, a Etapa 2 consiste na experimentação de simulações termo-energéticas no processo projetual de estudantes de arquitetura e arquitetos. Ao final, são três experimentos distintos: o piloto, presente na Etapa 1 como coleta de dados; o primeiro, realizado com estudantes do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e o segundo, visado para arquitetos formados de diferentes faixas etárias e áreas de atuação, e primordialmente inseridos no mercado de trabalho.

#### 3.3.1 1º Experimento – Estudantes de arquitetura

O primeiro experimento ocorreu na disciplina de Conforto Ambiental – Térmico, obrigatória no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. A disciplina é lecionada pelo professor Martin G. Ordenes Mizgier, e contou com 35 alunos de graduação durante o segundo semestre de 2019.

Esta compõe a grade de horários da quarta fase, contando com o pré-requisito de Introdução à Física do Ambiente Construído, na qual introduz-se conceitos de propriedades de materiais e introdução sobre trocas de calor. Assim, os alunos cursando a disciplina de Conforto Ambiental – Térmico já obtiveram o conhecimento básico dessa área, e outros temas são supridos pelas atividades realizadas nesta. Ainda assim, foram necessários ajustes em aulas para a introdução sobre simulação, contextualização do tema e aulas práticas, como exposto na segunda fase do escopo do método de ensino proposto. A avaliação da disciplina já considera, normalmente, a aplicação de diretrizes bioclimáticas em um projeto final, de acordo com o apresentado em sala, e conseqüentemente, indo ao encontro com o proposto pela presente pesquisa.

A disciplina é dividida em três blocos principais: o primeiro, de arquitetura e clima; o segundo de insolação na arquitetura; e por último, o de ventilação natural. O experimento de simulação termo-energética realizou-se no primeiro bloco, de arquitetura e clima, no qual pontos mais abrangentes sobre a edificação puderam ser analisados durante o experimento, que não só a insolação ou a ventilação. Após a finalização do experimento no primeiro bloco da disciplina, deixou-se disponível a utilização desta ferramenta nos próximos exercícios e temas, mas para isto, o interesse deveria partir dos alunos, sendo também avaliado como um resultado deste primeiro experimento.

### **3.3.2 2º Experimento – Arquitetos**

Por último, realiza-se um experimento do método de ensino proposto considerando a experiência de arquitetos. Para tanto, este foi realizado em São Paulo – SP com a colaboração do espaço da Mitsidi, visando maior abrangência e maior número de arquitetos disponíveis e interessados em comparecer, uma vez que foram obtidos resultados relevantes sobre interesse no tema no questionário aplicado na Etapa 1.

A divulgação deste curso se deu por meio on-line. Com o objetivo de disseminar o tema, realizaram-se vídeos explicativos sobre o assunto e do programa apresentado no curso, e por fim, um *webinar*. Este novamente continua com uma contextualização, introdução ao tema e ao programa. Também, foi utilizado como meio para tirar dúvidas sobre o que ocorreria no curso. Distribuiu-se e divulgou-se o material para os mesmos arquitetos que haviam anteriormente recebido o questionário.

Este experimento foi realizado durante três noites, em fevereiro de 2020, com o total de dez horas de duração, e considerando o escopo do método de ensino proposto. O curso contou com sete participantes, sendo apenas 3 arquitetos. Tendo em vista a pouca relevância e o escasso número de resultados obtidos neste experimento, apresentam-se seus resultados no Apêndice E.

### 3.4 PERGUNTAS DE PESQUISA

A partir do método proposto, questiona-se se o ensino das variáveis de desempenho térmico da edificação pode ser facilitado com o uso de simulação termo-energética neste processo. Indaga-se, ainda, se a análise lenta e aprofundada dos resultados de simulação obtidos pelas alterações de projeto podem engrandecer o conhecimento adquirido em aulas teóricas, ou mesmo dos estudos de clima realizados anteriormente às condicionantes de projeto.

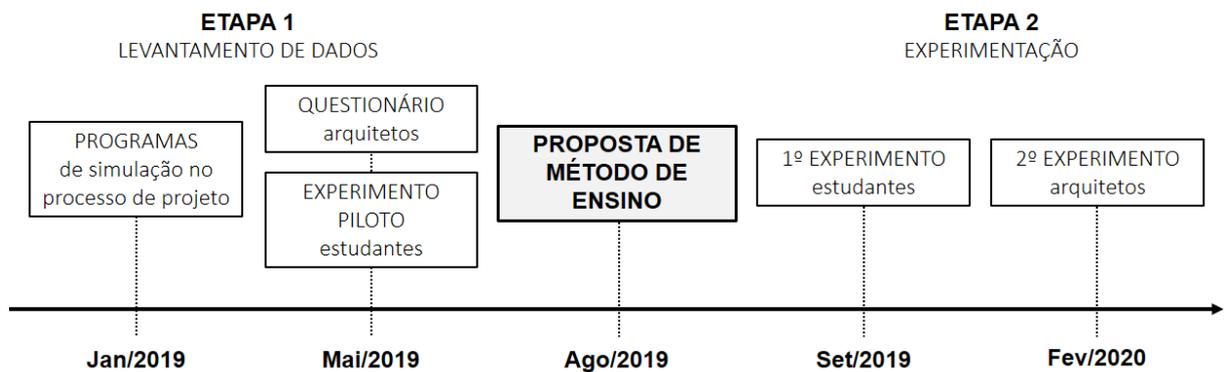
Busca-se analisar essas perguntas a partir dos materiais obtidos pelos alunos durante seus experimentos: a descrição de suas alterações de simulação; suas análises após a obtenção de resultados; e, por fim, os apontamentos realizados após esses resultados em relação às alterações que passarão novamente a realizar no projeto. Com a descrição, compreende-se o conhecimento sobre os termos apresentados e analisados; com as análises dos resultados obtidos por simulação, reforça-se o aprendizado das variáveis e as relaciona com alterações de projeto; e por fim, refinam-se as alterações de projeto conforme o conhecimento, anteriormente apresentado nas aulas teóricas, e agora, pouco a pouco testados por simulação.

Comparam-se ao final a relação entre o resultado e a configuração inicial do modelo segundo alguns outputs de simulação. Assim, nota-se a eficácia das diretrizes tomadas, bem como do aprendizado das variáveis de projeto e de simulação apresentadas.

## 4 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados das duas etapas da pesquisa. Ao final da primeira etapa, tiram-se conclusões para o aperfeiçoamento do desenvolvimento da segunda. A Figura 4 representa a linha do tempo de levantamento de dados, desenvolvimento do método e experimentação.

Figura 4 – Linha do tempo de coleta de dados



Fonte: Autora (2020)

### 4.1 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS

Nesta etapa apresentam-se os resultados do levantamento de dados para o desenvolvimento do método de ensino. Inicialmente analisam-se os programas propostos, expõem-se os resultados obtidos pela implementação de questionário e pelo experimento piloto de ensino, para então abordar considerações sobre esta etapa como um todo.

#### 4.1.1 Análise de programas de simulação aplicados ao processo de projeto

Como visto na seção “2.3. *Integração de modelagem e simulação*”, alguns dos programas analisados possuem melhor interoperabilidade com as plataformas de modelagem, sendo os principais o OpenStudio, Riuska e o Honeybee. Para a presente pesquisa considera-se apenas o Honeybee, visto que este considera a fase de concepção de projeto. Ainda que o OpenStudio possa ter grande difusão no contexto brasileiro, reforça-se o foco desta pesquisa para as fases conceituais de projeto. Inicialmente, identificaram-se os programas de modelagem

que tiveram destaque de maior interoperabilidade com estes escolhidos, o Rhinoceros, o Sketchup e o Revit.

Além dos programas de simulação apresentados anteriormente, analisam-se também outros programas e plataformas desenvolvidas e atualizadas nos últimos anos. Por exemplo, o programa Sefaira, que passou por alguns aprimoramentos após estudos já apresentados; o *plug-in* Archsim, que teve modificações; e uma nova plataforma web, a CoveTool.

#### 4.1.1.1 Programas de modelagem

O Rhinoceros, o SketchUp e o Revit são foco de interoperabilidade no desenvolvimento de novas ferramentas de simulação. Os três partem de desenvolvimentos tecnológicos diferentes, ainda que possam ser igualmente utilizados no processo de projeto.

O Rhinoceros 3D é um programa baseado no modelo matemático NURBS – Non Uniform Rational Basis Spline, o qual gera curvas e formas complexas a partir de pontos de controle, e dessa forma, possui representação matemática para a sua composição. É considerado intuitivo e aplicável a diversas áreas do conhecimento devido à sua precisão. Este também possui um *plug-in* de Visual Programming Language – VPL, chamado Grasshopper, o qual facilita a criação de formas por meio de modelos matemáticos e programação visual e paramétrica. Este programa possibilita um teste gratuito de 90 dias, e posteriormente, oferece planos de categoria estudantil e profissional.

Já o Revit faz parte do grupo de programas que de tecnologia de Building Information Modeling - BIM. É, em suma, um modelo virtual equivalente a uma edificação real no que diz respeito aos seus detalhes, instalações e funcionalidades, visto que sua interface já possui componentes construtivos de edificações pré-definidos. Também tem ligação com um *plug-in* de VPL, neste caso o Dynamo. Por fim, possui versão de avaliação de 30 dias, bem como versão estudante gratuita.

Por último, o SketchUp possui uma modelagem intuitiva que se dá por meio de construção de linhas e formas geométricas básicas, não tendo relações matemáticas em suas formas ou componentes construtivos pré-definidos. Não possui conexão com nenhum tipo de *plug-in* de VPL, e possui uma versão de avaliação de 30 dias, sendo futuramente adquirida nos planos estudantil e profissional.

#### 4.1.1.2 Sefaira

Esta ferramenta aparece como uma solução interessante, pois possui boa interoperabilidade tanto com o SketchUp e o Revit. Além disso, utiliza motores de simulação bem conceituados, como o EnergyPlus para análises de energia, desempenho e conforto térmico, e o Radiance para análises de iluminação natural.

Ademais, permite a visualização dos resultados de simulações termo-energéticas e lumínicas de forma instantânea e intuitiva no mesmo ambiente de desenvolvimento de projeto. Por todos testes apontamentos, esta ferramenta é uma forte opção para a melhoria no desenvolvimento e no aprendizado de projetos.

O programa, porém, não é gratuito, o que poderia facilitar o experimento e o uso contínuo dos estudantes e projetistas durante sua carreira. Possui versão estudantil, mas para que se utilize no meio acadêmico é necessário que este seja cadastrado pela universidade no currículo do curso de Arquitetura e Urbanismo da universidade em questão, e inserido na ementa da disciplina utilizada para ensino aos alunos. Por fim, há a possibilidade de teste de 30 dias, quando aliada ao SketchUp, o que dificulta a implementação em ambientes de ensino de graduação.

#### 4.1.1.3 Ladybug Tools

O pacote de ferramentas Ladybug possui ao todo quatro ferramentas: a Ladybug, Honeybee, Butterfly e Dragonfly. A primeira permite a análise de arquivos climáticos como da carta solar, radiação, direção e intensidade do vento, entre outros. Já a Honeybee une os motores de simulação computacionais Radiance, de análises de iluminação natural; Energyplus/OpenStudio, que realiza avaliações térmicas e energéticas; e o Therm/Window, verificando balanços de calor de sistemas construtivos da envoltória. A ferramenta Butterfly cria e realiza simulações mais avançadas de dinâmica de fluidos CFD<sup>5</sup>, por meio do motor de simulação OpenFOAM. Já a Dragonfly efetua estimativas de fenômenos climáticos em larga escala, como ilhas de calor e futuras mudanças climáticas. Este utiliza motores como Urban Weather Generator e CitySim.

Todas estas ferramentas são integradas à interface do Grasshopper, que por sua vez conecta-se com o programa de modelagem Rhinoceros. Destas, as mais interessantes para o

---

<sup>5</sup> *Computational fluid dynamic*

presente trabalho são as duas primeiras: Ladybug e Honeybee. Permitem análises de resultados por meio de visualização na interface de trabalho, que se dá por componentes próprios do pacote. A visualização se dá por meio da diferenciação de cores por ambientes e superfícies de diferentes resultados de temperatura, carga térmica, entre outros resultados disponíveis pelo EnergyPlus, além de ainda permitir análises por meio de gráficos e resultados numéricos na própria interface. Além disso, estas ferramentas são gratuitas, o que viabiliza sua aplicação nos experimentos e em futuras disciplinas que utilizem este método.

#### *4.1.1.4 CoveTool*

Esta é uma interface web em que os projetistas podem inserir as informações do projeto (sem necessidade de muita informação) a fim de calcular o consumo da edificação. A partir da ferramenta, foi desenvolvido um arquivo padrão de simulação para o Grasshopper, estando integrada assim com um ambiente de modelagem e que permite calcular os resultados de consumo da edificação: resfriamento, aquecimento, iluminação artificial, equipamentos, entre outros, além da EUI total por ano. Apesar da praticidade de utilização deste arquivo padrão, não há outras opções de análise de resultados advindos da simulação, como temperaturas (do ambiente e das superfícies), fluxos, carga térmica, entre outros. Este resultado é apresentado em forma de relatório por meio da interface web, ou seja, com interoperabilidade distante da ideal. Além disso, não há especificação do motor de simulação que esta ferramenta utiliza por trás de seus cálculos.

Essa interface pode ser utilizada por meio de um cadastro estudantil, com a validade segundo o período de estudos do usuário. Por este motivo, pode ser relevante como ferramenta no meio acadêmico.

#### *4.1.1.5 Archsim*

Por último, a Archsim foi desenvolvida como um plug-in do Grasshopper. Assim como outras ferramentas apresentadas, realiza análises térmicas e de energia por meio do EnergyPlus, além de ter conexão direta com o programa de análise de iluminação natural DIVA for Rhino. No âmbito de simulações térmicas e energéticas, possui fácil configuração de simulação e grande praticidade para entendê-la ao comparar com o Ladybug Tools. O processamento de

resultados é possível a partir de configuração por componentes do Grasshopper, não se dando por meio de componentes pré-estabelecidos pelo plug-in.

Possui uma versão de avaliação de um mês ou um cadastro de estudante para utilizá-lo, além da possibilidade planos.

#### 4.1.1.6 Conclusões da análise de programas

A partir das descrições apontadas anteriormente, opta-se pelo pacote de ferramentas Ladybug, especificamente o Ladybug e o Honeybee. A escolha destes possibilita a fluidez de trabalho a partir da união do software de modelagem com o de simulações termo-energéticas. Além disso, o Grasshopper possibilita o desenvolvimento da modelagem paramétrica, facilitadora em alterações rápidas em projeto, aumentando a possibilidade de análise sobre a influência de parâmetros da volumetria no desempenho da edificação. Ademais, a união de análises da edificação pelo Honeybee com análises do clima e dos fatores externos do arquivo climático do Ladybug pode enriquecer o entendimento das variáveis.

O Quadro 1 a seguir representa um resumo da análise realizada, no qual a cor verde representa a possibilidade de visualização de resultados dentro do ambiente.

Quadro 1 – Resumo da análise de programas

Análise de programas				
Programas		Período de uso disponível da simulação		
Modelagem	Simulação	30 dias	Estudante	Gratuito
<b>Revit</b>	Sefaira			
<b>Rhinoceros</b>	Archsim			
	CoveTool			
	Ladybug Tools			
<b>SketchUp</b>	Sefaira			

Fonte: Autora (2020)

Não somente pelos motivos citados acima, a escolha deste conjunto de ferramentas também se deu pelos pontos abordados nessa seção do trabalho:

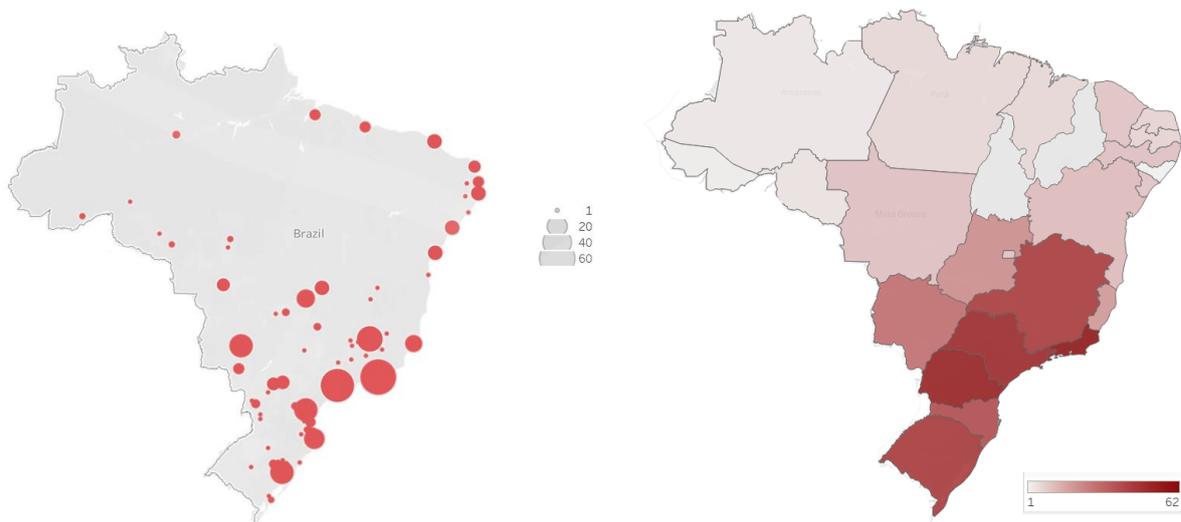
- O ambiente de modelagem é pago, porém, possui versão de 90 dias de teste;

- Os *plug-ins* Grasshopper e o conjunto de ferramentas Ladybug e Honeybee são gratuitos e sem necessidade de solicitação de versão estudante, o que poderia ser limitador para a implementação;
- O próprio *plug-in* de simulação já apresenta componentes desenvolvidos que permitem analisar os resultados da simulação de forma mais visual e diretamente no programa de modelagem, junto ao modelo;

#### 4.1.2 Aplicação de questionário

A aplicação contou com mais de 500 envios e abrangeu todas as capitais brasileiras além outras cidades, tendo sua distribuição representada na Figura 5 a seguir, por cidades e estados. A disponibilidade para o preenchimento do questionário foi de 10 semanas, e a distribuição se deu principalmente via e-mail, reforçando o preenchimento individual de cada profissional. A aplicação do questionário contou com 72 respostas de arquitetos e urbanistas de todas as regiões do Brasil. Segundo o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (2013), o Brasil possui pouco mais de 106 mil arquitetos. Logo, o número de respostas obtidas corresponde a 0,07% dos arquitetos brasileiros.

Figura 5 – Distribuição do questionário por cidade (à esquerda) e estado (à direita)

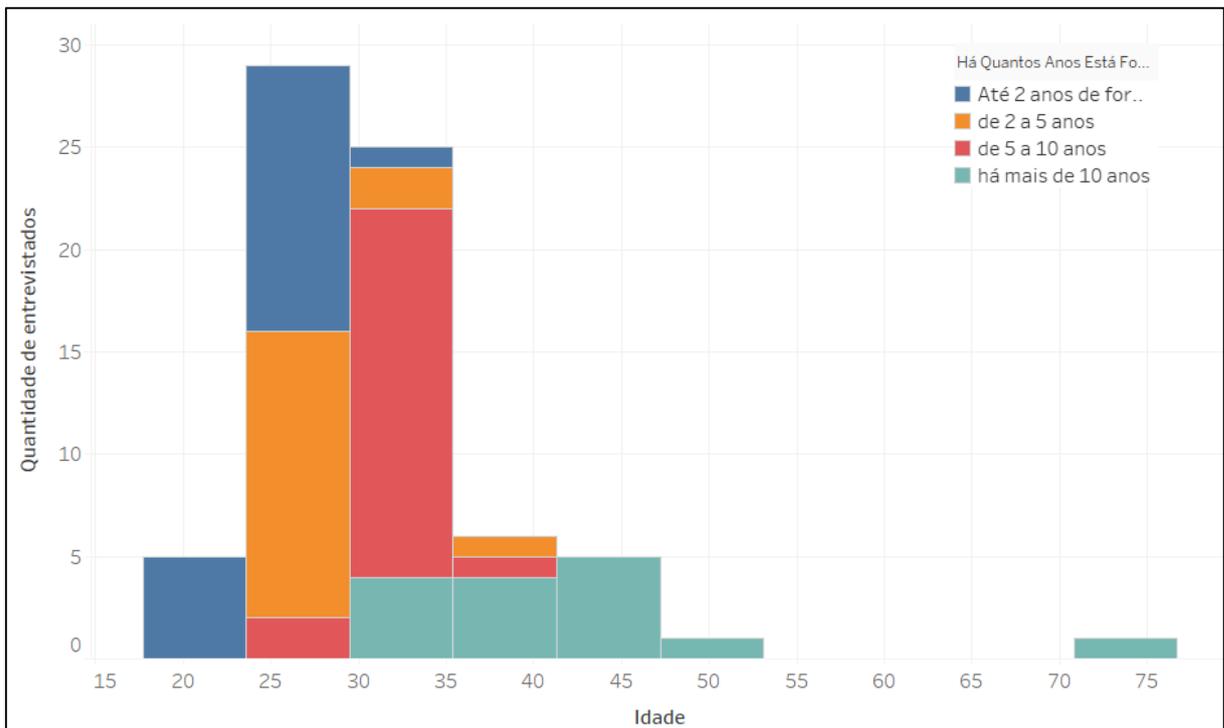


Fonte: Autora (2020)

Dos 72 arquitetos, 6 são pesquisadores em arquitetura e 2 são professores. A faixa etária dos profissionais entrevistados é de 22 anos a 74 anos de idade, sendo que 51% deles têm

até 30 anos, 39% entre 31 e 40 anos e apenas 10% com idade acima de 40 anos. Em contrapartida, a distribuição dos entrevistados sobre o tempo de formado foi, de certa forma, bem distribuída: 26% dos entrevistados possui até 2 anos formado, 24% entre 2 e 5 anos, 29% de 5 a 10 anos de formado, e 21% com mais de 10 anos de formação. A Figura 6 a seguir representa a relação entre a quantidade de entrevistados, a idade e o tempo de formado.

Figura 6 – Distribuição dos entrevistados de acordo com a idade e anos de formação



Fonte: Autora (2020)

Todas as análises dos parâmetros bioclimáticos, de projeto e de simulação foram realizadas segundo sua relevância para determinada etapa de projeto, partindo da taxa de resposta obtida. Criou-se uma escala a partir de variação de cores claras a escuras, a qual parte da cor branca para parâmetros sem relevância, até cores mais escuras representando maior destaque. Levou-se em consideração faixas de percentuais de respostas, representada pelo Quadro 2. Para melhor análise e organização de apontamentos, troca-se a ordem apresentada no questionário, iniciando a partir do diagnóstico de parâmetros bioclimáticos.

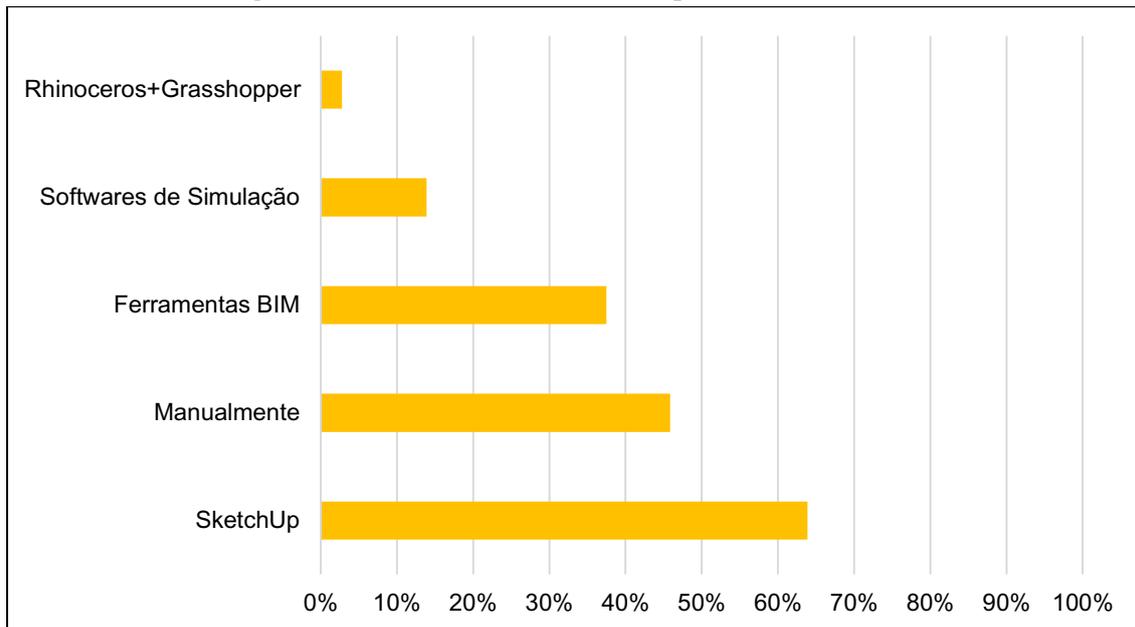


Fonte: Autora (2019)

Essa condição expõe que alguns dos participantes tendem a assinalar o que acreditam que os pesquisadores desejam como resposta, e não necessariamente o que eles de fato acreditam ou aplicam em seu cotidiano. Porém, isso mostra interesse e preocupação com o comportamento passivo das edificações projetadas, ou ao menos certo conhecimento e entendimento da relevância deste tema. Mas mesmo que esse seja um resultado interessante, nota-se pelos resultados obtidos na pergunta seguinte, que questionou o método de avaliação das diretrizes bioclimáticas traçadas, que estas não têm base concreta de efetividade, ou seja, não há análise de eficácia da diretriz tomada para insolação, iluminação natural ou ventilação natural. Isso porque mais de 60% dos entrevistados reportaram testar a efetividade por meio da configuração geográfica do programa SketchUp. A ineficácia de testes se agrava a partir do segundo método mais utilizado, o manual, que engloba croquis, desenhos e maquetes físicas como base de “teste” de quase metade dos entrevistados, apresentado por meio da Figura 7.

Ou seja, mesmo que estes parâmetros já sejam incorporados no desenvolvimento de projeto, pouca precisão se tem quanto à análise crítica da diretriz tomada para supri-lo. Isso se enfatiza ao analisar parâmetros como a própria norma de desempenho de edificações, NBR 15575, e a etiqueta de eficiência e a simulação, que têm pouquíssima relevância durante quase todo o desenvolvimento e, inclusive, não são conhecidas por alguns dos projetistas. Boa parte dos entrevistados não as considera em nenhum caso, o que pode ser resultante da não obrigatoriedade de aplicação. Estes parâmetros têm certa influência mútua, considerando que simulações termo-energéticas ganhariam mais força no projeto caso a busca pela melhor etiqueta de eficiência energética da edificação fosse intensificada, ainda que se tenha o método prescritivo de etiquetagem. Já a norma de desempenho (NBR15575) não é considerada por um certo grau dos entrevistados em nenhum momento do projeto, um percentual considerado elevado, tendo em vista sua obrigatoriedade.

Figura 7 - Método de validação de parâmetros bioclimáticos.



Fonte: Autora (2019)

Isso também é possível notar no Quadro 4 da próxima seção, em que uma parte dos entrevistados reporta não saber analisar dados como graus-hora de desconforto e carga térmica, que são parâmetros base utilizados em normativas e na etiquetagem atualmente. Em resumo, parâmetros bioclimáticos importantes têm grande relevância para definições de projeto, segundo reportam, mas os arquitetos não sabem se estas diretrizes estão ou não funcionando como esperado, ou ainda, os consideram de forma superficial.

Parâmetros como cores, materiais de alto desempenho térmico, projeto de iluminação artificial e projeto de ar condicionado têm grande destaque apenas no anteprojeto. Parte dos entrevistados não os considera em nenhuma fase de projeto, não tendo grande relevância. Sabe-se que é a partir da escolha de diretrizes bioclimáticas, desde a concepção de projeto, que se pode reduzir o consumo final destes sistemas. Ainda que estes não façam parte do escopo na maioria dos casos, ou que só sejam definidos após os projetos de instalação (que realmente têm relação mais estreita na fase de anteprojeto ou posterior), estes são resultados importantes desde o início do desenvolvimento. É a partir de resultados de consumo que se pode compreender a efetividade de uma diretriz traçada, comparando diferentes resultados obtidos de diretrizes distintas ao analisar a redução no consumo, e logo, tornando a edificação mais resiliente ao clima.

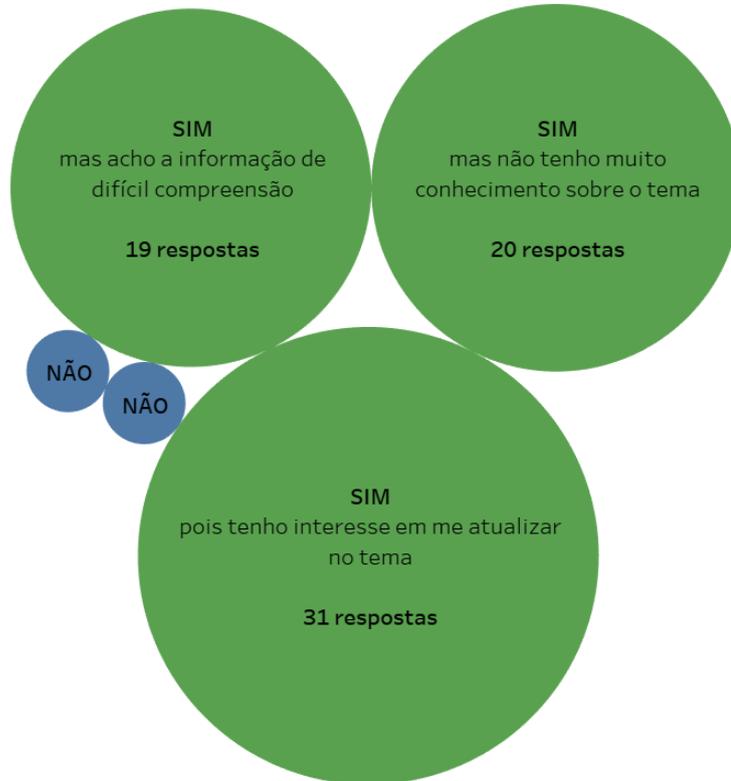
Além disso, com resultados de relevância de materiais de alto desempenho e cores, o uso destes se enfatiza como medida emergencial após a consolidação do projeto. É possível, ainda, correlacionar este resultado com o distanciamento dos ensinamentos de desempenho térmico e de projeto, tendo em vista que o conhecimento de materiais e suas propriedades físicas não é aplicado nas decisões de projeto. Outro fator a ser levado em consideração é o grau de importância dado no próprio ensino de projeto para estes fatores, uma vez que algumas formações acadêmicas podem não gerar discussões nestes âmbitos (simulação e eficiência energética). De qualquer forma, estas diferenças já demonstram não somente certa preocupação com questões bioclimáticas, já inseridas no desenvolvimento do projeto, mas também, a importância da simplificação de análise de fatores para que estes realmente sejam parte do processo. Ressalta-se que o Brasil possui climas bem distintos e o uso de materiais de alto desempenho, ou mesmo composições de materiais diferentes a fim de melhorar o desempenho global da edificação, se faz necessário em alguns desses climas.

Outro ponto é que a dificuldade de utilização dos softwares de simulação pode acarretar a sua não utilização: o SketchUp é um programa de fácil usabilidade e abrange muitos dos projetistas; as ferramentas BIM são de recente inserção no mercado, mas ainda assim já se vê grande crescimento em sua utilização (apresentado nas próximas seções); enquanto isso, as ferramentas de simulação estão há mais tempo em desenvolvimento e utilização e, ainda assim, têm pouco uso por parte dos projetistas no seu processo de criação. Além da usabilidade, pode-se considerar também a integração destes com o próprio processo projetual. Nestes casos, as ferramentas de modelagem como o SketchUp já possuem possibilidade de análises básicas, enquanto os programas de simulação são, por vezes, não integrados à modelagem, e por consequência, não integrados no processo projetual como um todo. Levando a análise mais adiante, as respostas obtidas por estes programas são diferentes: programas de modelagem com análises próprias dão resultados visuais do comportamento futuro da edificação, enquanto a compreensão de resultados de simulações são de difícil compreensão ou desconexas a soluções rápidas de projeto.

É o que se analisa na Figura 8 a seguir, em que dos 72 entrevistados, apenas 2 não considerariam outros parâmetros (considerando que a informação passada seria de fácil compreensão), sendo que destes 2, apenas um não avalia o tema como importante, e o outro já considera suficiente, segundo sua percepção. Os outros 70 entrevistados gostariam de considerar outros parâmetros nessas circunstâncias, sendo que mais da metade destes reportou

que, ou acham a informação de difícil compreensão, ou que não têm muito conhecimento sobre o tema.

Figura 8 - Interesse em considerar mais parâmetros.



Fonte: Autora (2020)

#### 4.1.2.2 Inserção de simulações termo-energéticas no processo projetual

Considerando as respostas obtidas na seção anterior, 70 entrevistados responderam a esta seção. Destes, 65 arquitetos registraram sua preferência por uma ferramenta que fosse integrada com o programa de modelagem, enfatizando a importância de que estas análises estejam imersas no desenvolvimento por meio de uma interoperabilidade imperceptível. O Quadro 4 apresenta o resumo dos resultados obtidos quanto à preferência do resultado de simulação a ser analisado.

Dentre os resultados desejados para a análise da edificação, nenhum foi expressivo na fase de concepção, sendo a temperatura interna do ambiente a mais relevante com taxa de relevância menor que a intermediária. Nota-se, aqui, maior relevância de análise no estudo preliminar de modo geral, com destaque para análise de temperaturas internas dos ambientes. Para esta etapa, os resultados que têm maior relação com temperaturas e trocas de calor são de

maior relevância (em números absolutos de respostas), e por outro lado, dados de saída relacionados ao consumo da edificação são considerados de maior importância na fase mais avançada. Este resultado é interessante, ao considerar que as simulações realizadas no anteprojeto têm maior nível de detalhamento e, como visto no Quadro 3, parâmetros importantes de consumo são definidos também nessa fase, como o projeto de iluminação artificial e de condicionamento de ar.

Quadro 4 – Resultado de interesse para análise da edificação.

parâmetros levantados								
	Temperatura interna	Concordância com a NBR15575	Graus-hora de desconforto	Carga térmica de resfriamento e aquecimento	Trocas de calor das superfícies	Consumo total	Consumo de ar condicionado	Classificação da etiqueta de eficiência energética
Concepção								
Estudo preliminar								
Anteprojeto								
Não sei analisar esse dado								
Não tenho interesse								

Fonte: Autora (2019)

Ainda assim, é preocupante notar a diferença nos níveis de relevância entre o Quadro 3 e o Quadro 4, na qual o último possui grande homogeneidade em determinadas fases, o que levanta o questionamento sobre o entendimento no tema. Novamente aqui evidencia-se a superficialidade de análise destes fatores durante o desenvolvimento do projeto, e consequentemente, os objetivos traçados não são alcançados: a ventilação natural não ocorre como esperado, a insolação se dá de forma diferente e a iluminação natural pode não ser suficiente. Mas é interessante analisar, também, que a falta de interesse por determinados dados da edificação não foi expressiva, ou seja, esta grande parcela dos entrevistados tem interesse de aplicação do tema de forma geral.

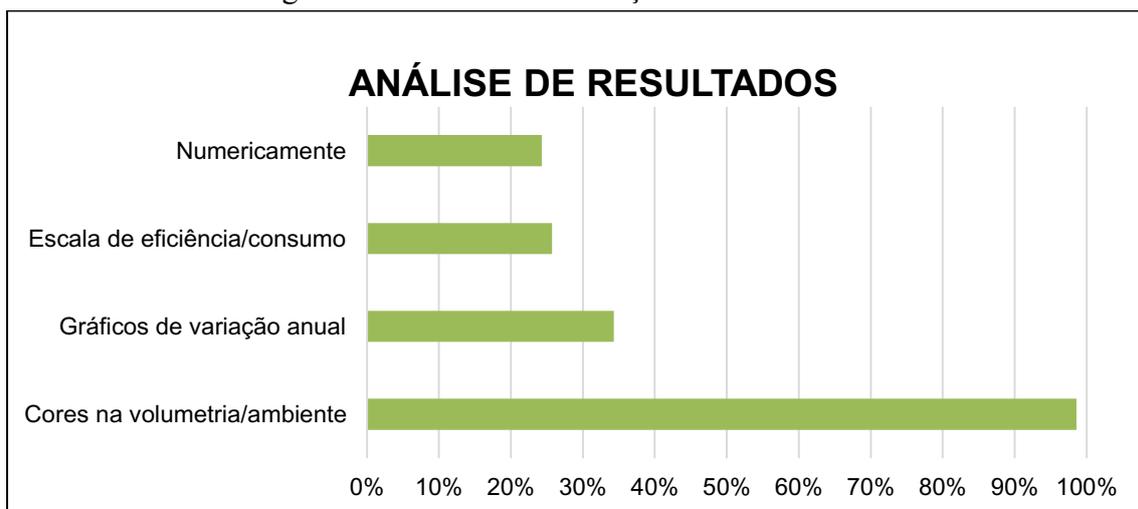
Outro fator importante é o conhecimento para analisar determinados dados: boa parcela das respostas está em não saber analisar dados como graus-hora de desconforto e carga térmica da edificação. Relacionam-se estes parâmetros com a sua utilização, que está vinculada ao desenvolvimento de normativas e de etiquetagem de eficiência energética de edificações. Ao passo que a classificação de eficiência energética também obteve resultados tanto de falta de interesse, como de desconhecimento da mesma, é possível associar este resultado com o

desconhecimento dos termos desta classificação. Questiona-se aqui se, caso os parâmetros de classificação da etiqueta fossem mais adequados ao dia-a-dia de desenvolvimento de projeto, se esta seria mais facilmente inserida no processo e, talvez, fosse de conhecimento de um maior número de projetistas.

Pelo menos um dos entrevistados não soube analisar algum dos termos apresentados. Dados como temperatura e trocas de calor, que fazem parte do escopo de ensino do projetista durante sua formação, são preocupantes e reforçam, novamente, o distanciamento da prática projetual e de ensino de desempenho térmico. A temperatura interna e o consumo, de modo geral, foram os parâmetros em que a maior parte tem conhecimento para análise, e provavelmente por isso foram mais expressivos na hora de serem escolhidos para análise (tanto no estudo preliminar como no anteprojeto).

Mesmo questionando os resultados de interesse dos arquitetos, questionou-se também como que esse resultado deveria ser apresentado pelo programa. Apenas um entrevistado não teve interesse pelo modo de visualização por diferenciação de cores, fazendo com que este seja o modo com maior aprovação. Por outro lado, os resultados numéricos e a escala de eficiência/consumo tiveram diferença de apenas uma resposta, e a análise dos gráficos ficou um pouco a frente. A Figura 9 a seguir representa estas diferenças. De modo geral, os entrevistados tiveram preferência por pelo menos duas respostas advindas do programa: a visualização juntamente com a escala, ou com gráficos ou com números.

Figura 9 - Modo de visualização dos resultados obtidos.

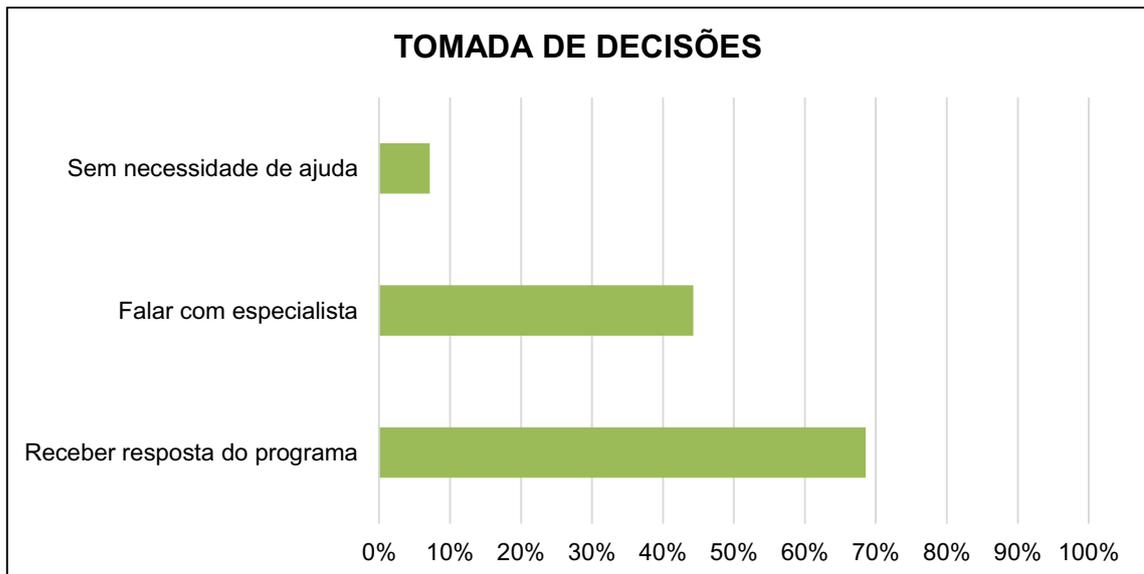


Fonte: Autora (2019)

Outro ponto importante na Figura 6 é a relação de gráficos de variação anual com resultados de desempenho térmico da edificação. Nota-se aqui, novamente, a pouca compreensão destas variáveis, uma vez que resultados anuais de temperatura, bem como seus máximos e mínimos não são indicativos interessantes para guiar as alterações de projeto. Ressalta-se que apenas pouco mais de 30% dos entrevistados gostaria de relacionar os resultados com gráficos de variações anuais, ao passo que o Quadro 4 ilustra o maior resultado de interesse é de temperaturas internas. Há, então, contradição entre as respostas, ou mesmo desentendimento sobre a sua análise.

Mesmo podendo escolher a forma da resposta obtida pelo programa, grande parte dos entrevistados prefere obter uma resposta do programa quanto à tomada de decisões. Ou seja, mesmo analisando os dados e recebendo-os de forma mais visual, grande parte dos projetistas julgaram necessário também receber uma resposta quanto à melhoria que deve ser realizada no projeto, a fim de tornar o edifício com melhor desempenho. Apenas 5 entrevistados reportaram não necessitar de ajuda, enquanto que pouco mais de 40% julgou que, ainda assim, necessitaria conversar com algum especialista para tomar alguma decisão de projeto, independente de receber uma resposta do próprio programa. A Figura 10 a seguir representa estes resultados.

Figura 10 - Tomada de decisões.



Fonte: Autora (2019)

Isso demonstra a pouca ou nenhuma autonomia dos projetistas em relação à essa problemática. A insegurança pode estar relacionada a diversos fatores, mas como já citado anteriormente, há grande distanciamento das práticas de ensino de projeto e de desempenho

térmico. Mesmo que estes aprendam sobre as variáveis e os termos relacionados ao desempenho do edifício, a aplicação no desenvolvimento do projeto não ocorre já na formação do projetista. Desta forma, o aluno não desenvolve, desde o início, o senso crítico sobre a suas decisões de projeto e, mesmo ao receber um resultado escolhido, pela falta de prática e de conhecimento, não sabe analisá-lo e, conseqüentemente, não o incorpora.

#### 4.1.2.3 Características do processo projetual

Em relação às características do processo de projeto, 69% dos entrevistados reportou que projeta majoritariamente em grupo e apenas 31% individualmente. Em se tratando dos diferentes usos das edificações (comparação entre comercial e residencial), o resultado foi dividido, no qual 50% reportou que possui o mesmo processo de projeto para os dois usos, e a outra metade afirmou que projeta de forma diferente para os dois usos.

Já a definição de parâmetros de projeto segundo cada fase de desenvolvimento resultou em grandes diferenças entre estas. O Quadro 5 representa os resultados obtidos.

Quadro 5 – Definição de parâmetros da edificação

parâmetros levantados													
	análise do entorno	orientação	legislação	volumetria	acessos	número de ambientes	localização das aberturas	dimensão de ambientes	pé direito	materiais	dimensões das aberturas	elemento de sombreamento	cores
Concepção													
Estudo preliminar													
Anteprojeto													

Fonte: Autora (2019)

Na concepção, os parâmetros considerados mais relevantes para os entrevistados foram, em ordem decrescente de importância, a análise do entorno, a orientação da volumetria, a legislação, a forma do edifício, os acessos e o número de ambientes. Já as dimensões das aberturas e as cores da edificação tiveram menor faixa de destaque para esta fase inicial. A concepção, ainda, é a fase de projeto em que se teve os maiores percentuais de definição de parâmetros pelos entrevistados, visto que nenhum parâmetro atingiu a maior escala de relevância na etapa de estudo preliminar, e no anteprojeto nenhum dos parâmetros alcançou a

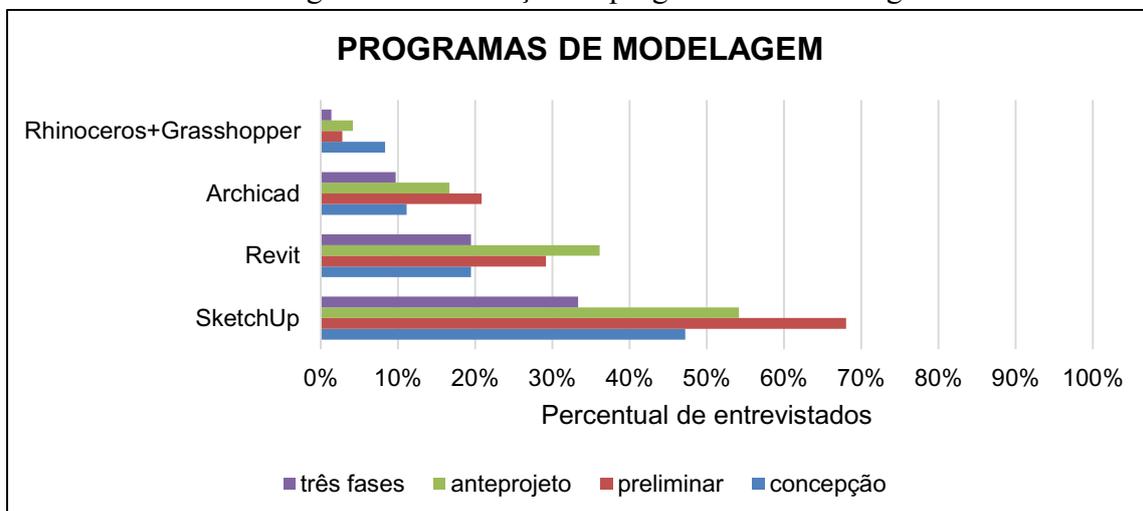
escala acima da intermediária. Isso reforça a importância da fase de concepção na definição de parâmetros do projeto da edificação, e conseqüentemente, no seu desempenho termo-energético final.

A importância do estudo preliminar também é notável. É nele que parâmetros de entrada importantes em simulações termo-energéticas têm maior destaque: a localização e a dimensão das aberturas, a dimensão dos ambientes e do pé direito, a definição dos materiais da envoltória e, também, a presença ou não de elemento de sombreamento.

Assim, os resultados desta fase da pesquisa reforçam que as alterações de projeto importantes no seu desempenho final são pensadas principalmente nas fases iniciais. Isso é evidenciado no levantamento dos mesmos parâmetros para a fase de anteprojeto, em que apenas três parâmetros alcançam a escala intermediária: definição de materiais, dimensões das aberturas e definição de cor. Mesmo assim, estes são os únicos fatores que ultrapassam as marcas de importância em relação à concepção e, comparado ao estudo preliminar, apenas a definição de cor possui mesmo grau de importância, enquanto os outros dois têm maior impacto no estudo preliminar.

Já em relação aos métodos e programas utilizados durante o desenvolvimento do projeto, o destaque dentre os métodos analógicos se dá tanto pelas anotações escritas, quanto para os croquis. Estes são utilizados por grande parte dos entrevistados não somente no período de concepção, mas também são métodos utilizados continuamente durante todo o processo. No que diz respeito aos programas computacionais, com foco nos programas de modelagem tridimensional, o SketchUp é o grande destaque, como representado na Figura 11.

Figura 11 - Utilização de programas de modelagem.



Fonte: Autora (2019)

O programa mais utilizado é o SketchUp, não só em cada fase separadamente, mas também continuamente em todo o processo levantado na pesquisa, ainda que com porcentagem próxima a 30%. A relevância desta análise se dá no número de entrevistados que usufrui deste programa no estágio preliminar, chegando próximo a 70%. Com exceção do Revit no anteprojeto, menos de 30% dos entrevistados utiliza quaisquer outros programas para todos os critérios levantados, mostrando ainda mais a importância do programa SketchUp no desenvolvimento dos projetos arquitetônicos tridimensionalmente.

#### *4.1.2.4 Conclusões do questionário*

Os resultados do questionário reforçam a importância das fases de concepção e estudo preliminar de projeto na definição de parâmetros relevantes no desempenho térmico da edificação. É possível perceber que estas duas fases têm suporte de definição de parâmetros suficientes para se gerar análises prévias que possam buscar a melhoria do desempenho da edificação. Nota-se a importância da concepção para as análises iniciais de desempenho da edificação para a tomada de decisões, na qual parâmetros importantes têm grande relevância nesta fase tão inicial como a análise do entorno, que altera a disponibilidade de luz, calor e vento; definições de orientações do volume da edificação e dos ambientes, que se relacionam com o ganho ou não de calor e vento no ambiente interno; a volumetria no lote projetado, que está ligada com a metragem quadrada e o tamanho das superfícies que possuem contato com o meio externo; e o número de ambientes e, conseqüentemente, a relação de volume entre estes, que interfere novamente tanto nas trocas de calor destes ambientes entre si, quanto com o ambiente externo. Neste caso, os testes podem comprovar se as decisões tomadas são ou não coerentes com aquele local e projeto.

Ao mesmo tempo, comprova-se que, quando considerada no projeto, as simulações termo-energéticas e preocupações com a norma e a eficiência energética da edificação são mais consideradas no anteprojeto. Ainda assim, analisa-se que há certa preocupação dos projetistas com questões bioclimáticas, mesmo que pouco testadas e ainda básicas. Outro ponto que enfatiza esta preocupação é o interesse em considerar mais parâmetros de desempenho térmico da edificação, partindo de análises fáceis e rápidas durante o processo de criação. Nota-se que alguns termos utilizados, quando se trata de desempenho térmico e da etiquetagem de eficiência energética, não são de fácil análise e compreensão do projetista, ou são desconhecidos por este, e conseqüentemente, não são implementadas durante o desenvolvimento do projeto. Isso

ênfatiza a necessidade de maior vínculo entre as áreas técnicas de desempenho térmico e de desenvolvimento de ferramentas e normativas com o processo projetual de arquitetos, para que sejam considerados e exigidos termos e variáveis, não só mais fáceis de compreender e obter respostas, mas familiares ao dia-a-dia do arquiteto.

A pesquisa também mostra a importância do trabalho entre simuladores e arquitetos, visto que alguns ainda sentem a necessidade de conversa com um especialista, ou mesmo de uma resposta do programa para a tomada de decisões. Isto comprova que, não só o arquiteto que saiba simular não assumirá o lugar do simulador, que atualmente já executa simulações majoritariamente ao final do desenvolvimento do projeto, como também enfatizará e reconhecerá a necessidade futura de um simulador para se obter resultados melhores e mais detalhados na definição final do projeto.

Os resultados aqui obtidos foram considerados no desenvolvimento do método de ensino. Notou-se as preferências em relação às simulações, tanto quanto às respostas mais desejadas, quanto ao método de análise e visualização destas, quanto às alterações, fases e condicionantes de projeto mais relevantes.

#### **4.1.3 Experimento piloto**

O experimento piloto ocorreu na disciplina de Projetos Arquitetônicos para o Futuro, oferecida no primeiro semestre de 2019, composta por 8 alunos, e que tinha como objetivo implementar novas tecnologias ao processo de projeto dos estudantes. A proposta foi introduzir conceitos de diferentes tecnologias relacionadas ao processo de projeto, incluindo o ensino do programa de modelagem paramétrica Rhinoceros e Grasshopper. Isso facilitou o posterior ensino de simulação computacional com o *plug-in* Honeybee, uma vez que os estudantes já estavam familiarizados com o programa de modelagem. Assim, introduziu-se o tema de simulações termo-energéticas e o processo de projeto, para então dar início ao aprendizado. Os alunos desenvolveram dois exercícios durante as 4 aulas propostas, e por fim responderam a um questionário, a fim de se adequar o método experimental a partir da opinião dos participantes.

#### 4.1.3.1 Exercício 1

Após a revisão de conceitos de arquitetura bioclimática, propriedades dos materiais e da situação mundial segundo o consumo energético de edificações, os alunos realizaram o primeiro exercício. Este consistiu em traçar diretrizes esquemáticas para a disposição de espaços internos e de aberturas para uma residência unifamiliar de 2 dormitórios, apresentado em folha de papel, respeitando os conceitos recém apresentados. Para tanto, foi necessário considerar diferentes localidades: cada aluno escolheu pelo menos duas cidades brasileiras de zonas bioclimáticas distintas: zona 1 (considerada a zona mais fria do Brasil), zona 3 (na qual Florianópolis está localizada) ou zona 8 (zona mais quente do Brasil). Essas alterações desconsideraram testes ou simulações, e ao final todos entregaram a descrição das diretrizes tomadas, como orientações, escolha de materiais e alterações do entorno para cada situação, sendo um exercício individual.

Neste exercício, notou-se flexibilidade nas diretrizes de projetos tomadas pelos alunos. Tendo em vista nenhuma limitação ou projeto pré-estabelecido pra ser alterado, apenas uma breve descrição de projeto (residência unifamiliar de 2 quartos), as diretrizes tomadas em relação aos materiais, à insolação/sombreamento e à ventilação foram as mesmas para as mesmas cidades ou zonas bioclimáticas, considerando que todos realizaram a análise do clima realizada no *website* ProjetEEE. Mas já em relação à forma do edifício, as orientações dos ambientes e das aberturas, o tamanho e o modo como os elementos da fachada foram trabalhados, foram bem diferentes. Os materiais escolhidos diferenciaram não em propriedade (capacidade térmica alta ou baixa, transmitância térmica alta ou baixa), mas na escolha deste, e conseqüentemente, na composição final (seja da parede, seja da cobertura ou do piso). A distribuição dos ambientes diferiu em número de pavimentos, orientações e, ainda, entorno vegetativo proposto. Sendo assim, percebeu-se flexibilidade e diferenças de projeto ao comparar os projetos de alunos diferentes para o mesmo clima, e ainda, diferenças entre as envoltórias propostas, pelo mesmo aluno, para locais diferentes.

#### 4.1.3.2 Exercício 2

Posterior à aula expositiva sobre simulação computacional realizou-se a aula prática, na qual os alunos configuraram a simulação passo-a-passo, de modo que estes adquirissem autonomia ao utilizar e alterar o arquivo padrão. Neste arquivo apresentaram-se os dados de

entrada de simulação já configurados, as alterações possíveis e a análise posterior dos resultados.

Formaram-se três grupos para o desenvolvimento deste exercício, sendo dois trios e uma dupla de alunos. Optou-se por não solicitar trabalhos individuais pois notou-se dificuldade de realização das simulações individuais já na aula prática, e além disso, a discussão gerada entre os integrantes do grupo para as alterações de projeto poderia acrescentar no aprendizado. No caso deste estudo, o arquivo padrão contou com um projeto esquemático de uma edificação residencial unifamiliar de 2 dormitórios, um banheiro, sala e cozinha conjugadas. A análise foi realizada para Florianópolis – SC, com o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*). Ao final do exercício, os alunos entregaram o processo de alterações de projeto, baseadas em resultados de simulação, segundo o modelo de relatório (Apêndice C).

No caso deste exercício, os projetos finais não tiveram alterações na volumetria e na disposição dos ambientes. Os Grupos 01 e 03 optaram pela alteração de materiais da fachada, enquanto o Grupo 02 se ateve a análises de radiação em cada fachada, não utilizando de simulações pelo Honeybee. Apenas o Grupo 01 alterou a dimensões relacionadas à volumetria. O Grupo 02 optou por adicionar uma volumetria representativa de vegetação (uma árvore), mas só o fez com auxílio da pesquisadora, uma vez que este mesmo grupo reportou grande dificuldade no exercício devido ao pouco domínio do programa de modelagem. Já o Grupo 03 fez alterações somente relacionadas aos materiais. Os Grupos 01 e 03, que se basearam na simulação do edifício para as alterações, analisou principalmente as temperaturas superficiais e temperatura operativa média anual dos ambientes. O Quadro 6 é uma síntese dos relatórios entregues.

Quadro 6 – Síntese do exercício 2

<b>EXERCÍCIO 2</b>			
<b>Grupo</b>	<b>Parâmetros alterados</b>	<b>Variáveis analisadas</b>	<b>Análise dos resultados</b>
Grupo 01	Material da cobertura, material das paredes, dimensão do pé direito, tamanho das janelas (todas ao mesmo tempo)	Temperaturas superficiais e temperatura operativa média anual dos ambientes	Redução das temperaturas (superficiais e dos ambientes)
Grupo 02	Rotação da edificação em 45 graus, adição de vegetação no entorno	Radiação incidente nas fachadas, horas de sol	Redução da radiação direta incidente nas fachadas (apenas análise do arquivo climático)

Grupo 03	Análise do material default, material da cobertura, material das paredes	Temperaturas superficiais e temperatura operativa média anual dos ambientes	Redução das temperaturas (superficiais e dos ambientes)
----------	--	---	---

Fonte: Autora (2019)

#### 4.1.3.3 *Questionário final*

Ao fim do exercício, aplicou-se um questionário de satisfação com o exercício proposto na disciplina, apresentado no Apêndice D. Além de servir como um *feedback* das aulas apresentadas, compreende-se o entendimento do programa e o impacto que esta experiência pode ter ao projetar futuramente e suas dificuldades de modo geral.

De 8 alunos da disciplina, 6 responderam ao questionário. Destes, todos avaliaram a aula de revisão de conceitos tanto de arquitetura bioclimática quanto de propriedades de materiais como “muito importante” ou “satisfatório” para todos os fatores questionados: o entendimento dos termos apresentados, importância da aula para o exercício final e importância para projetar futuramente. No caso da aula teórica, que apresentou os conceitos de simulações termo-energéticas, apenas um estudante reportou como “pouco” para os itens “entendimento dos termos apresentados” e “importância para projetar futuramente”, ou seja, o restante dos alunos classificou esta aula expositiva como “satisfatória” ou “muito”. Segundo as respostas do questionário, 3 alunos reportaram que sempre consideravam parâmetros bioclimáticos ao projetar, 2 alunos às vezes e um reportou nunca considerar. Em contrapartida, todos os 6 alunos pretendem refletir sobre estes parâmetros a partir desta experiência.

Em relação à simulação, todos consideraram a configuração da simulação complicada como o único motivo para não considerar futuramente. Ainda assim, 3 deles reportaram o tempo de simulação razoável/bom, 3 possuem interesse no conteúdo que esta gera, e 4 julgaram os resultados de fácil compreensão. Destes, ainda, apenas um considera a simulação para futuro embasamento de projeto, e outro não pretende implementar simulação futuramente.

#### 4.1.3.4 *Conclusões sobre o experimento*

Avaliando a oficina de forma geral, alguns pontos em relação à experiência são importantes de se ressaltar. Primeiramente, o número de estudantes não gerou expressividade e variação para uma análise aprofundada. Em contrapartida, o número reduzido de estudantes

possibilitou melhor acompanhamento dos exercícios e, conseqüentemente, melhor análise do interesse destes com o estudo realizada. Dentre os 8 estudantes, notou-se grande interesse em apenas 3 deles, e o restante teve dificuldades com o programa. Além disso, o tempo disponível para apresentar o conteúdo foi julgado como suficiente, porém, seria necessário exigir que os alunos mantivessem os experimentos fora da aula, a fim de se ter maiores resultados e maiores testes das alterações desejadas. Outro ponto foi o tempo despendido para a instalação dos programas, que foi solicitado externamente às horas de aula mas que gerou problemas aos estudantes. Além disso, houve grande espaçamento entre as aulas devido a feriados e cancelamentos de aula, o que distanciou aulas teóricas de práticas.

Por fim, as principais conclusões desse exercício são em relação à melhoria do método adotado. Notou-se necessidade do aprimoramento do arquivo padrão do exercício em alguns fatores, como a volumetria, que já possuía muitas definições internas e ambientes consolidados resultou em pouca flexibilidade de trabalho, visto que o programa de modelagem fora recém apresentado; segundo, a desconsideração do entorno do projeto, fator importante ao traçar diretrizes bioclimáticas e que impactam os resultados de desempenho térmico da edificação. Como mostrado anteriormente, não houve alteração nas dimensões dos ambientes e, conseqüentemente, na sua área e forma. Os pontos positivos dessa experiência contaram com a percepção do interesse de alguns alunos em levar esta experiência adiante no seu processo de projeto, bem como a utilização do material de apoio fornecido.

#### 4.2 CONSIDERAÇÕES ETAPA 1

A partir dos três levantamentos, realizou-se melhorias e alterações no ensino de simulação termo-energética para estudantes de arquitetura. Segundo a análise de programas, o escolhido para a implementação, respeitando os critérios traçados no início da pesquisa, é o Rhinoceros e Grasshopper com simulações por meio do Honeybee e Ladybug. Ao relacionar este resultado com as análises de respostas obtidas pelo questionário sobre o processo projetual de arquitetos, a maioria dos critérios vão ao encontro com a tecnologia do programa escolhido, como: o programa de simulação estar inserido no ambiente de modelagem; possibilidade de visualização dos dados de modo prático e por diferenciação de cores e gráficos; e possibilitar simulações nas duas fases primordiais de definição de parâmetros da edificação: concepção e estudo preliminar. E contrapartida, nota-se que o programa de modelagem mais amplamente utilizado é o SketchUp, enquanto que o Rhinoceros fica muito distante ao se comparar

popularidades. Todavia, opta-se por utilizar do programa que supriu mais lacunas traçadas inicialmente na pesquisa. Conseqüentemente, o método de ensino de simulação deve, também, considerar o ensino do programa de modelagem em questão, partindo do pressuposto de que os alunos não possuem conhecimento e experiência suficiente com este.

No que diz respeito aos resultados do questionário, a conceituação das fases de projeto fica mais clara para comparar e inserir simulações. Pode-se relacionar as definições conceituais, volumétricas e de massa à concepção, enquanto que estudos de definições importantes de dimensões ao estudo preliminar. Desta forma, a proposta de fluxo de trabalho com implementação de estudos de desempenho parte da análise de definição de parâmetros segundo essas etapas, e relaciona-os com dados de entrada em simulações.

Considerando a fase de concepção como determinante para a definição de áreas expostas ao exterior, seja de paredes, coberturas, solo e orientações, não se descartam as análises por meio de simulações termo-energéticas. Observando que há pouco ou nenhum conhecimento sobre as influências do clima na edificação projetada, o entendimento de fluxo de calor nas superfícies, ou mesmo de exposição à radiação ou à disponibilidade de ventos do determinado local, atentando sempre para o entorno inserido, podem guiar as decisões de projeto ainda nesta fase. Retomando a análise de programas, o Grasshopper além de possibilitar a simulação por meio do Honeybee, o pacote de ferramentas Ladybug possui a ferramenta Ladybug com análises externas e do arquivo climático, podendo já facilitar traçar diretrizes de projeto no mesmo ambiente de desenvolvimento, e ainda, a partir de análises mais concretas e considerando diferentes fatores do clima.

Já no estudo preliminar, estas diretrizes podem ser refinadas e efetivadas por meio da simulação. É a partir da diferenciação dos resultados de uma simulação para a outra, com a constante alteração de parâmetros, que se pode chegar a resultados mais próximos do ideal para aquele contexto. Além disso, pode-se perceber quais diretrizes são as mais efetivas, uma vez que, sem respostas de simulações, pode-se acreditar que determinado parâmetro tem mais influência que outro no desempenho final da edificação, mas não condizer com a realidade. Isso se comprova nos trabalhos apresentados no experimento piloto, em que estudantes trocaram materiais de isolamento por materiais de inércia térmica (considerando ser a mesma propriedade) ou sombreavam fachadas sem exposição ao sol, mesmo após a aula teórica de revisão sobre o tema.

Como analisado anteriormente, os entrevistados optaram por receber resultados de simulação no estudo preliminar, se comparado com as outras etapas, de forma geral. Assim,

sugerem-se pequenas análises de sensibilidade nesta etapa, a fim de guiar o projetista nas suas escolhas de projeto a partir de um parâmetro final de análise. Volta-se novamente para o resultado do questionário no qual os entrevistados optam por receber uma resposta do programa, ainda que o resultado seja de fácil análise e como escolhido: acredita-se que parte desta insegurança possa ser suprida quando este passar a analisar parâmetro por parâmetro e, assim, aprender a influência de cada diretriz de projeto.

Por último, propõe-se uma simulação mais detalhada, precisa e crítica no anteprojeto, como já seriam realizadas atualmente por um simulador profissional. Não se espera que os projetistas adquiram conhecimento avançado sobre as simulações pois não é necessário, visto que este é um tema denso, logo, a presença de um simulador para este detalhamento é imprescindível para ajustes no desempenho térmico final da edificação projetada. Ajustes finais e precisos em relação ao projeto já consolidado, seja ainda de materiais, seja já de instalações, podem ser realizados nesta etapa e considerando a composição da edificação muito mais adequada.

Acredita-se que, mesmo com as definições de materiais e cores tendo maior relevância no estudo preliminar, como se vê nos resultados do questionário aplicado, é imprescindível considerá-los em todo o processo. Desde as análises de desempenho na fase de concepção, tendo em vista que estes fatores são de grande influência nas trocas térmicas entre o meio externo e interno, além de serem primordiais para a análise da influência das superfícies. No estudo preliminar, os materiais e cores continuam tendo grande influência nos resultados, mesmo que ainda não definidos, uma vez que os testes de dimensões considerando materiais diferentes (de janelas, coberturas e paredes) pode gerar um resultado final diferente para cada caso, e assim, a adequação se dá de forma mais livre.

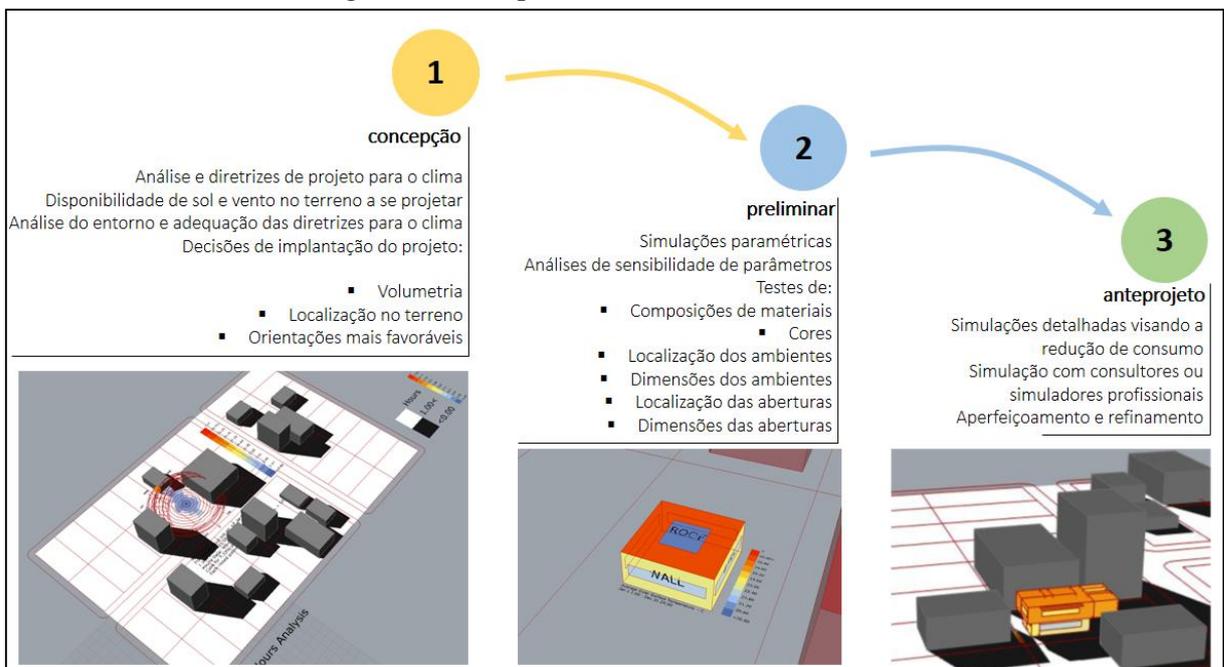
Em relação ao arquivo padrão de exercício, nota-se que há a necessidade de dar mais opções de parâmetros de saída da simulação para a análise. Destacou-se o maior interesse por resultados de temperatura interna e carga térmica da edificação, mas acredita-se também que novos parâmetros, antes desconhecidos ou que não se sabia analisar, podem entrar no escopo do projetista e podem ser assimilados juntamente com estes já conhecidos, e assim, criar a relação de análises mais amplas. Deve-se considerar, também, a dificuldade de assimilar o funcionamento do programa de modelagem e, assim, inexperiência para realizar essas alterações ou adições no arquivo. Junto a isso, a edificação inicial tendo uma complexidade maior de relações entre ambientes interferiu no aprendizado. Além disso, é necessário considerar um entorno do projeto para que as diretrizes iniciais do clima sejam traçadas, mas

novamente repensadas segundo sua disponibilidade, além de ser um fator importantíssimo na fase de concepção, como considerado pela grande maioria dos arquitetos entrevistados pelo questionário. Conclui-se que o arquivo padrão deva ser aperfeiçoado segundo estes critérios para que a experiência possa ser mais fluida e dinâmica.

Importante notar, também, que o tempo de aulas deveria ser maior, assim como o tempo de experimentação com exercícios de simulação. Além disso, o aprendizado de parâmetros do clima, de materiais e do desempenho da edificação deveria estar atrelados ao ensino de forma mais densa, e considerar estas simulações como a aplicação e constatação deste aprendizado.

Considerando as relações entre as diferentes fases de projeto e as suas definições de parâmetros, a Figura 12 resume a proposta de estrutura de trabalho. As alterações em relação ao método elaborado para o estudo piloto dizem respeito à: consideração de um processo de projeto, mais simples, mas com aumento no nível de detalhamento conforme o exercício é realizado; aumento nas variáveis que podem ser analisadas e ajustadas, tanto de entrada (edificação) quanto de saída (conforto, carga térmica) da simulação; e maior período de aula para cada caso, e mais tempo para o desenvolvimento do exercício principal.

Figura 12 – Proposta de estrutura de trabalho.



Fonte: Autora (2019)

### 4.3 ETAPA 2: EXPERIMENTAÇÃO

Tendo em vista os resultados anteriores, esta etapa consiste na experimentação do método de ensino de simulação para estudantes de arquitetura e arquitetos, seguindo as premissas traçadas ao fim da Etapa 1. O primeiro experimento apresenta o teste em alunos da graduação, visando compreender o seu processo de alterações de projeto ao considerar os resultados de simulação, bem como o conhecimento dos termos e variáveis utilizados. O segundo analisa a mesma experiência com arquitetos, buscando compreender possíveis diferenças nesse processo considerando o nível de conhecimento e de trabalho dos mesmos. Não obstante, nesta etapa busca-se traçar possíveis diferenças existentes no ensino de estudantes e arquitetos, a fim de refinar ou diferenciar métodos de ensino para cada situação.

#### 4.3.1 1º Experimento – Estudantes de arquitetura

A primeira experiência ocorreu durante a disciplina de Conforto Ambiental – Térmico no segundo semestre de 2019. Esta disciplina é obrigatória para a 4ª fase do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFSC e é lecionada pelo professor Martin G. Ordenes Mizgier. A disciplina contou com 35 alunos, além da estagiária docente Maíra André. Ressalta-se que a disciplina de Introdução à Física do Ambiente Construído é pré-requisito para a aqui abordada, que trata de propriedades físicas dos ambientes, transmitância térmica, inércia térmica, capacidade térmica, entre outros, o que estabelece conhecimento dos estudantes sobre o tema.

O experimento foi desenvolvido durante o primeiro módulo da disciplina, sendo um terço do semestre. Foram 5 aulas específicas de simulação, teóricas e práticas, e o restante agregando o assunto original da disciplina: variáveis e modelos de conforto térmico, estratégias bioclimáticas, termo-regulação, sensação térmica e adaptação ao meio. Com o embasamento teórico que a disciplina proporcionou, pôde-se esperar o conhecimento necessário para a proposta do experimento. É importante ressaltar que dados de entrada e de saída de simulação, informações sobre arquivo climático e carga térmica, que não tratados na disciplina anteriormente, foram incorporadas por meio da aula teórica de simulação.

Tendo em vista o número de alunos (35) na disciplina e a dificuldade de trabalhos individuais abordados já no estudo piloto da presente pesquisa, considerou-se o desenvolvimento do trabalho em duplas, totalizando 16 duplas e um trio. Para que não houvesse interferência entre trabalhos, considerou-se a implementação de climas distintos entre os

grupos, de modo que estes podem comparar seus resultados de cidades diversas ao apresentá-los. Não obstante, foram distribuídos terrenos com entornos e situações diferentes entre os grupos que possuíam o mesmo clima, novamente a título de comparação futura de resultados para os alunos. Além disso, a comparação final entre processos de alteração de projeto segundo climas distintos poderia revelar resultados interessantes.

A escolha das cidades se baseou em quatro fatores principais:

- i. A existência de arquivo climático TMY (*Typical Meteorological Year*), pois este tipo permite a melhor visualização dos resultados no programa.
- ii. Cidades fora do Brasil localizadas em climas diferentes da classificação de Köppen-Geiger e da ASHRAE 169-2013.
- iii. Cidades brasileiras localizadas em climas similares às cidades internacionais já selecionadas.
- iv. Por último, as cidades brasileiras devem estar localizadas em grupos climáticos (CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2017) e zonas bioclimáticas distintas (NBR15220, 2003).

As cidades consideradas para os exercícios, suas classificações em relação ao clima e a distribuição dos grupos de trabalho são apresentadas no Quadro 7. Formaram-se no total 17 grupos de trabalho e 10 cidades escolhidas. Destas, 7 cidades tiveram dois grupos de trabalho enquanto três destas tiveram apenas um grupo de trabalho. Cada grupo escolheu sua cidade a partir da lista apresentada.

Quadro 7 – Classificação dos climas e cidades propostas e o grupo de trabalho.

CLIMAS E CIDADES					
ASHRAE 169-2013	Classificação de Köppen-Geiger	Cidade	País	Classificação brasileira	Grupo de trabalho
<b>CZ 0A</b> <i>extremely hot humid</i>	<b>Am</b> clima monçônico	Mumbai	Índia	X	Grupo 01 e grupo 02
<b>CZ 0A</b> <i>extremely hot humid</i>	<b>Af</b> clima equatorial	Singapura	Singapura	X	Grupo 03 e grupo 04
<b>CZ 2A</b> <i>hot humid</i>	<b>Aw</b> clima savânico	Brasília	Brasil	Zona Bioclimática 5 Grupo climático 10	Grupo 05 e grupo 06
<b>CZ 1A</b> <i>very hot humid</i>	<b>BSh</b> clima semiárido quente	Petrolina	Brasil	Zona Bioclimática 7 Grupo climático 22	Grupo 07 e grupo 08
<b>CZ 2B</b> <i>hot dry</i>	<b>BWh</b> clima desértico quente	Cairo	Egito	X	Grupo 09 e grupo 10

<b>CZ 2A</b> <i>hot humid</i>	<b>Cfa</b> clima subtropical úmido	Maringá	Brasil	Zona Bioclimática 1 Grupo climático 14	Grupo 11
<b>CZ 3A</b> <i>warm humid</i>	<b>Cfb</b> clima oceânico temperado	Melbourne	Austrália	X	Grupo 12
<b>CZ 5A</b> <i>cool humid</i>	<b>Cfb</b> clima oceânico temperado	Varsóvia	Polônia	X	Grupo 13 e grupo 14
<b>CZ 5A</b> <i>cool humid</i>	<b>Dfa</b> clima continental úmido de verão quente	Chicago	Estados Unidos	X	Grupo 15 e grupo 16
<b>CZ 7</b> <i>very cold</i>	<b>ET</b> clima de tundra	Egilsstadir	Islândia	X	Grupo 17

Fonte: Autora (2020)

Enfatiza-se que os trabalhos realizados possuem três fases de desenvolvimento. A primeira consiste no estudo do clima e de suas variáveis (temperatura, umidade, pluviometria, velocidade e disponibilidade do vento, radiação solar e estratégias bioclimáticas). A segunda trata da readequação do estudo do clima e das estratégias bioclimáticas ao terreno e ao entorno. Por último, as melhorias realizadas na edificação de acordo com os estudos anteriores e a partir dos resultados obtidos por simulação.

#### 4.3.1.1 Análise geral dos grupos

A fim de encontrar padrões nas decisões de projeto e analisar de forma ampla os resultados obtidos pelo exercício, dividiu-se os grupos em três agrupamentos distintos: 1, 2 e 3. O agrupamento 1 consiste nos grupos que realizaram os trabalhos mais completos, desde os estudos do clima, a adequação ao terreno e as análises de simulação. Neste percebeu-se o entendimento de todas as variáveis durante o desenvolvimento do trabalho. Ao contrário do agrupamento 1, no agrupamento 3 notou-se pouco desenvolvimento de trabalho, desde as análises do clima, muitas vezes sem compreensão de índices de temperatura, umidade entre outros, até o exercício de simulação. Ou seja, neste conjunto de grupos os resultados foram fracos. Já o agrupamento 2 consistiu no nível intermediário entre os estes dois, no qual alguns parâmetros foram bem apresentados e percebeu-se boa compreensão, enquanto que outros não. Por isso, este possui trabalhos mais diversos, visto que em alguns casos os erros de análise estiveram presentes na primeira etapa, que abordava o clima, mas não nas etapas seguintes,

enquanto que outros tiveram a primeira etapa bem consolidada, mas os exercícios de simulação não foram satisfatórios.

O Quadro 8 representa o resumo das partes 2 e 3 dos trabalhos, na qual a parte 2 (análise do terreno) avalia a análise de disponibilidade de sol e de vento nos terrenos, realizadas diretamente no arquivo base de exercício por meio do programa Ladybug, com análises da carta solar e da rosa dos ventos aliado à readequação das estratégias bioclimáticas. Já a parte 3 do trabalho, de alterações de projeto por meio de *outputs* de simulação, verifica quais resultados de simulação foram utilizados pelo grupo para realizar as alterações de projeto. A cor verde representa a utilização ou uma análise completa, enquanto que a cor vermelha representa a inexistência de análise de determinado fator. O amarelo representa a análise incompleta ou errônea daquele parâmetro. Além disso, analisa-se quantos grupos utilizaram destes parâmetros isoladamente durante a execução do exercício, apresentada na última linha do quadro.

Reforça-se, como apresentado no método, que todos os outputs estavam disponíveis no arquivo base de simulação utilizado para o teste. Além disso, as análises estavam com configurações prontas para serem realizadas tanto anualmente, quanto por diversos períodos específicos (por estações, mensais, diárias para os solstícios e equinócios, além da possibilidade de ajuste de todas estas para outro período desejado). Em todos estes casos apontados, os alunos tiveram a escolha de qual parâmetros analisar, em quais períodos. Assim, estas escolhas também definiram os agrupamentos, apresentados a seguir, e utilizados para a análise desta pesquisa.



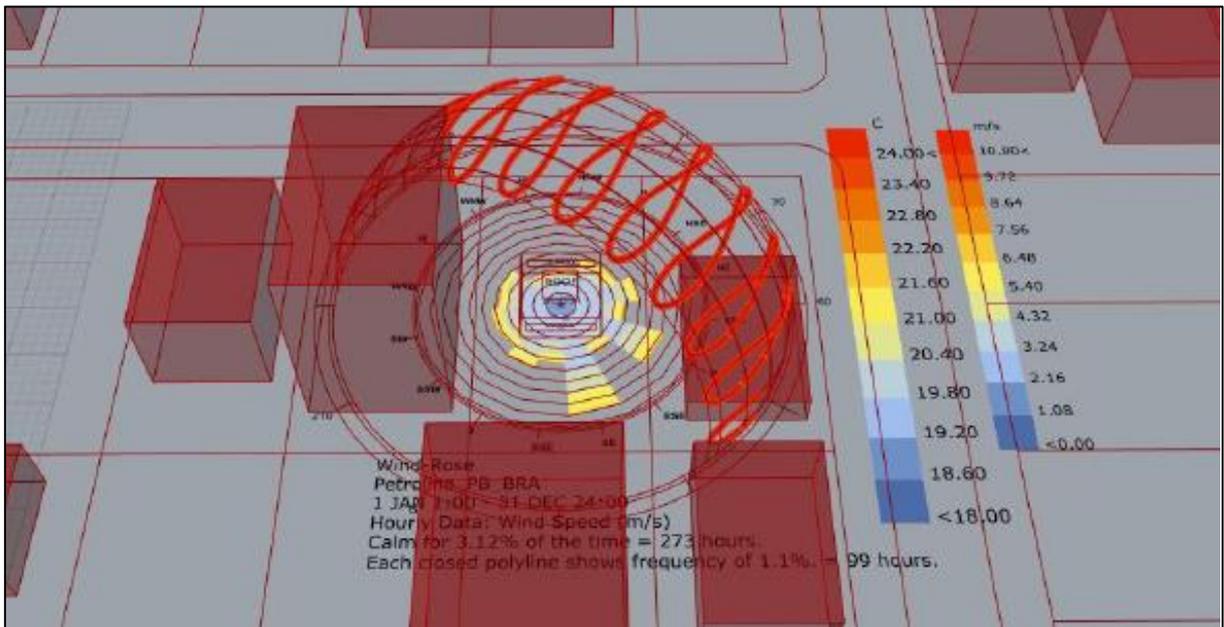
#### 4.3.1.2 Análise de grupos específicos

Tendo em vista os apontamentos anteriores, foram escolhidos sete trabalhos para realizar as análises do processo de projeto neste capítulo. Estes foram escolhidos a partir dos agrupamentos 1 e 2 que obtivessem análises de carga térmica inicial e final (refrigeração e/ou aquecimento) bem como do percentual de horas em conforto pelo método adaptativo. O Grupo 06, presente no agrupamento 1, não foi considerado para esta etapa devido às suas melhorias serem voltadas para a amplitude térmica diária e não ter realizado análises globais de carga térmica e conforto adaptativo.

É importante destacar os grupos 06, 07 e 15. O Grupo 06 estudou a cidade de Brasília, e devido à sua análise do clima e disponibilidade de sol, vento e adequação de estratégias bioclimáticas, suas análises diferenciaram-se dos demais. Uma vez que estes adotaram a premissa de que o grande problema da edificação seria a alta amplitude térmica diária, suas análises e alterações consistiram em certificar-se que para dia e noite a edificação se comportasse de forma adequada e sem grandes oscilações de temperatura. Isso porque não consideraram os seus resultados iniciais de carga térmica e horas de conforto não tão preocupantes. Já os grupos 07 e 15 não realizaram boas análises do clima das suas respectivas cidades de estudo, e ainda, a adequação da edificação no terreno não foi satisfatória. Porém, os dois grupos realizaram alterações de projeto interessantes e alcançaram melhorias significativas na edificação. No geral, nota-se que mesmo com climas tão diversos, nenhum grupo se viu prejudicado na análise da edificação por este fator, considerando que o agrupamento 1 possui ao menos um dos climas, com exceção de Chicago.

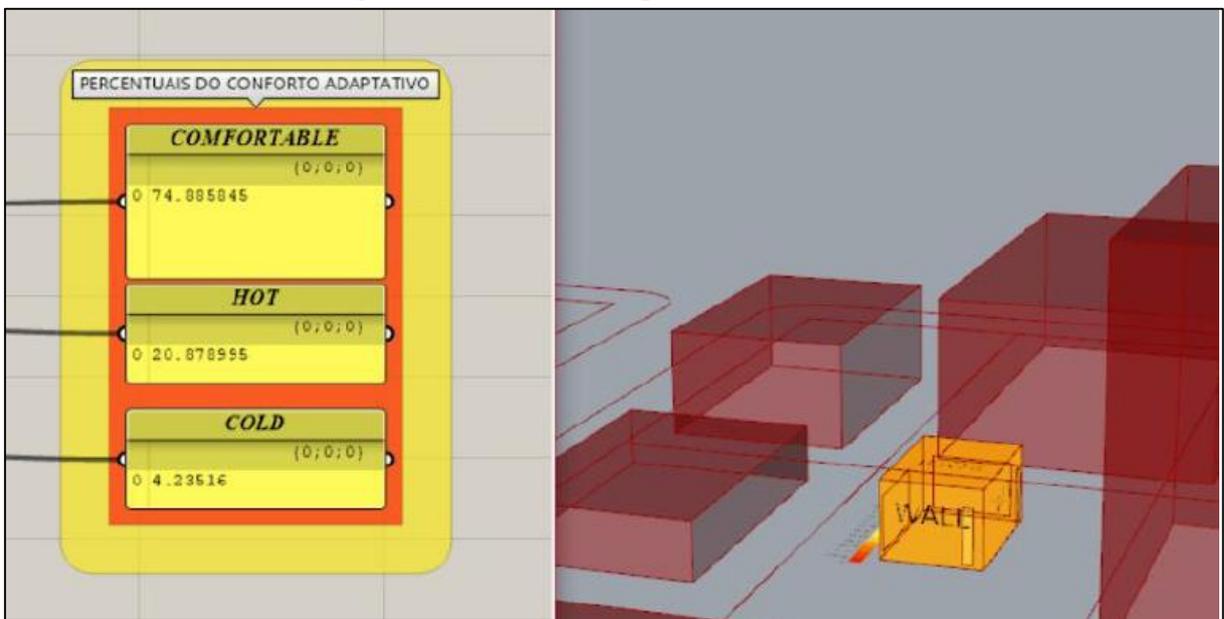
Em geral, os grupos com boa análise e adequação do clima, como mostrado na Figura 13, conseguiram chegar em bom desenvolvimento e boas análises de *outputs* de simulação. Esta figura representa a parte gráfica do caminho e temperatura do sol por períodos escolhidos, bem como direções, velocidades e frequência do vento apresentada pelo programa, com as quais os estudantes puderam realizar suas análises de adequação da edificação. Já a Figura 14 representa a terceira parte do trabalho, a visualização final dos resultados de simulação termo-energética. Enfatiza-se que o percentual de conforto adaptativo da edificação foi o mais utilizado dentre os grupos, como mostrado na Figura 14, sendo unânime entre os trabalhos de melhor resultado. É importante ressaltar que estes grupos obtiveram boas melhorias no conforto adaptativo também considerando a melhoria nos indicadores de carga térmica de resfriamento e aquecimento da edificação.

Figura 13 – Análises da parte 2 do trabalho.



Fonte: Resultados do Grupo 08 (2019)

Figura 14 – Análises da parte 3 do trabalho.



Fonte: Resultados do Grupo 08 (2019)

A análise de temperaturas superficiais serviu de suporte para a tomada de decisões em casos em que o clima estava próximo dos extremos, como nas cidades de Mumbai (Grupo 01) e Egilsstadir (Grupo 17). Já as análises de temperatura operativa não trouxe grandes resultados aos grupo, uma vez que fora considerada a média anual e não foi possível ver diferença significativa ao longo de cada alteração em determinados casos. Não somente a temperatura

operativa, mas o cálculo e a análise do PMV também se deu de forma errônea em alguns casos, novamente ao considerar o resultado de grandes períodos. Por fim, o PPD passou a servir como reafirmação dos resultados obtidos pelo percentual de horas em conforto pelo método adaptativo, ainda considerando este como resultado principal para as subsequentes alterações de projeto.

É interessante novamente enfatizar que os climas dentre os grupos escolhidos são diversificados e ainda assim obtiveram resultados interessantes, considerando que alguns climas poderiam favorecer ou desfavorecer determinados trabalhos. Além disso, o aumento de percentual de horas em conforto pelo método adaptativo é relativo ao clima, no qual pode ter a análise inicial já com bom percentual de horas de conforto. O Quadro 9 representa os grupos escolhidos para esta etapa de análise, bem como o resumo dos seus respectivos resultados iniciais e finais para carga térmica e percentual de horas em conforto. No caso da carga térmica, em azul são considerados as cargas térmicas de refrigeração e em vermelho de aquecimento. Apresenta-se também o número de alterações (e consequentemente de simulações) realizados por cada grupo.

Quadro 9 – Comparação de percentual de conforto adaptativo e carga térmica.

ASHRAE	Köppen-Geiger			% conforto adaptativo inicial	% conforto adaptativo final	Aumento no % do adaptativo	Carga térmica inicial (kWh/m <sup>2</sup> ano)	Carga térmica final (kWh/m <sup>2</sup> ano)	Redução de carga térmica (kWh/m <sup>2</sup> ano)	Número de alterações
<b>CZ 0A</b>	<b>Am</b>	Mumbai	Grupo 01	62.00%	87.00%	25.00%	90	109	19	17
<b>CZ 1A</b>	<b>Bsh</b>	Petrolina	Grupo 07	57.00%	97.00%	40.00%	374	247	-127	5
<b>CZ 2B</b>	<b>Bsh</b>	Petrolina	Grupo 08	57.20%	80.30%	23.10%	299	64	-235	5
<b>CZ 1A</b>	<b>BWh</b>	Cairo	Grupo 09	20.00%	83.00%	63.00%	160	49	-111	5
<b>CZ 5A</b>	<b>Cfb</b>	Varsóvia	Grupo 13	12.25%	50.98%	38.73%	400	140	-260	6
<b>CZ 5A</b>	<b>Dfa</b>	Chicago	Grupo 15	21.95%	78.51%	56.56%	354	5	-349	4
<b>CZ 7</b>	<b>ET</b>	Egilsstadir	Grupo 17	3.47%	46.00%	42.53%	590	35	-555	3

Fonte: Autora (2020)

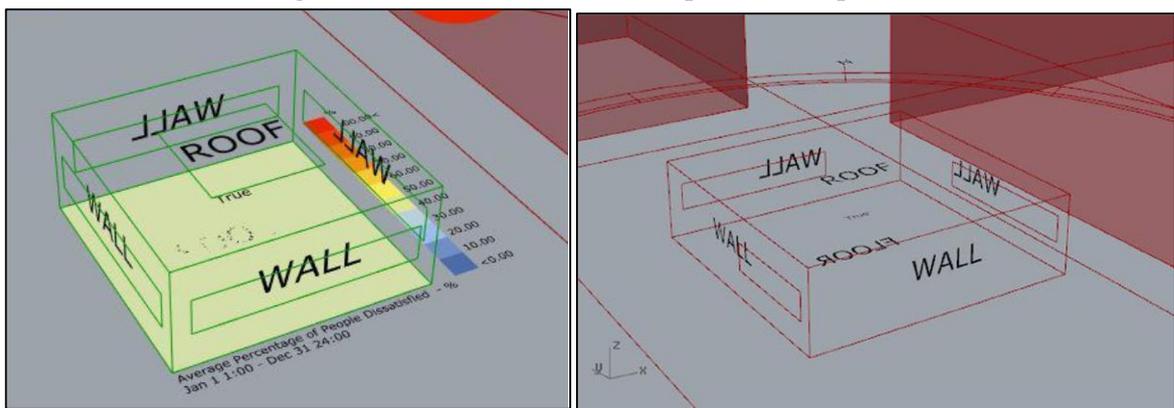
Vale ressaltar que destes grupos, os grupos 13 e 15 também obtiveram carga térmica para refrigeração da edificação, mas que não foram tão significantes quanto os de aquecimento devido ao seu clima. As cargas térmicas iniciais dos grupos 09, 15 e 17, a escala presente no arquivo base (que tinha a máxima de 50kWh/m<sup>2</sup>) não foi alterada pelos estudantes, o que fez com que os estudantes não soubessem realmente a sua melhoria até atingir valores menores que 50, que ocorreu em todos estes casos. Com o objetivo de verificar os resultados desta pesquisa,

a pesquisadora realizou novamente as primeiras simulações destes três grupos e adicionou à comparação. Ademais, nota-se que, com exceção do Grupo 01, grande parte dos grupos conseguiu atingir configurações interessantes da edificação com uma média de 5 alterações.

#### 4.3.1.2.1 Grupo 01 – Mumbai

A principal diretriz deste grupo foi a busca pela ventilação natural e aproveitamento do sombreamento pelas edificações vizinhas. Segundo as análises do clima e adequação do terreno, escolheram por alterar o material da cobertura e em próximas alterações também na parede, sem muito efeito. Foi por meio das alterações de material da cobertura, e posteriormente da parede, que concluíram a importância do isolamento na cobertura para esse clima. Suas alterações de projeto iniciaram pela modificação na implantação, seguindo a das aberturas, para então realizar diversas trocas de materiais subsequentes. As demais alterações dizem respeito aos testes de modificação do *setpoint* de refrigeração e de abertura e fechamento de janelas. Foram realizadas, ainda, algumas tentativas pontuais de mudança de materiais e dimensões do ambiente, que não tiveram grande impacto. Ao concluir, ficaram satisfeitas com o resultado, ainda que com carga térmica de resfriamento. Como analisaram nas estratégias bioclimáticas, concluíram que esta seria uma prática inevitável para o clima. A comparação entre a configuração inicial da edificação e o resultado do trabalho é mostrado na Figura 15 a seguir.

Figura 15 – Resultado antes e depois do Grupo 01.



Fonte: Resultados do Grupo 01 (2020)

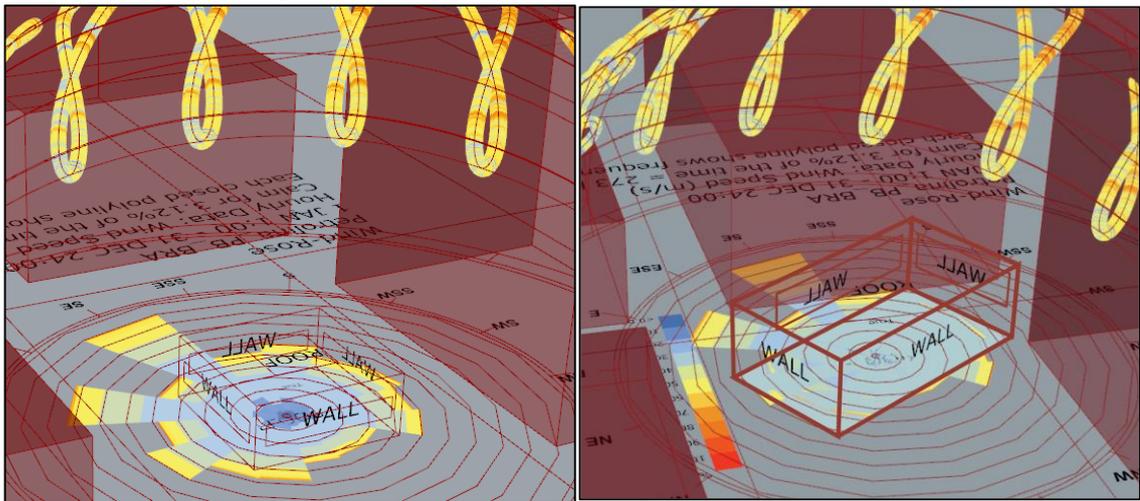
Durante o desenvolvimento do trabalho conseguiram atingir 97% de horas em conforto segundo o método adaptativo, porém, notaram que com isso a carga térmica de resfriamento também aumentou, e optaram por manter a versão com melhor relação entre carga térmica e

conforto. Por fim, obtiveram um aumento de 25% no conforto adaptativo no ambiente interno, porém, também aumentaram a carga térmica final da edificação em 19kWh/m<sup>2</sup>, apesar de serem o grupo com maior número de alterações de projeto, totalizando em 17 simulações.

#### 4.3.1.2.2 Grupo 07 – Petrolina

Dentre todos os trabalhos, esta edificação final foi a mais diferente da condição inicial no que diz respeito ao seu volume e tamanho de janelas. Além disso, foi a que atingiu os valores mais elevados de percentual de horas em conforto pelo método adaptativo, chegando a 97%. Ademais, obteve expressiva redução de carga térmica de resfriamento, cerca de 127 kWh/m<sup>2</sup> do valor inicial. O resultado do trabalho é mostrado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Resultado antes e depois Grupo 07.



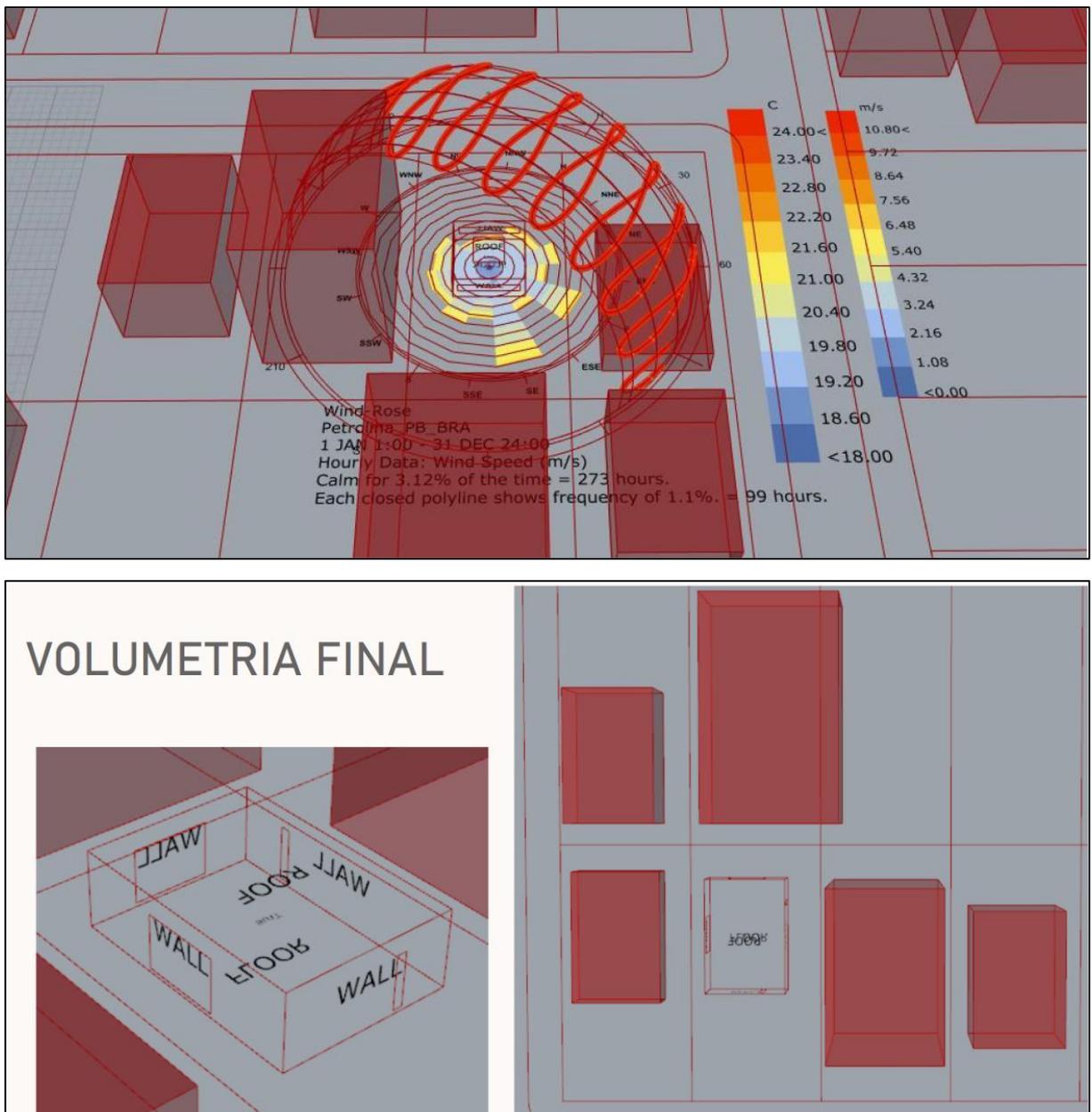
Fonte: Resultados do Grupo 07 (2020)

Assim como os anteriores, este grupo teve enfoque na melhoria da ventilação natural, redução das aberturas sem sombreamento e busca do sombreamento proporcionado pelas edificações vizinhas. Notou grande melhoria na edificação após alterar o material da cobertura, contudo, não era uma diretriz inicial, sua modificação se deu apenas como um teste e acabou um resultado adequado. As alterações se iniciaram pela implantação, seguida pela mudança nas dimensões do ambiente. Após isso, realizaram a modificação de *setpoint* juntamente com a dimensão das janelas, para só então ajustar os materiais da parede edificação e por fim, da cobertura, onde obtiveram melhor resultado.

#### 4.3.1.2.3 Grupo 08 – Petrolina

Já neste caso, o grupo traçou premissas certas desde o início da avaliação do clima e do terreno. O estudo aprofundado do clima e adequação das diretrizes no terreno fez com que em apenas cinco alterações a edificação passasse a ter 80,3% de horas em conforto com apenas 64 kWh/m<sup>2</sup> de carga térmica de resfriamento. O resultado do trabalho apresenta-se na Figura 17 a seguir.

Figura 17 – Resultado antes e depois Grupo 08.



Fonte: Resultados do Grupo 08 (2020)

Assim como os anteriores, priorizou a ventilação natural mantendo aberturas em pelo menos duas fachadas, usufruindo do entorno imediato para alterações na implantação a fim de conseguir sombreamento em grande parte do tempo e, neste caso, modificações no material da cobertura visando a redução da temperatura interna da edificação. Além disso, as alterações realizadas também eram, de alguma forma, justificadas por meio de decisões arquitetônicas, como aberturas em relação aos vizinhos, afastamentos e a própria composição de janelas. Em alguns casos, mesmo atingindo pouca melhoria no percentual de conforto ao alterar algum parâmetro, o mantiveram por fatores estéticos e considerando a espacialidade e a sensação dos usuários no ambiente interno, sendo um dos únicos grupos com análises do tipo.

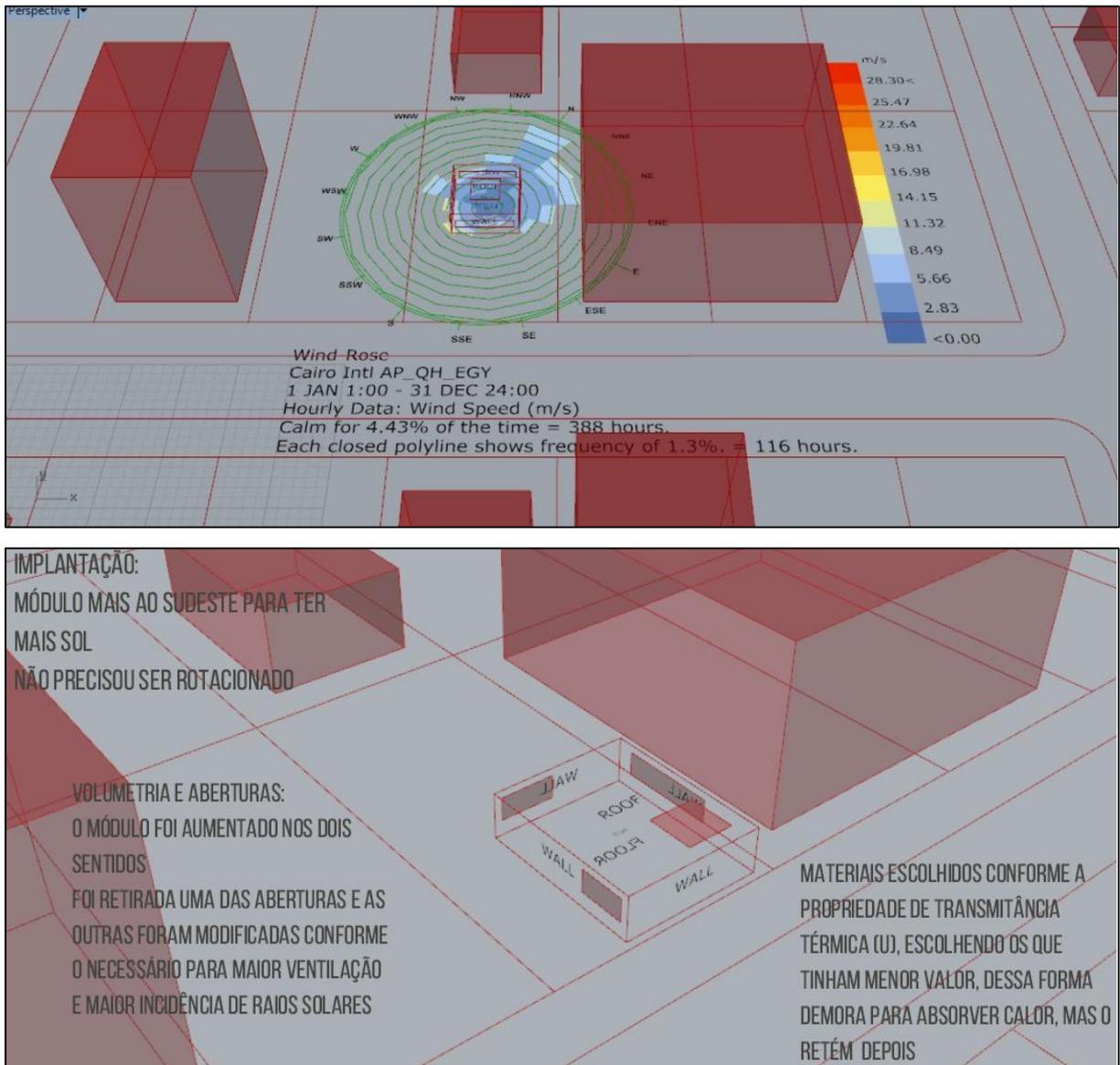
Este processo de alterações diferenciou-se dos anteriores pela sua ordem, considerando que até então só foram trabalhados climas predominantemente quentes. Ainda que a primeira alteração de projeto foi realizada na implantação e na localização das aberturas, advinda da premissa traçada já na análise do terreno, as alterações seguintes a esta foram diretamente nos materiais. A simulação seguinte contou com a alteração no material da cobertura e cor do piso, conforme análises prévias já realizadas considerando a cobertura como o local em que, além de receber muita insolação, também não tinha boa configuração dos materiais e, por isso, obtiveram grande mudança. Seguidamente, no material da parede e do piso. Apenas após modificar os materiais conforme fora concluído, é que as dimensões das aberturas, do pé direito e do ambiente foram realizadas, além de modificação no *setpoint* de refrigeração e fechamento de janelas. Este grupo já apresenta um processo diferente ao apresentado pelos outros grupos e, notavelmente, mais efetivo.

#### 4.3.1.2.4 Grupo 09 – Cairo

Tendo em vista as análises do clima, o grupo acreditou, inicialmente, traçar diretrizes para lidar com o calor e resfriar a edificação. Entretanto, durante o desenvolvimento do trabalho verificaram também a necessidade de tratar a edificação quanto à amplitude térmica, e aproveitando dela para reduzir a carga térmica de resfriamento. Das estratégias traçadas, usufruíram da alteração de material a fim de manter o calor recebido durante o dia e acumulá-lo para a noite para reduzir a amplitude térmica. Por outro lado, utilizaram também das edificações vizinhas para o aproveitamento de sombras e minimizar as horas expostas ao sol, bem como o fechamento e redirecionamento de janelas, também evitando a alta radiação direta. Por fim, este grupo obteve os melhores resultados de melhoria nos valores de conforto térmico

adaptativo, com um aumento de 63% a mais em relação ao inicial. Já a carga térmica final foi reduzida de 160kWh/m<sup>2</sup> para 49kWh/m<sup>2</sup>. O resultado do trabalho é mostrado na Figura 18 a seguir.

Figura 18 – Resultado antes e depois Grupo 09.



Fonte: Resultados do Grupo 09 (2020)

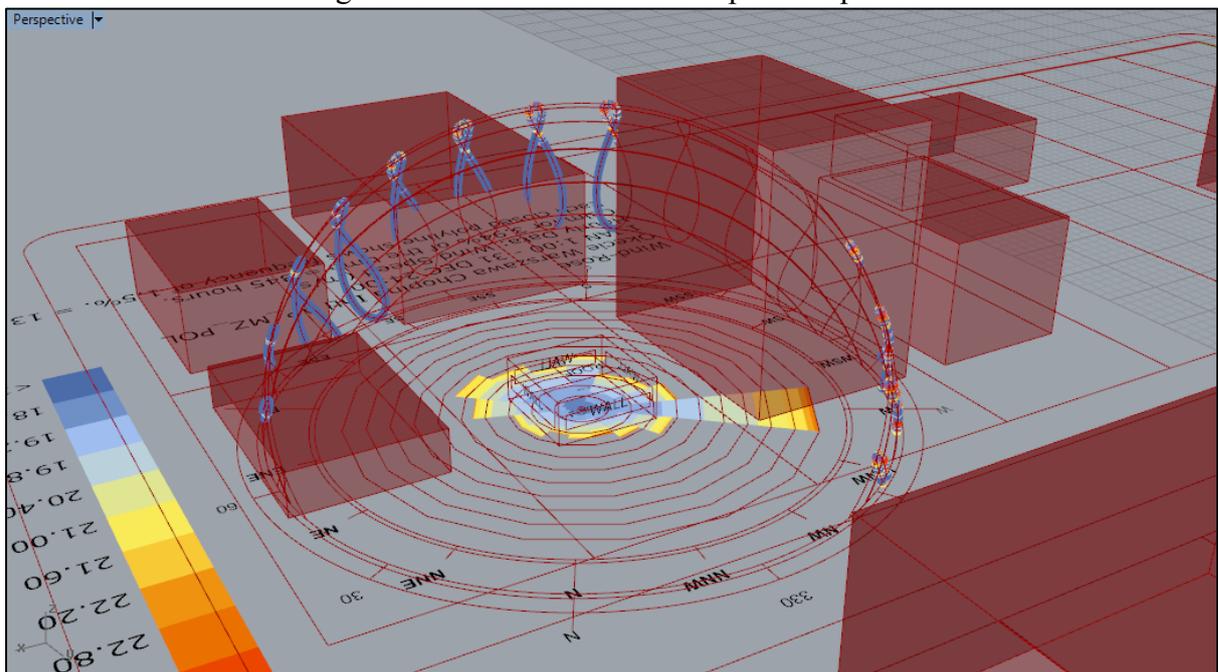
As alterações de projeto iniciaram na implantação e dimensões do ambiente, seguido de mudança de dimensões das aberturas para então realizar troca nos materiais. Visando mais melhorias, o grupo seguiu com subseqüentes modificações nos materiais e em dimensões de aberturas.

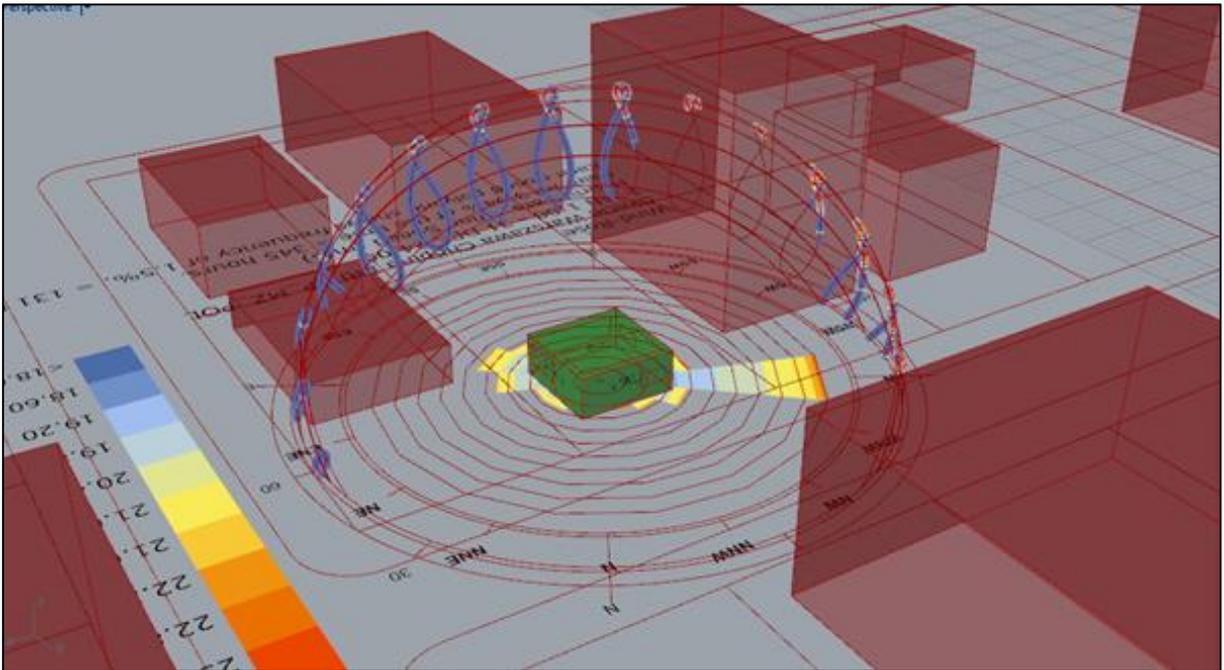
#### 4.3.1.2.5 Grupo 13 – Varsóvia

A partir deste grupo, os trabalhos passaram a avaliar a carga térmica de aquecimento como principal parâmetro nas suas alterações. Ainda que neste caso houvessem determinados períodos em que o sistema de refrigeração ainda seja considerado, o mesmo não teve tanta relevância quanto para aquecimento, sendo apenas 20 kWh/m<sup>2</sup> para refrigeração. Este grupo apresentou a maior redução de carga térmica dentre os grupos (desconsiderando aqueles que não reportaram a medição inicial exata), reduzindo 260 kWh/m<sup>2</sup> para o aquecimento, ao mesmo tempo que aumentou o percentual de horas em conforto de 12,2% para 51%.

Apesar deste clima ser bem diferente do clima do grupo 08, o processo de alterações se deu de forma similar. Neste caso, o grupo buscou a maior entrada de insolação no ambiente, a fim de aquecê-lo passivamente, evitar grandes fluxos de vento, e ainda, usufruir da composição de materiais para manter o calor no ambiente interno. Com isso, as alterações da edificação se iniciaram na implantação visando maior exposição do sol, seguindo diretamente para alterações de materiais isolantes e cor preta na parede, para então alterar no material das janelas (o qual reportaram ser o local de maiores perdas térmicas) e por fim, alterações realizadas no piso e na cobertura. Após os materiais, realizou-se alterações nas dimensões das aberturas e um teste de alteração do *setpoint*. Nota-se aqui o bom proveito ao tirar partido das análises iniciais de clima e de estratégias bioclimáticas. Apresenta-se a configuração final na Figura 19 a seguir.

Figura 19 – Resultado antes e depois Grupo 13.





Fonte: Resultados do Grupo 13 (2020)

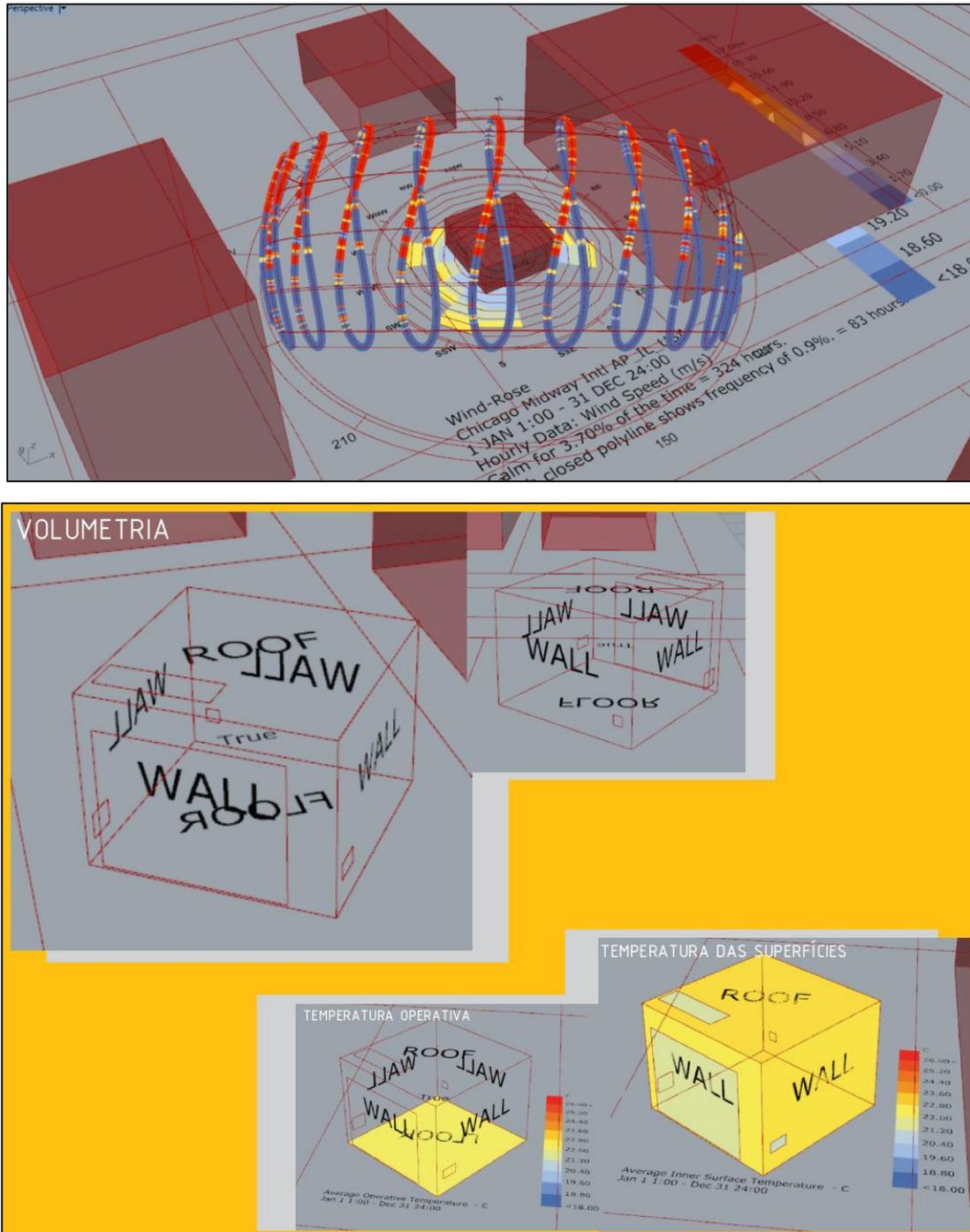
#### 4.3.1.2.6 Grupo 15 – Chicago

Este grupo, apesar de não ter realizado uma pesquisa tão aprofundada e exata sobre o clima, realizou um ótimo trabalho do ponto de vista de análises de simulação. Ainda que os resultados de PMV foram analisados de forma errada, este grupo utilizou dos resultados de temperaturas superficiais para realizar as tomadas de decisões, e dos percentuais de conforto para analisar a efetividade das alterações. Por fim, obtiveram significativo aumento no percentual de conforto, chegando a cerca de 78,5% de horas em conforto e reduzindo carga térmica de aquecimento em 349 kWh/m<sup>2</sup>. Ainda assim, a carga térmica para resfriamento reduziu de 25kWh/m<sup>2</sup> para 10kWh/m<sup>2</sup>. A Figura 20 representa a configuração final.

Apesar de obter um dos menores números de alterações, estas foram importantes e ordenadas de forma que foram eficazes para o clima, assim como o Grupo 08. Diferentemente de todos os outros grupos anteriormente apresentados, este grupo iniciou suas modificações de projeto já com alteração dos materiais de toda a envoltória. A segunda alteração também contou com trocas dos materiais da envoltória, dessa vez com materiais mais isolantes do que em comparação com o primeiro teste, além de também realizar testes com cores. Após a alteração de materiais, decidiram modificar a localização das janelas e as suas dimensões, além de ter realizado alterações em como as janelas abririam, fazendo com que algumas delas abrissem muito pouco ou não abrissem. Além disso, estas janelas estavam voltadas para locais que

permitted to receive radiation during most of the time, creating a kind of greenhouse. In this case, the group decided to keep the zenithal opening, only changing it in the search for greater use of the sun. Like Group 08, they were concerned with the composition of the facade in relation to the volume of the building.

Figura 20 – Resultado antes e depois Grupo 15.

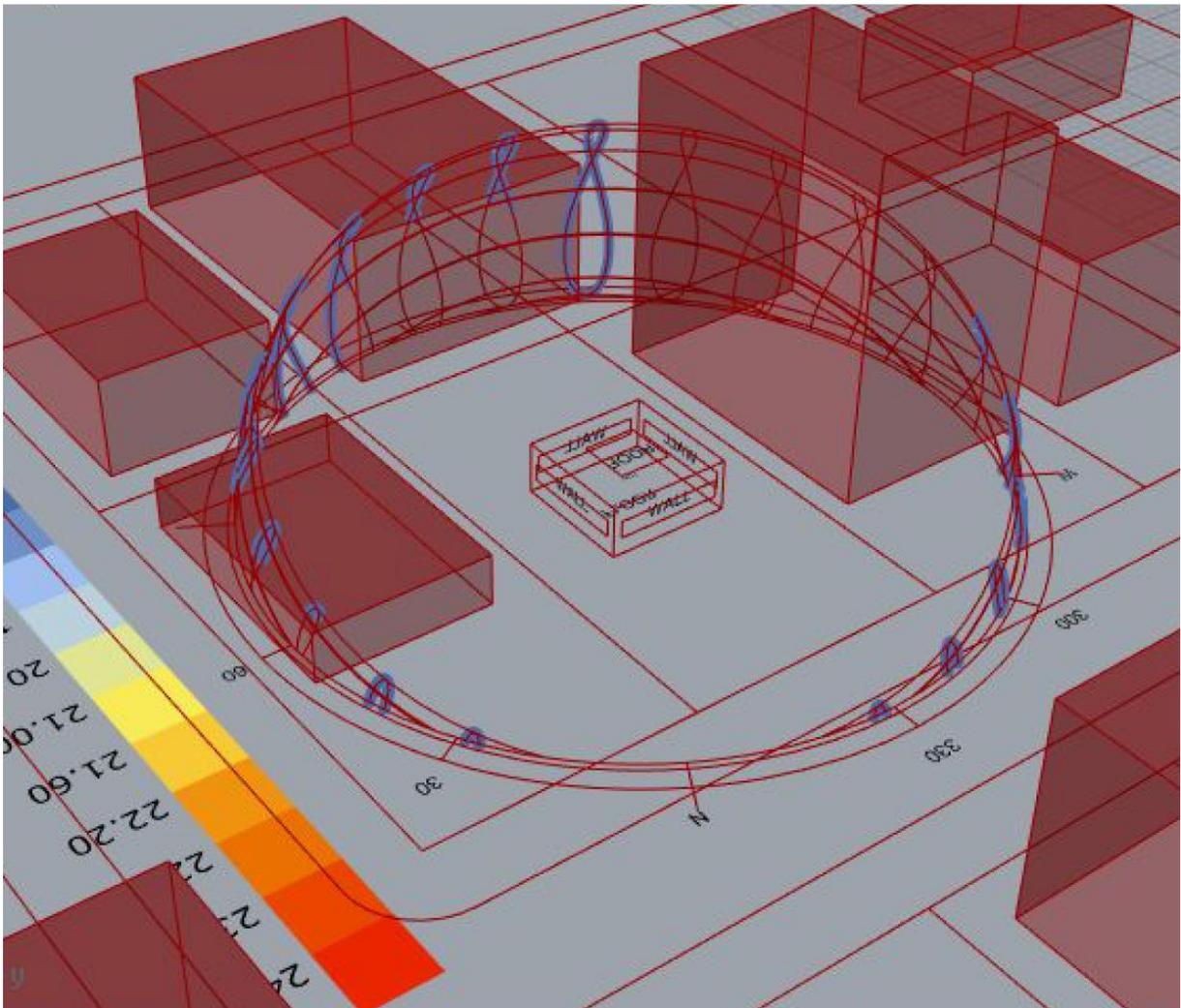


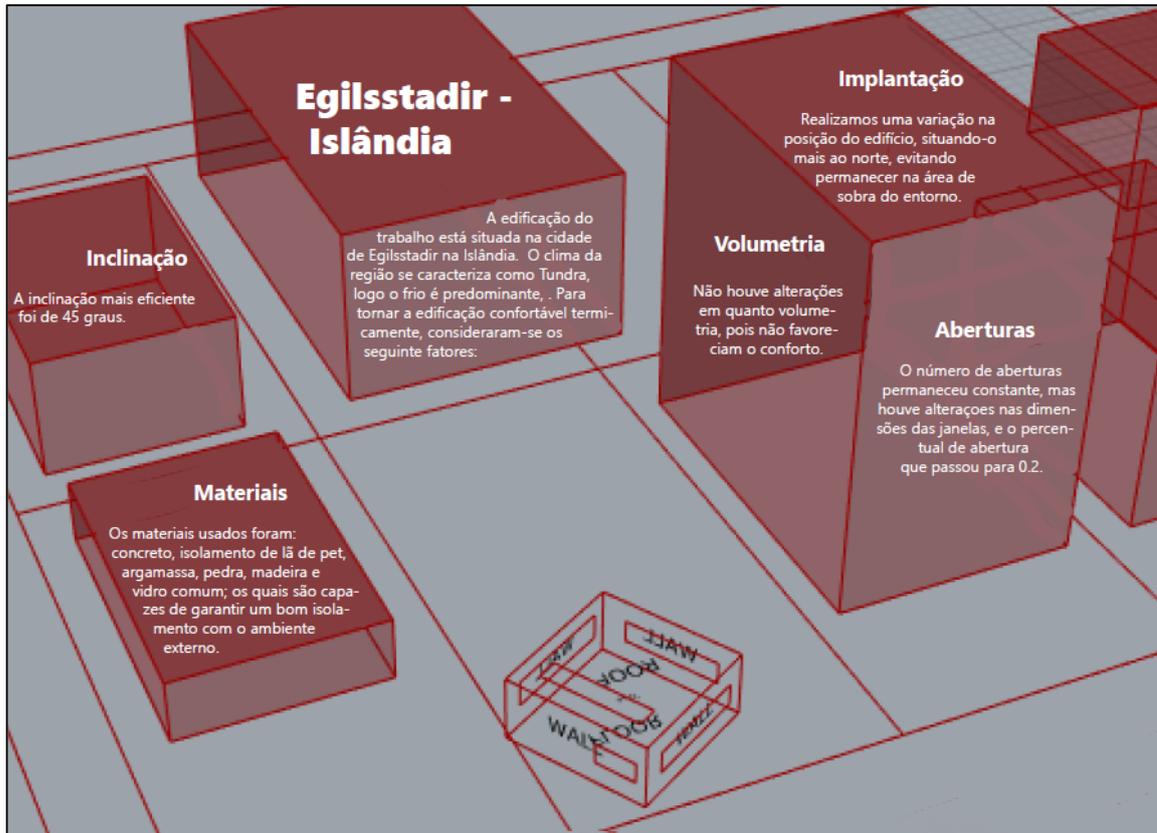
Fonte: Resultados do Grupo 15 (2020)

#### 4.3.1.2.7 Grupo 17 - Egilsstadir

Por último, a cidade localizada no clima mais frio obteve bons resultados com apenas 3 alterações. Ao final do trabalho atingiu 46% de horas em conforto pelo método adaptativo, um percentual bom considerando o clima, que inicialmente obteve o percentual inicial abaixo de 5%. Além disso, atingiu esse percentual com apenas 35kWh/m<sup>2</sup> de carga térmica para aquecimento. Aqui é importante pontuar, porém, que o grupo reportou que, a partir de determinado momento em que modificações no volume e janela não surtiu muitos efeitos, os mesmos consideraram composições de parede e cobertura inviáveis e irrealistas (paredes chegando a quase um metro de espessura ao considerar tanto camadas de isolante quanto de massa) na construção, mas que as mantiveram a título de curiosidade. A Figura 21 representa a configuração final do módulo e sua implantação.

Figura 21 – Resultado antes e depois Grupo 17.





Fonte: Resultados do Grupo 17 (2020)

O grupo realizou, além de análises do clima, pesquisas sobre os materiais e composições construtivas utilizadas nesta cidade e nesse clima. Assim como o grupo anterior, também reduziram o percentual de abertura disponível para a ventilação, e consideraram majoritariamente cores pretas e vidro triplo. Ademais, alteraram o *setpoint* de aquecimento como 14 graus.

Suas modificações de projeto seguiram os mesmos princípios das alterações do grupo anterior, iniciando pelos materiais de toda a edificação, seguindo para mudanças na orientação da edificação, em busca de maior aproveitamento da insolação para o aquecimento passivo e alterações na implantação. Por último, realizaram as modificações nas janelas: material, dimensões e percentual de abertura.

#### 4.3.1.3 Considerações

Com bons resultados nos trabalhos de simulação selecionados anteriormente, analisam-se os processos de alterações de projeto de acordo com o tipo de mudança realizada.

O Quadro 10 a seguir é um resumo dos trabalhos apresentados e cada tipo de alteração foi representado por uma cor para melhor análise. A cor azul retrata qualquer modificação realizada em composições de materiais e cores (paredes, cobertura, piso e aberturas), o amarelo indica alterações nas dimensões da edificação como um todo, como dimensão do ambiente, pé direito e tamanho das aberturas, bem como a colocação ou exclusão de janelas. Por fim, a cor verde traduz qualquer mudança em relação à locação do módulo no terreno, sejam alterações na implantação, na orientação ou na construção de algum tipo de sombreamento.

Assim como os anteriores, o Quadro 10 está organizado no sentido do clima mais quente até o mais frio, em ordem crescente. Para o Grupo 01, que teve o total de 17 alterações, consideraram-se apenas até a sétima, considerando que a partir desta só foram realizados testes de *setpoint* de refrigeração ou pontualmente em dimensão, que não teve grande significância para o resultado final.

Percebe-se a mudança nos padrões de alterações conforme o clima se torna mais frio. O padrão de modificação dos climas mais quentes se inicia com alterações na implantação, depois com alterações na volumetria, para então serem realizadas mudanças nos materiais. Diferente ocorre com climas frios, nos quais têm suas alterações inicialmente realizadas nos materiais de modo geral, seguindo para a busca de maior insolação por mudança na implantação e, por fim, alterações nas dimensões e na volumetria.

Apesar disso, ressalta-se o Grupo 08, que teve alterações mais eficazes segundo o seu clima: grande redução de carga térmica de refrigeração, mantendo grande aumento no percentual de horas em conforto. Destaca-se, aqui, que a sua segunda modificação de projeto foi a de maior melhoria, com a alteração dos materiais da cobertura, conforme já descrito como diretriz em fases anteriores do trabalho.

De modo geral, os grupos obtiveram grande melhoria tanto no percentual de conforto quanto na carga térmica a partir de alguma alteração do material da envoltória. Diversos grupos reportaram esperar mais efetividade nas primeiras alterações (implantação e dimensão de aberturas) enquanto que, na verdade, as alterações de cobertura e de tipos de vidro foram mais relevantes conforme o trabalho se desenvolveu. Outros já tinham essa premissa traçada desde a análise de estratégias bioclimáticas e readequação no terreno, e nesse caso, tiveram maior efetividade.

Em comparação com o Quadro 5, de definição de parâmetros da edificação de acordo com o período no processo de projeto, notam-se algumas diferenças necessárias nas definições destes parâmetros para a efetividade da simulação no processo. Ainda que alterações na

implantação, seguida de alterações na localização e dimensões de ambientes e aberturas estejam entre concepção e estudo preliminar segundo o Quadro 5, itens importantes como materiais e cores, aqui demonstrados importantíssimos nas fases iniciais, são considerados ao final do estudo preliminar e início do anteprojeto.

Quadro 10 – Fluxo de alterações de projeto por grupo.

				alteração 1	alteração 2	alteração 3	alteração 4	alteração 5	alteração 6	alteração 7
<b>CZ 0A</b>	<b>Am</b>	Mumbai	Grupo 01							
<b>CZ 1A</b>	<b>Bsh</b>	Petrolina	Grupo 07							
<b>CZ 1A</b>	<b>Bsh</b>	Petrolina	Grupo 08							
<b>CZ 2B</b>	<b>BWh</b>	Cairo	Grupo 09							
<b>CZ 5A</b>	<b>Cfb</b>	Varsóvia	Grupo 13							
<b>CZ 5A</b>	<b>Dfa</b>	Chicago	Grupo 15							
<b>CZ 7</b>	<b>ET</b>	Egilsstadir	Grupo 17							

Legenda	
material	
dimensões	
implantação	

Fonte: Autora (2020)

Comprova-se aqui o impacto importantíssimo que as análises do clima desde o início do desenvolvimento de projeto, assim como a escolha de materiais e cores já nas fases iniciais. Fica evidente, também, que quanto mais distante o clima a ser projetado seja da sua realidade, mais difícil de se identificar parâmetros mais influentes no projeto, uma vez que o conhecimento (ou desconhecimento) de fatores mais relevantes já está enraizado.

#### 4.3.1.4 Exercício livre

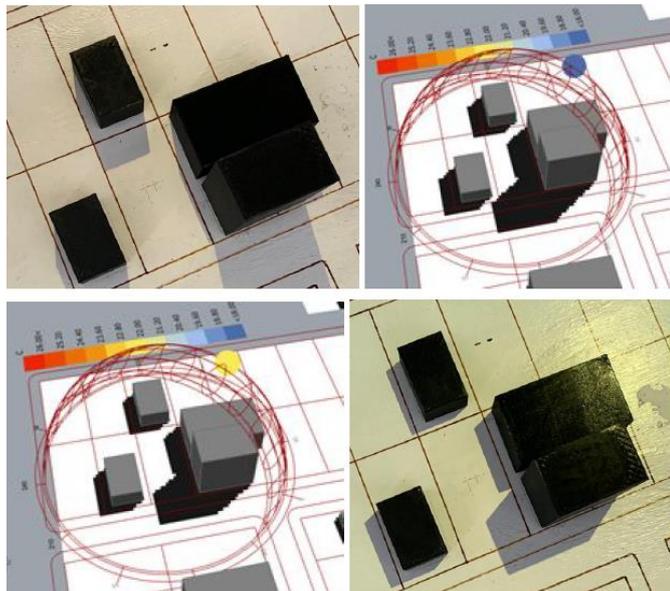
Após o primeiro módulo da disciplina de conforto térmico, no qual o 1º experimento dessa pesquisa foi realizado, propôs-se a continuidade de utilização do programa de simulação no módulo e trabalho subsequente. Reforçou-se o auxílio da pesquisadora para os novos experimentos e, como incentivo, o professor Martin Mizgier propôs um bônus nos trabalhos subsequentes de quem o utilizasse, mas que não seria obrigatório. Para tanto, a pesquisadora

seguiu acompanhando o módulo seguinte, de estudo de insolação. Ao final, dois grupos realizaram o exercício do módulo utilizando brevemente a simulação como guia do projeto.

Neste novo exercício, os estudantes realizaram análises considerando a cidade de Florianópolis-SC e cada grupo recebeu um terreno com situação de vizinhança e orientação de norte diferente dos outros grupos. Neste exercício, apenas dois grupos utilizaram o programa Grasshopper para análises de insolação e temperatura do terreno recebido, com relação ao entorno, e análise de simulação após a proposta. Os grupos foram o 08, que anteriormente estudou a cidade de Petrolina e obteve ótimos resultados, e o grupo 17, que trabalho com o clima mais frio e, ainda assim, realizou diversos testes e obteve também resultados interessantes no exercício anterior.

Porém, a abordagem no presente exercício foi diferente. O grupo 08 realizou análises do terreno baseadas no solarscópico e no SketchUp, e estudou os elementos de sombreamento no programa Solar Tool. Após a consolidação do projeto, passaram a realizar análises no Grasshopper: desde análises de sombreamento e disponibilidade de sol, já com o volume proposto, até análises de temperaturas internas e superficiais por simulação. Já o grupo 17 realizou análises comparativas entre o solarscópico e o Grasshopper. O grupo realizou comparações das posições do sol e traçaram diretrizes ao relacionar a disponibilidade de sol com a temperatura a partir do programa, como mostrado na Figura 22. Após isso, traçaram as diretrizes de implantação, volume, orientação das aberturas e após estas decisões, fizeram análises de simulação, mas sem alterações.

Figura 22 – Segundo trabalho do Grupo 17.



Fonte: Resultados do Grupo 17 (2019)

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES ETAPA 2

Como apresentado no decorrer dos resultados da Etapa 2, alguns pontos ainda dificultam a integração entre as duas áreas. Ressalta-se, aqui, a importância de se ter, pelo menos, um semestre completo para ensino da simulação aplicada ao processo de projeto, tanto pela necessidade de tempo para aulas teóricas, quanto principalmente para o desenvolvimento do conhecimento nas aulas práticas. Além disso, com tempo maior de ensino e aplicação, pode-se vincular os ensinamentos teóricos de cálculo ao posterior experimento realizado por meio de simulação computacional, unindo ambos os métodos. Enfatiza-se, também, a necessidade do processo de projeto ser mais próximo do real, ou seja, que a atividade de alteração de simulação seja, na verdade, parte de um processo projetual maior com outras determinantes de projeto, possibilitada por um experimento realizado durante todo um semestre da graduação.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresenta-se neste capítulo as conclusões e considerações finais obtidas nesta pesquisa. Além disso, apresentam-se as limitações de pesquisa, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar a inserção de simulações termo-energéticas nas alterações iniciais de projeto como método de ensino de variáveis de desempenho de edificações. Para tanto, apresentou-se uma breve análise sobre os programas de simulação existentes que estão integrados a ambientes de modelagem e levantou-se dados sobre o processo de projeto de arquitetos formados. A partir disso, propôs-se um método de ensino de simulações termo-energéticas para estudantes e profissionais na área de arquitetura.

A fim de avaliar a compreensão dos termos técnicos relacionados ao desempenho a partir de testes e análises com simulações termo-energéticas e reportar dificuldades de aplicação de simulações energéticas em fases iniciais de projeto, realizou-se um experimento piloto do método de ensino na busca do seu aperfeiçoamento. A partir destes levantamentos, realizaram-se outros dois experimentos do método de ensino, já alterado, com estudantes de arquitetura e arquitetos.

Para tanto, dividiu-se a pesquisa em duas etapas. Na Etapa 1 levantaram-se os programas de simulação aplicáveis ao processo de projeto, os parâmetros relacionados a este processo, bem como um experimento piloto de ensino de simulação a estudantes de Arquitetura e Urbanismo – UFSC. Na Etapa 2 foram realizados dois experimentos com base nos levantamentos da Etapa 1, aplicados novamente a estudante de Arquitetura e Urbanismo – UFSC e a arquitetos.

A primeira parte possibilitou traçar relações entre simulação e o processo de projeto, bem como compreender o conhecimento dos projetistas sobre o tema. Nota-se que os principais resultados de simulação escolhidos pelos projetistas foram de temperatura operativa do ambiente e carga térmica. Apesar disso, os mesmos reportaram, em sua maioria, não saber como analisar os resultados e ainda, necessitar uma resposta do programa. Além disso, consideraram o carga térmica da edificação como um resultado também interessante, porém, apenas para fases

mais avançadas de projeto. Ademais, resultados relacionados a conforto térmico não tiveram grande importância.

Em contrapartida, a segunda etapa do trabalho mostra pontos contrários a este. A união entre análises de variáveis de conforto e carga térmica do volume proporcionou análises mais interessantes e melhores resultados nesta fase de concepção. Mesmo que sejam resultados com inúmeros dados de entrada padrão, além de incertezas e pouca precisão nos resultados, a sua variação possibilitou o entendimento dos fenômenos que as diretrizes causavam na edificação por meio da variação nos resultados em comparação com a primeira simulação. Já em casos trabalhados com temperatura, a dificuldade em analisar o resultado se deu em por quase todos os grupos, uma vez que eram vistos pela média anual ou mensal e as diretrizes não surtiam muito efeito nessa alteração. Enquanto isso, os resultados em relação ao conforto adaptativo foram mais eficientes.

Outro ponto importante ao comparar as respostas obtidas no questionário e o experimento com os alunos de graduação é a escolha por resultados de simulação como mudança de cores quase unânime. Já no experimento, percebe-se a alteração de cores na volumetria, principalmente de diferenciação de temperaturas superficiais, como um apoio à tomada de decisões, como por exemplo, notar que a cobertura tem temperatura mais elevada e, por isso, em um clima quente, deva ter outro tipo de material ou cor. Porém, os valores absolutos de carga térmica e percentual de horas em conforto possibilitou maior autonomia e confiança nos estudantes sobre suas decisões e sobre reafirmar terem realizado as modificações de forma correta. Percebe-se isto também voltando à analisar a temperatura operativa do ambiente, no caso deste exercício sendo um só, não trazendo grandes reflexões aos estudantes e não sendo um parâmetro palpável para tanto.

Ademais, outro fator importante é a autonomia dos projetistas para tomar a decisão em relação ao conhecimento adquirido. Os entrevistados do questionário reportaram conseguir tomar as decisões sozinhos a partir de um resultado obtido pelo programa, além de não conhecerem diversos termos relacionados à eficiência e ao desempenho térmico de edificações, bem como de conforto. Por outro lado, o experimento com alunos de graduação durante a disciplina de Conforto Térmico mostrou que, a partir dos conhecimentos adquiridos, alterações e ajustes interessantes foram realizados no projeto, reforçando o aprendizado do tema. Além disso, reforça a autonomia que o projetista tem de tomar as decisões de projeto voltadas ao melhor desempenho a partir de simulações, considerando o aprendizado adquirido na sua

formação. A partir do aprendizado de simulação, o aluno desenvolve o senso crítico sobre a suas decisões de projeto ao analisar um resultado obtido.

Percebe-se, também, a diferença no processo projetual com ou sem simulações termo-energéticas. Segundo reportaram os entrevistados, na fase final do estudo preliminar, bem como durante o anteprojeto, são definidos materiais e cores. Além disso, elementos de sombreamento, pé direito e locação das aberturas também fazem mais parte da fase de estudo preliminar. Nota-se, por outro lado, que nos exercícios (tanto do estudo piloto, como no primeiro experimento) os materiais e cores são relevantes nas fases já iniciais quando se busca o melhor desempenho. Alguns grupos de climas frios tiveram como diretrizes iniciais de projeto a consideração de alterações de paredes e cobertura, enquanto que em situações de climas quentes, alguns grupos ainda assim não consideraram essa como uma diretriz importante desde o início. Em contrapartida, os grupos de clima quente que desde o início consideraram o ganho de calor pela cobertura um fator crucial na melhoria da edificação, obtiveram desde então alterações significativas nas alterações. Isso porque o estudo do clima juntamente com o estudo da adequação da edificação no entorno proposto permitiu que estes grupos tomassem decisões de projeto com maior autonomia devido à aplicação do conhecimento. Evidencia-se, assim, a necessidade de preocupação com mais fatores durante o processo de concepção que, assim, tornaria viável e prático já usufruir de simulação desde estas fases tão iniciais na busca da melhoria do desempenho do edifício.

O experimento principal da pesquisa, o 1, mostrou que o método de ensino proposto teve bons resultados. A partir de um fluxo de trabalho criado em relação ao clima nota-se bom desenvolvimento de projeto com apenas algumas alterações. Ainda que considerando o volume pesquisado como simples, com um ambiente apenas, diversos grupos atingiram boa configuração da envoltória com até 5 alterações e simulações. Por diversos motivos esse exercício se deu de forma trabalhosa: o desconhecimento prévio do programa de modelagem; nenhum contato com simulação computacional de desempenho térmico anterior à experiência; poucas análises aprofundadas do clima embutidas nas disciplinas de projeto até então, bem como da disponibilidade de vento. Nota-se, porém, que as análises da disponibilidade de sol são corriqueiras, tanto pelas respostas obtidas no questionário, quanto pelo Quadro 8, no qual todos os grupos consideraram a adequação do terreno segundo o sol. Tendo esta como uma primeira experiência de trabalho de simulação durante um processo de projeto fictício, já notando bons resultados com poucas alterações de projeto, pode-se manter a hipótese de que, se os alunos e/ou projetistas seguirem com estas experiências, o seu conhecimento e domínio

sobre este tema ao implementar no projeto será cada vez mais desenvolvido, e será imerso no processo, de forma que a melhoria na edificação poderá ocorrer sem muito trabalho conforme as experiências se intensificarem.

Evidencia-se, principalmente, que a informação passada pelo programa de simulação não só não precisa informar o que deve ser modificado na edificação, como ela pode ser simplesmente numérica. Isso não exclui a visualização de cores de diferenciação de temperaturas superficiais (e possivelmente de temperaturas operativas por ambientes, no caso de edifícios maiores e com diferentes usos) como análise inicial para a tomada de decisões, a partir do estudo prévio do clima e da adequação da edificação, mas a efetividade das diretrizes traçadas, e análises realizadas de forma correta, se deram por meio de respostas numéricas, a partir do conhecimento dos estudantes sobre o determinado resultado. Ao compreender o cálculo de percentual de horas em conforto pelo método adaptativo, e ainda, compreender que o ideal da edificação seria o aumento deste percentual considerando a redução de carga térmica, proporcionou autonomia na tomada de decisões de projeto por boa parte dos grupos estudados.

Contudo, enfatiza-se que há ainda a necessidade de melhoria nos programas de simulação em relação à sua interoperabilidade com programas de desenvolvimento de projeto. O grande desafio desta pesquisa foi implementar um programa de modelagem desconhecido pelos estudantes. É importante ressaltar, também, que tal experiência realizada durante o desenvolvimento de uma disciplina de projeto arquitetônico mostraria a relação da implementação de simulação juntamente com outras problemáticas apresentadas no processo de projeto, e assim, a solução de problemas seria mais complexa. Entretanto, no que diz respeito à implementação de simulação em si, a resposta do programa perante às alterações de projeto realizadas no experimento foram satisfatórias e, tanto a análise quando a tomada de decisões de projeto, se mostrou como algo não só executável, como interessante e com bons resultados. Sendo assim, o próximo capítulo retrata as considerações finais realizadas a partir dos resultados obtidos.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além das limitações e sugestões de trabalhos futuros apresentadas a seguir, apresentam-se no Quadro 11 uma nova análise de programas, mostrando novas conexões do pacote de ferramentas Ladybug com o Revit. Outros programas com a mesma temática continuam se desenvolvendo e surgindo, como o ClimateStudio (conectado ao Rhinoceros)

desenvolvido pelo Solemma, um grupo de projetistas, cientistas, educadores e consultores que desenvolvem ferramentas de análises ambientais.

Quadro 11 – Nova análise de programas

Análise de programas				
Programas		Período de uso disponível		
Modelagem	Simulação	30 dias	Estudante	Gratuito
<b>Revit</b> (Estudante)	CoveTool			
	Ladybug Tools			
	Sefaira			
<b>Rhinoceros</b> (90 dias)	Archsim			
	CoveTool			
	Ladybug Tools			
<b>SketchUp</b> (30 dias)	CoveTool			
	Sefaira			

Fonte: Autora (2020)

### 5.2.1 Limitações da pesquisa

A presente pesquisa apresenta algumas limitações, dentre elas:

- i. O processo de projeto possui mais variáveis estudadas na solução de problemas que aqui não foram consideradas;
- ii. Não foi possível analisar o método aplicado a arquitetos pelo escasso número de participantes;
- iii. A utilização de um programa de modelagem não comum entre os alunos e projetistas dificultou a análise.
- iv. A simplificação de componentes de ventilação natural realizada pelo programa pode ter prejudicado a experiência dos alunos em relação às suas diretrizes.

### 5.2.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos apontamentos realizados com os resultados desta pesquisa, sugerem-se estudos futuros a fim de aprimorar o método:

- i. Realizar experimentos de simulação em disciplinas de projeto arquitetônico na graduação para compreender a utilização de simulação durante todo o processo projetual, incluindo assim outros fatores e solução de problemas;

- ii. Analisar a aplicação de simulação termo-energética aplicada a durante todo o processo de projeto de estudantes, partindo da concepção até o anteprojeto;
- iii. Considerar a utilização de metamodelos ou de outros programas mais recentes que facilitem ainda mais a configuração de inputs e análises de outputs para a tomada de decisões;
- iv. Realizar um novo teste com arquitetos inseridos no mercado de trabalho com maior período de tempo para as aulas teóricas e práticas.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 13.532 - Elaboração de projetos de Arquitetura. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [s. l.], p. 8, 1995.

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](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>>

BEAUSOLEIL-MORRISON, Ian. Learning the fundamentals of building performance simulation through an experiential teaching approach. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 308–325, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1479773>>

BICHIU, Youssef; KRARTI, Moncef. Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 12, p. 3373–3382, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.031>>

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>>

BLEIL DE SOUZA, Clarice; TUCKER, Simon. Thermal simulation software outputs: a framework to produce meaningful information for design decision-making. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 57–78, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19401493.2013.872191>>

BLEIL DE SOUZA, Clarice; TUCKER, Simon. Thermal simulation software outputs: a conceptual data model of information presentation for building design decision-making. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 227–254, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19401493.2015.1030450>>

Brasil já tem 106 mil arquitetos e urbanistas. **CAU/BR Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil**, 2013. Disponível em: <<https://www.caubr.org.br/brasil-ja-tem-106-mil-arquitetos-e-urbanistas/>>. Acesso em: 01 de nov. de 2020.

CB3E - CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C). [s. l.], p. 151, 2017.

CLIMATE CHANGE & INFECTIOUS DISEASES GROUP. **Koeppen-Geiger**, 2019. Página inicial. Disponível em: <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>>. Acesso em: 22 de ago. de 2020.

CRAWLEY, Drury B. et al. Climatic data for building design standards. **ASHRAE Standard**, [s. l.], v. 8400, n. 169, 2013.

COVE.TOOL. **Cove.tools**, 2020. Página inicial. Disponível em: <<https://www.cove.tools/>>. Acesso em: 22 de ago. de 2020

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.jobee.2017.07.012>>

EPE. Balanço energético nacional: Ano base 2018. **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**, [s. l.], p. 67, 2019.

GRANADEIRO, Vasco et al. Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 61, p. 215–223, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.018>>

HUANG, Yu; NIU, Jian Lei. Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 117, p. 387–398, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.025>>

IEA, International Energy Agency. **The Future of Cooling**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/the-future-of-cooling>>.

LAWSON, Bryan. **Como Arquitetos e Designers Pensam**. 1ª Edição. São Paulo - SP. Editora Oficina de Textos, 1 de abril de 2011.

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

LAWSON, Bryan. **Como Arquitetos e Designers Pensam**. 1ª Edição. São Paulo - SP. Editora Oficina de Textos, 1 de abril de 2011.

MACIEL, Alexandra albuquerque. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico**. 2006. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2006.

MCNEEL EUROPE. **Food4Rhino**, 2020. Archsim energy modeling gh. Disponível em: <<https://www.food4rhino.com/app/archsim-energy-modeling-gh>>. Acesso em: 22 de ago. de 2020.

MÉNDEZ ECHENAGUCIA, Tomás et al. The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. **Applied Energy**, [s. l.], v. 154, p. 577–591, 2015.

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. **ProjeteEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Página inicial. Disponível em: <<http://projeteeee.mma.gov.br/>>. Acesso em: 01 de nov. de 2020.

REINHART, Christoph F. et al. Learning by playing - teaching energy simulation as a game. **Journal of Building Performance Simulation**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 359–368, 2012.

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.

SHI, Xing et al. A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 65, p. 872–884, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.050>>

SHIEL, Patrick; TARANTINO, Sergio; FISCHER, Martin. Parametric analysis of design stage building energy performance simulation models. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 172, p. 78–93, 2018.

STEFANI, Alessandra Márcia de Freitas. **Paradigma ou Campo: Uma análise da produção acadêmica sobre o processo de projeto**. 2014. Universidade Presbiteriana Mackenzie, [s. l.], 2014.

TONELLI, Fernanda Destro. **ESBOÇO NO PROCESSO DE PROJETO: Uma proposta de análise**. 2017. Universidade Federal de Juiz de Fora, [s. l.], 2017.

TRIMBLE INC. **Sefaira**, 2019. Página inicial. Disponível em: <<https://sefaira.com/>>. Acesso em: 22 de ago. de 2020.

YU, Rongrong; GERO, John; GU, Ning. Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design. **International Journal of Architectural Computing**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 83–101, 2015.

YU, Rongrong; GU, Ning; OSTWALD, Michael. Evaluating creativity in parametric design environments and geometric modelling environments. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 61, n. 6, p. 443–453, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/00038628.2018.1512043>>

**APÊNDICE A – Questionário aplicado em arquitetos sobre o processo de projeto**

# Pesquisa sobre Processo de Projeto

(este formulário de pesquisa faz parte de um levantamento sobre métodos e processos de projeto dos arquitetos e estudantes de arquitetura)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO  
O TCLE respeita as resoluções nos 510/2016

Sr(a) foi selecionado(a) e está sendo convidado(a) para participar da pesquisa intitulada: “Visualização de resultados de simulações energéticas em edificações e sua influência nas fases iniciais de projeto”, que tem como objetivo investigar a aplicação de simulações energéticas no processo de projeto. A pesquisa, é integrada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e terá duração de dois meses, com o término previsto para setembro de 2019, sendo a pesquisadora desta pesquisa a mestranda Larissa Pereira de Souza.

Sua atuação nesta pesquisa consistirá na participação em um questionário onde será levantado o seu método de projeto, quais parâmetros de projeto são considerados em cada fase de projeto, se são considerados os parâmetros bioclimáticos e por fim, qual a sua opinião e interesse sobre simulações nas fases iniciais de projeto. Todos os dados coletados de questionário serão guardados por cinco (05) anos e serão posteriormente eliminados.

Sr(a) não terá nenhuma despesa ou quaisquer compensações financeiras. Caso tenha uma despesa extraordinária será ressarcido conforme a resolução 510/2016. Salientamos que suas respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o seu nome em qualquer fase do estudo. O benefício relacionado à sua participação será de aumentar o conhecimento científico para a área de Ensino de Arquitetura, quanto ao uso de simulação energética nas fases iniciais de projeto.

O possível risco e desconforto da pesquisa é o da possibilidade de cansaço, aborrecimento ou desconforto durante o preenchimento dos questionários. A fim de evitar ou reduzir efeitos e condições adversas a pesquisadora garante que suas opiniões e pontos de vista não serão expostos publicamente. As informações coletadas ficarão de posse da pesquisadora responsável e sua identidade será mantida no mais rigoroso sigilo. A pesquisadora manterá o sigilo em relação à identificação das pessoas entrevistadas, contudo, considerando que se trata de pesquisas com seres humanos, existe a possibilidade remota de quebra de sigilo, mesmo que involuntário e não intencional em relação às informações prestadas. Em caso de eventuais danos decorrentes da pesquisa será garantido seu direito de indenização ou ressarcimento conforme a resolução 510/2016.

Os dados coletados serão utilizados apenas NESTA pesquisa e os resultados serão divulgados em eventos e/ou revistas científicas. Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar desse estudo. A qualquer momento você pode se recusar a responder qualquer pergunta ou interromper a participação e retirar seu consentimento, sem penalização alguma. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador.

Sr(a) aceitará este termo uma vez que selecionar o botão “concordo” na tela inicial do questionário online, e tem acesso a este documento pelo questionário. Ao fim do documento consta o contato/e-mail da pesquisadora responsável, podendo tirar as suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

**ENDEREÇO FÍSICO DA PESQUISADORA:** Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico (CTC), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis – SC, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil.

**ENDEREÇO DE CONTATO DO COMITÊ DE ÉTICA:** Prédio Reitoria II (Edifício Santa Clara), R: Desembargador Vitor Lima, no 222, sala 401, Trindade, Florianópolis-SC, CEP 88.040-400. E-mail: [cep\\_propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep_propesq@contato.ufsc.br). Telefone +55 (48) 3721-6094. CEPSES-SC [cepses@saude.sc.gov.br](mailto:cepses@saude.sc.gov.br).

O CEPESH é um órgão colegiado interdisciplinar, deliberativo, consultivo e educativo, vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina, mas independente na tomada de decisões, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Desde já agradeço sua colaboração!

Florianópolis, 15 de Abril 2019.

Larissa Pereira de Souza  
Pesquisadora Responsável (UFSC)  
E-mail: [laripereiradesouza@gmail.com](mailto:laripereiradesouza@gmail.com)  
Tel.: (48) 991140985

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Declaro estar ciente do inteiro teor deste TERMO DE CONSENTIMENTO e estou de acordo em participar do estudo proposto, sabendo que dele poderei desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer punição ou constrangimento.

**\*Obrigatório**

**1. VOCÊ CONCORDA PARTICIPAR DESSA PESQUISA? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- concordo *Ir para a pergunta 2.*  
 não *Pare de preencher este formulário.*

## Pesquisa sobre Processo de Projeto

(este formulário de pesquisa faz parte de um levantamento sobre métodos e processos de projeto dos arquitetos e estudantes de arquitetura)

**2. QUAL SUA IDADE? \***

\_\_\_\_\_

**3. QUAL SUA PROFISSÃO? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- Arquiteta(o) e urbanista  
 Pesquisador(a) em arquitetura  
 Professor(a) em arquitetura  
 Outro: \_\_\_\_\_

**4. HÁ QUANTOS ANOS ESTÁ FORMADO? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- Até 2 anos de formado  
 de 2 a 5 anos  
 de 5 a 10 anos  
 há mais de 10 anos  
 estou na graduação

**5. O SEU PROCESSO DE PROJETO, NA FASE DE CONCEPÇÃO, DIFERE ENTRE PROJETO DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS E RESIDENCIAIS (UNIFAMILIAR E MULTIFAMILIAR)? \***

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim, projeto de forma diferente  
 Não, tenho o mesmo processo para todos

## PROCESSO DE PROJETO EM EDIFICAÇÕES

(esta parte da pesquisa visa levantar aspectos do seu processo de projeto para edificações)

**6. AO PROJETAR UMA EDIFICAÇÃO, VOCÊ GERALMENTE TRABALHA INDIVIDUALMENTE OU EM CONJUNTO? \***

Marcar apenas uma oval.

Individual

Grupo

**7. AO PROJETAR UMA EDIFICAÇÃO, QUAL O ESTÁGIO DE PROJETO EM QUE OS PARÂMETROS A SEGUIR SÃO CONSIDERADOS? (você pode marcar o mesmo várias vezes)**

Marque todas que se aplicam.

	concepção	estudo preliminar	anteprojeto
volumetria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
análise do entorno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
materiais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
orientação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
número de ambientes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dimensões dos ambientes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pé direito	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
elemento de sombreamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
localização das aberturas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
tamanho das aberturas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iluminação artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
acessos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
legislação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**8. AO PROJETAR UMA EDIFICAÇÃO, QUAIS MÉTODOS OU PROGRAMAS VOCÊ UTILIZA NAS SUAS DIFERENTES ETAPAS? (você pode marcar o mesmo método várias vezes)**

Marque todas que se aplicam.

	concepção	estudo preliminar	anteprojeto
anotações escritas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
croquis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
maquetes físicas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
prototipagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAD (autocad, microstation, etc)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
modelagem 3D (sketchup)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
formit / revit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
archicad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rhinoceros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rhino + grasshopper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## PROCESSO DE PROJETO E O PROJETO BIOCLIMÁTICO

(esta parte da pesquisa visa levantar aspectos do seu processo de projeto e a relação com conforto térmico e eficiência energética)

**9. AO PROJETAR UMA EDIFICAÇÃO, VOCÊ CONSIDERA ALGUNS DOS PARÂMETROS A SEGUIR? EM QUAL ESTÁGIO? (você pode marcar o mesmo várias vezes) \***

Marque todas que se aplicam.

	não considero	concepção	estudo preliminar	anteprojeto
insolação / sombreamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iluminação natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ventilação natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iluminação artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
projeto de ar condicionado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
materiais (isolamento, inércia térmica, etc)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
análise da norma de desempenho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
etiqueta de eficiência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
simulação de consumo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**10. AO PROJETAR UMA EDIFICAÇÃO, VOCÊ UTILIZA ALGUM MÉTODO OU PROGRAMA PARA TESTAR ESTES PARÂMETROS? (você pode marcar o mesmo método várias vezes) \***

Marque todas que se aplicam.

- não considero
- manualmente (croquis, anotações, maquetes físicas)
- sketchup
- BIM (revit, archicad)
- parametrização (rhino+grasshopper)
- softwares de simulação (EnergyPlus, Radiance, etc)

**11. VOCÊ CONSIDERARIA OUTROS PARÂMETROS BIOCLIMÁTICOS NO PROJETO SE A INFORMAÇÃO FOSSE FACILMENTE ACESSÍVEL? \***

Marcar apenas uma oval.

- Não, acho que já considero o suficiente *Pare de preencher este formulário.*
- Não, não acho importante *Pare de preencher este formulário.*
- Sim, mas não tenho muito conhecimento sobre o tema *Ir para a pergunta 12.*
- Sim, mas acho a informação de difícil compreensão (programas muito complicados) *Ir para a pergunta 12.*
- Sim, pois tenho interesse em me atualizar no tema *Ir para a pergunta 12.*

## PROCESSO DE PROJETO E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

(esta parte da pesquisa visa levantar sua opinião sobre como a simulação deveria ocorrer, se ela fosse integrada ao seu processo de projeto)

**12. PARA CONSIDERAR A SIMULAÇÃO ENERGÉTICA NO SEU PROCESSO DE PROJETO, COMO VOCÊ GOSTARIA QUE FOSSE? \***

Marcar apenas uma oval.

- integrada ao programa de modelagem que eu uso (como um plug-in)
- externa ao programa de modelagem que eu uso (uma nova ferramenta)
- Outro: \_\_\_\_\_

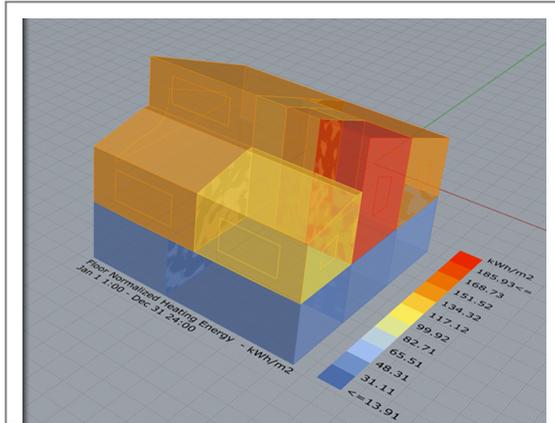
**13. QUAL RESULTADO DE CONFORTO/ENERGÉTICO VOCÊ GOSTARIA DE RECEBER? EM QUAL FASE? (você pode marcar o mesmo várias vezes) \***

*Marque todas que se aplicam.*

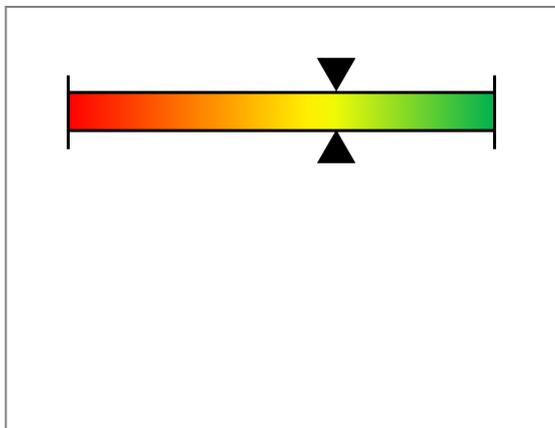
	não tenho interesse	não sei analisar este dado	concepção	estudo preliminar	anteprojeto
Temperatura interna do ambiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trocas de calor das superfícies (paredes e janelas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concordância com a norma de desempenho NBR15575	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Graus-hora de desconforto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carga térmica de aquecimento e resfriamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumo de ar condicionado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consumo total	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Classificação da etiqueta de eficiência energética	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**14. COMO VOCÊ GOSTARIA DE ANALISAR OS DADOS ACIMA DURANTE O PROCESSO DO PROJETO? \***

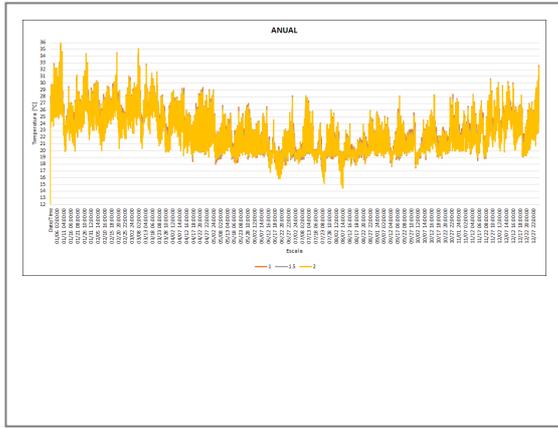
Marque todas que se aplicam.



- Por cores na própria volumetria/ambiente, com uma escala comparativa (fonte da imagem: <https://designvisibles.tumblr.com/post/138089198294/getting-pretty-excited-about-ladybug-honeybee>)



- Por uma escala gráfica de eficiência/consumo



Por gráficos com a variação anual, com uma escala comparativa

Col	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	Date/Time	ANIELA_A	SI	ANIELA_A														
2	01/01/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	01/01/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	01/01/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	01/01/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	01/01/05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	01/01/06	0,452036	0,462079	0,467944	0,472029	0,476114	0,480199	0,484284	0,488369	0,492454	0,496539	0,500624	0,504709	0,508794	0,512879	0,516964	0,521049	
8	01/01/07	0,613415	0,58919	0,59726	0,497974	0,48007	0,41844	0,344287	0,27234	0,200395	0,128443	0,056491	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	
9	01/01/08	0,089781	0,096053	0,099261	0,102469	0,105677	0,108885	0,112093	0,115301	0,118509	0,121717	0,124925	0,128133	0,131341	0,134549	0,137757	0,140965	
10	01/01/09	0,060181	0,054108	0,057261	0,057438	0,054649	0,048485	0,042321	0,036157	0,029993	0,023829	0,017665	0,011501	0,005337	0,000000	0,000000	0,000000	
11	01/01/10	0,058906	0,088172	0,097261	0,044282	0,012196	0,003329	0,004733	0,004973	0,002050	0,006622	0,017358	0,038085	0,058812	0,079539	0,099266	0,119993	
12	01/01/11	0,050893	0,062144	0,097261	0,131206	0,160279	0,189352	0,218425	0,247498	0,276571	0,305644	0,334717	0,363790	0,392863	0,421936	0,451009	0,480082	
13	01/01/12	0,060238	0,020025	0,028218	0,018151	0,009745	0,003953	0,002059	0,001179	0,000629	0,000385	0,000231	0,000177	0,000123	0,000069	0,000015	0,000000	
14	01/01/13	0,097261	0,040531	0,006177	0,019112	0,038965	0,063818	0,093671	0,128524	0,168377	0,213230	0,263083	0,317936	0,377789	0,442642	0,512495	0,587348	
15	01/01/14	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
16	01/01/15	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
17	01/01/16	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
18	01/01/17	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
19	01/01/18	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
20	01/01/19	0,097261	0,097261	0,040531	0,011111	0,017748	0,027434	0,040282	0,056327	0,075671	0,098216	0,134061	0,183214	0,245767	0,321820	0,411473	0,514726	
21	01/01/20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	01/01/21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	01/01/22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	01/01/23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	01/01/24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	01/01/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	01/01/02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	01/01/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	01/01/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	01/01/05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	01/01/06	0,481707	0,000566	0,479481	0,570892	0,444114	0,257213	0,051051	0,007715	0,000566	0,144202	0,011817	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	
32	01/01/07	0,066939	0,520201	0,097261	0,025149	0,155669	0,297059	0,294635	0,002347	0,000578	0,157721	0,000743	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	
33	01/01/08	0,000000	0,000000	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	
34	01/01/09	0,000000	0,000000	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	0,097261	

Numericamente

**15. MESMO COM A VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS ANTERIORES, VOCÊ ACHA NECESSÁRIO ALGUNS DOS ITENS A SEGUIR PARA TOMAR DECISÕES/FAZER ALTERAÇÕES NO PROJETO? \***

Marque todas que se aplicam.

- falar com um especialista
- receber uma resposta do programa (qual(is) alteração(ões) tornariam o projeto mais confortável/eficiente)
- não preciso
- Outro: \_\_\_\_\_

**16. GOSTARIA DE DEIXAR ALGUM COMENTÁRIO SOBRE O TEMA?**

---



---



---



---



---

**APÊNDICE B – Material de apoio do piloto, 1ª e 2ª experimento**

# **LADYBUG + HONEYBEE**

APOSTILA CRIADA PELA ESTUDANTE DE PÓS GRADUAÇÃO – PÓSARQ UFSC  
Larissa Pereira de Souza

# ÍNDICE

<b>1. INFORMAÇÕES IMPORTANTES PARA CONFIGURAR O ARQUIVO.....</b>	<b>4</b>
1.1. Arquivo em metros .....	4
1.2. Modelagem paramétrica .....	4
1.3. Alterações de projeto com simulação em “false” .....	4
<b>2. COMPONENTES BÁSICOS DE MODELAGEM .....</b>	<b>5</b>
2.1. Abas .....	5
2.2. Busca por componentes.....	5
2.3. Number Slider .....	5
2.4. Panel .....	6
2.5. Botão menu .....	6
2.6. Construct Point .....	7
2.7. 4point Surface.....	7
<b>3. ANÁLISES DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS .....</b>	<b>9</b>
3.1. Ladybug_Import EPW .....	9
3.2. Ladybug_SunPath .....	9
3.3. Ladybug_Wind Rose.....	10
3.4. Ladybug_Analysis Period .....	11
3.5. Ladybug_Legend Parameters .....	11
<b>4. CONFIGURAÇÕES DA EDIFICAÇÃO PARA A SIMULAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
4.1. Configurações simples de arquitetura .....	13
4.1.1. Honeybee_Masses2Zones.....	13
4.1.2. Honeybee_bldgPrograms .....	13
4.1.3. _bldgProgram .....	14
4.1.4. Honeybee_ItemSelector (List) .....	14
4.1.5. Honeybee_addHBGlz .....	14
4.1.6. Honeybee_Solve Adjacencies .....	15
4.2. Configurações específicas de arquitetura .....	15
4.2.1. Honeybee_DecomposeHBZone .....	15
4.2.2. Honeybee_CreateHBSrfs.....	16
4.2.3. Honeybee_CreateHBzones.....	17
4.2.4. Honeybee_Glazing Parameters List.....	17

4.2.5.	Honeybee_Glazing based on ratio .....	18
4.2.6.	Honeybee_EnergyPlus Opaque Material .....	18
4.2.7.	Honeybee_EnergyPlus NoMass Opaque Material .....	19
4.2.8.	Honeybee_EnergyPlus Glass Material .....	19
4.2.9.	Honeybee_EnergyPlus Window Air Gap .....	20
4.2.10.	Honeybee_EnergyPlus Construction .....	20
4.2.11.	Honeybee_Add to EnergyPlus Library .....	20
4.2.12.	Honeybee EP contexto Surfaces .....	21
4.2.13.	Honeybee_Set EP Air Flow .....	21
<b>5.</b>	<b>CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO .....</b>	<b>23</b>
5.1.	Ladybug_Open EPW Weather File.....	23
5.2.	Honeybee_Generate EP Output.....	23
5.3.	Honeybee_Run Energy Simulation.....	24
<b>6.</b>	<b>VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
6.1.	Análise de superfícies .....	25
6.1.1.	Honeybee_Read Surface EP Result.....	25
6.1.2.	Honeybee_Color Surfaces By EP Result .....	25
6.2.	Análise de zonas térmicas .....	26
6.2.1.	Honeybee_Read EP Result .....	26
6.2.2.	Honeybee_Color Zones By EP Result .....	27

## **1. INFORMAÇÕES IMPORTANTES PARA CONFIGURAR O ARQUIVO**

### **1.1. Arquivo em metros**

Para que a simulação rode perfeitamente, é importante que o Rhinoceros esteja com a unidade de medida em “metros” antes mesmo de abrir o Grasshopper. O problema é: caso o Rhinoceros permaneça em milímetros e o Grasshopper esteja em metros, a simulação não reconhece o tamanho dos componentes como: janelas muito pequenas e todas as paredes, internas e externas, passam a ser planares.

### **1.2. Modelagem paramétrica**

É interessante modelar o seu projeto juntando parâmetros importantes e que podem ser modificados para a melhoria deste, como por exemplo, extensão de paredes internas e externas, tamanho das janelas, pé direito etc.

### **1.3. Alterações de projeto com simulação em “false”**

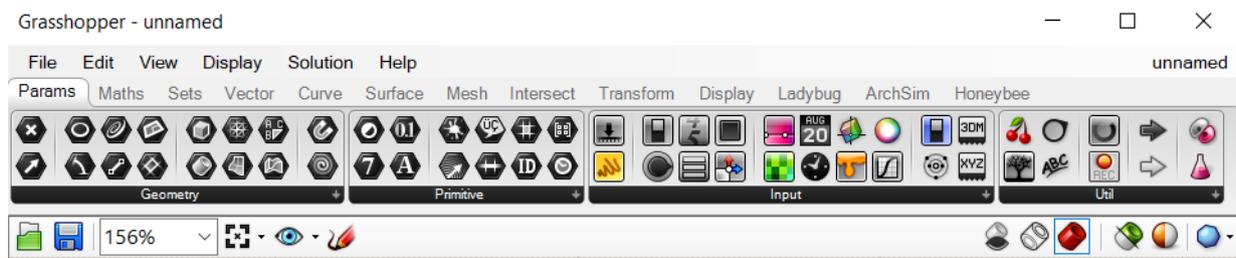
Ao fazer alterações de projeto, é importante que a simulação não esteja habilitada para cada alteração pois há grandes chances de travar o programa e debilita a visualização real da alteração de projeto, por exemplo, ao movimentar um valor de uma “slider”. Para evitar isto, é importante visualizar o projeto como zona térmica e desabilitar a simulação, explicada nos itens a seguir, para “false”.

## 2. COMPONENTES BÁSICOS DE MODELAGEM

### 2.1. Abas

Descrição:

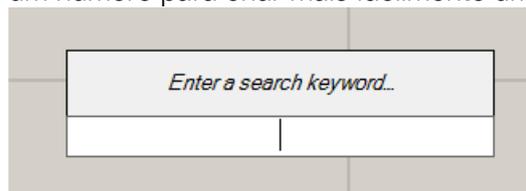
A segunda linha de abas superior (com “Params” “Maths” e etc) divide e organiza todos os componentes disponíveis no Grasshopper de acordo com a sua categoria. Em “Maths”, por exemplo, é onde se encontram os componentes de domínios, operadores, entre outros. Conforme você adiciona um pacote de ferramentas ao plug-in Grasshopper, uma nova aba surge com estes novos componentes (como exemplo, o Ladybug e o Honeybee).



### 2.2. Busca por componentes

Descrição:

Outra opção para buscar um componente desejado é clicando duas vezes na tela cinza vazia, onde o ícone de pesquisa aparecerá. Nesse ícone, basta digitar 4 palavra(s) chave(s) para encontrar o componente desejado. Ou ainda, digitar um número para criar mais facilmente uma Number Slider.



### 2.3. Number Slider

Descrição:

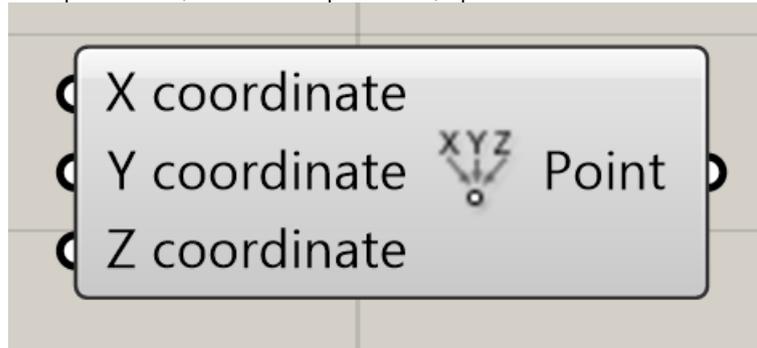
Para escolher valores numéricos, utiliza-se esse componente. Esse componente é um componente inicial, e serve para alterações de coordenadas, ângulos, dimensões etc. Este componente pode ser editado segundo o seu nome, ao clicar duas vezes no componente ou selecionar com o botão direito do mouse. Nessas edições, é possível nomear, escolher valores máximos e mínimos de variação, se o número deve possuir decimais, se é inteiro etc. Quando qualquer componente do Grasshopper está selecionado, sua cor se altera para verde, e a visualização deste componente no ambiente do Rhinoceros passa a ser verde também.



## 2.6. Construct Point

Descrição:

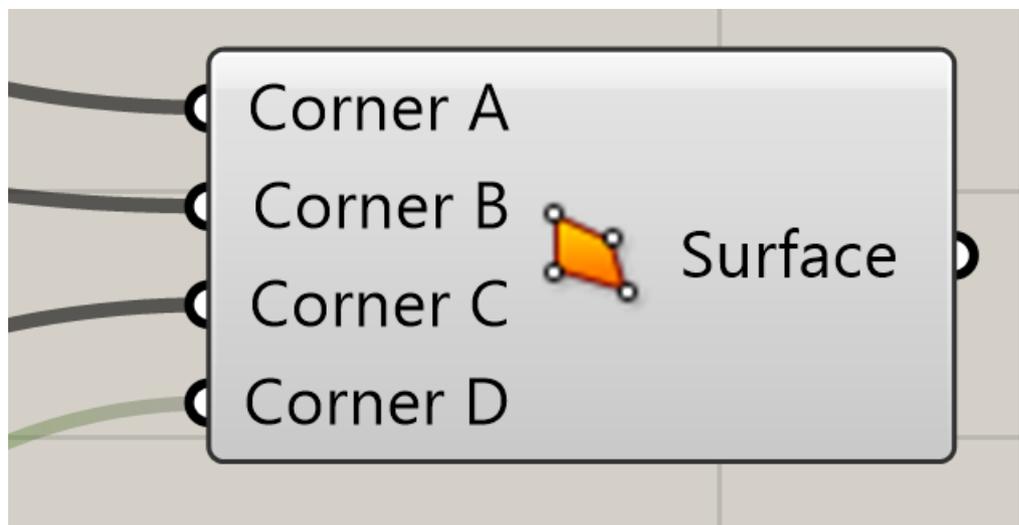
Este componente permite a criação de pontos a partir de coordenadas numéricas (Number Slider). Pontos são utilizados para a criação de outros componentes, como superfícies, pontos de referência e mesmo blocos.



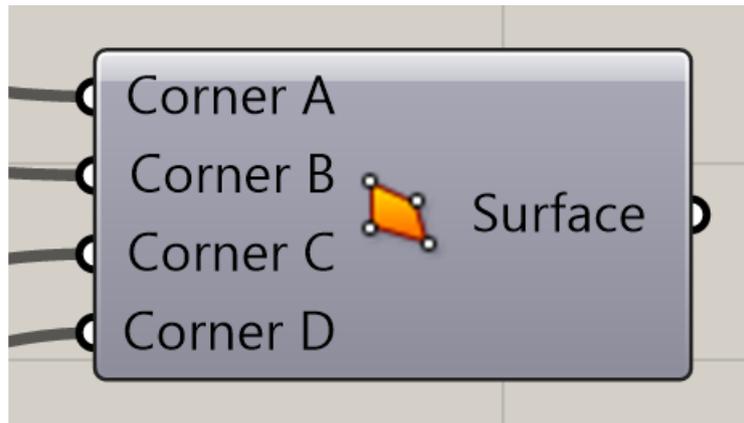
## 2.7. 4point Surface

Descrição:

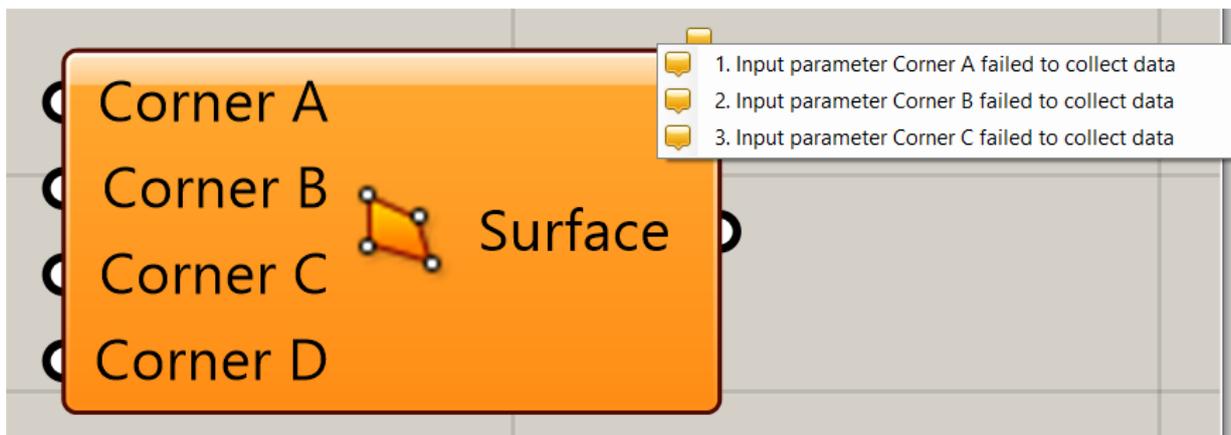
Cria uma superfície a partir de três ou quatro pontos já criados. Sua saída é a própria superfície. Existem outras opções para se criar uma superfície: a partir de linhas, curvas ou diversos pontos.



Quando qualquer componente utilizado estiver com a cor cinza escuro (como abaixo), significa que este componente está com a visualização no Rhinoceros apagada (como explicado no menu, item 1.4.5.)



Já quando o componente está laranja, ou vermelho, significa que não foi possível gerar o esperado. Neste caso, ou faltam parâmetros de entrada (inputs) nesse componente para que ele gere a forma desejada, ou os parâmetros inseridos não fazem sentido para o programa ou estão errados. É interessante revisar como deve ser esse input. No próprio componente é descrito o problema encontrado, no balão no canto superior direito deste.



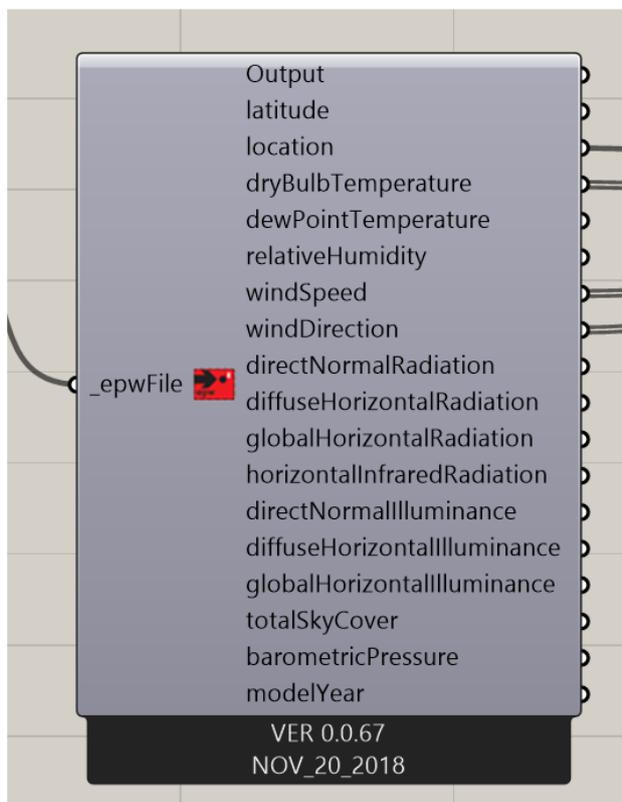
### 3. ANÁLISES DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS

#### 3.1. Ladybug\_Import EPW

Descrição:

Importa o arquivo climático para o ambiente do Grasshopper e separa este pelas variáveis disponíveis, tais como: temperatura de bulbo seco, velocidade do vento, umidade relativa etc. O input deste componente deve ser o caminho da pasta em que o arquivo está salvo, juntamente com o nome do arquivo e seu formato. Por exemplo:

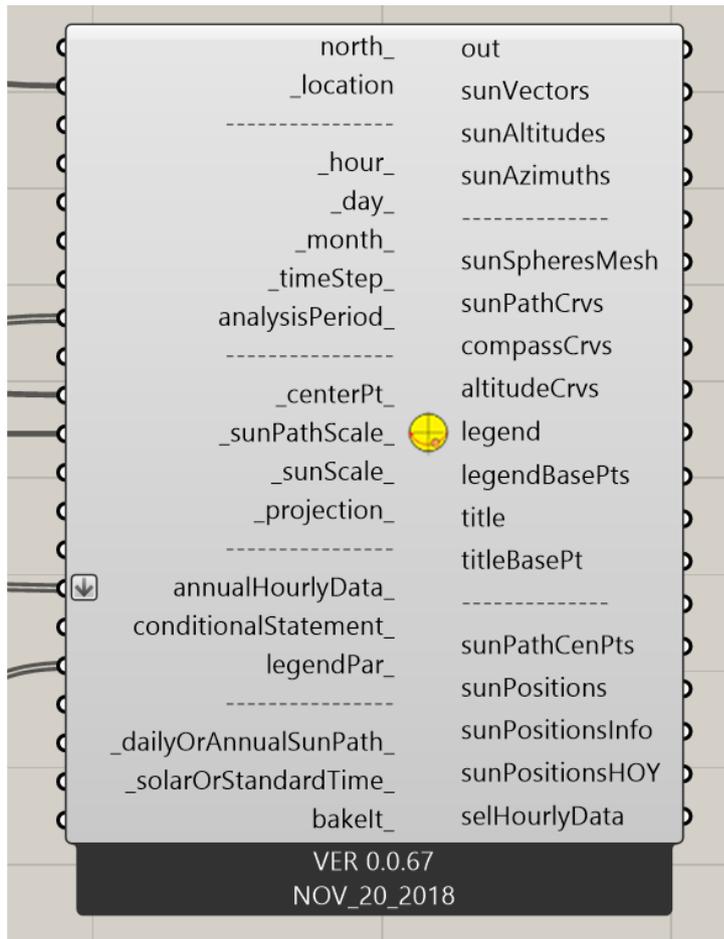
C:\Desktop\IND\_MH\_Mumbai-Shivaji.Intl.AP.430030\_TMYx.2003-2017.epw



#### 3.2. Ladybug\_SunPath

Descrição:

Gera o caminho solar da localização escolhida, e possibilita a visualização deste no ambiente do Rhinoceros, junto ao projeto. Pode ser analisado para diferentes períodos do ano, para um dia só ou para horas específicas. Pode-se adicionar, também, informações como a temperatura para determinado dia e hora, e outros outputs disponíveis no componente Ladybug\_Import EPW, ao adicioná-lo no input "annualHourlyData\_" do componente SunPath

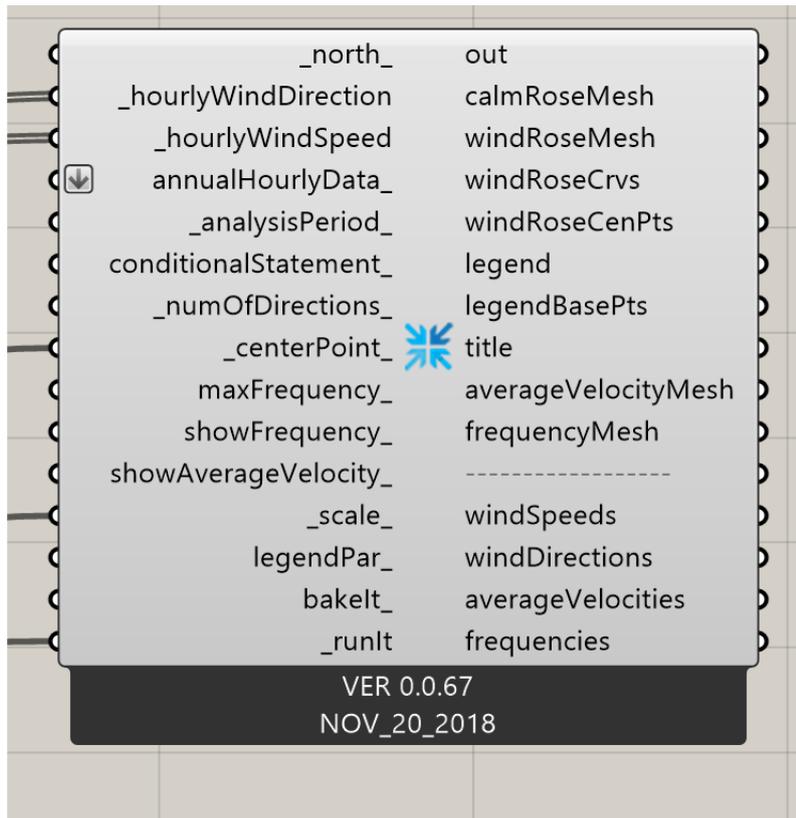


### 3.3. Ladybug\_Wind Rose

Descrição:

Gera a rosa dos ventos da localização escolhida, e possibilita a visualização deste no ambiente do Rhinoceros, junto ao projeto. Pode ser analisado para diferentes períodos do ano, para um dia só ou para horas específicas. Pode-se adicionar, também, informações como a temperatura para determinado dia e hora, e outros outputs disponíveis no componente Ladybug\_ Import EPW, ao adicioná-lo no input “annualHourlyData\_” do componente Wind Rose.

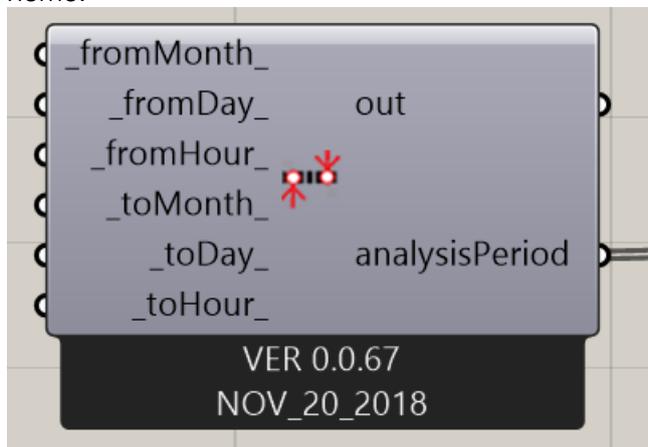
Neste componente, é necessário utilizar a “Boolean Toggle” com a opção True inserida no input “\_runIt” para que se gere o gráfico no ambiente Rhinoceros.



### 3.4. Ladybug\_Analysis Period

Descrição:

Permite a escolha de um determinado período pra análise. Este componente pode estar vinculado a diversos componentes de análise do Ladybug, mas também componentes de simulação do Honeybee, basta ter o input chamado de mesmo nome.

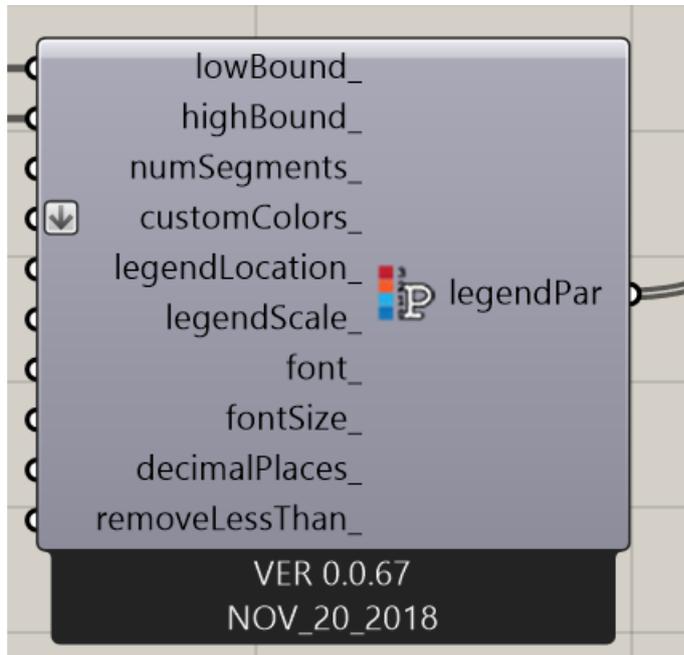


### 3.5. Ladybug\_Legend Parameters

Descrição:

Permite a edição dos gráficos do Ladybug e Honeybee: desde escolha de valores máximos e mínimos, cores, tamanho da fonte, até casas decimais dos valores e número de segmentos da escala gráfica.

lowBound\_  
highBound\_  
numSegments\_  
customColors\_  
legendLocation\_  
legendScale\_  
font\_  
fontSize\_  
decimalPlaces\_  
removeLessThan\_  
VER 0.0.67  
NOV\_20\_2018

A configuration panel for a legend parameter. It features a list of parameters on the left side, each with a small circular icon to its left. The parameters are: lowBound\_, highBound\_, numSegments\_, customColors\_ (with a dropdown arrow icon), legendLocation\_ (with a red and blue square icon), legendScale\_ (with a blue square icon), font\_ (with a white 'P' icon), and fontSize\_. The legendLocation\_ parameter is currently selected, and its value 'legendPar' is displayed on the right side of the panel. Below the list of parameters is a black footer bar containing the text 'VER 0.0.67' and 'NOV\_20\_2018'. The panel is set against a light gray grid background.

## 4. CONFIGURAÇÕES DA EDIFICAÇÃO PARA A SIMULAÇÃO

### 4.1. Configurações simples de arquitetura

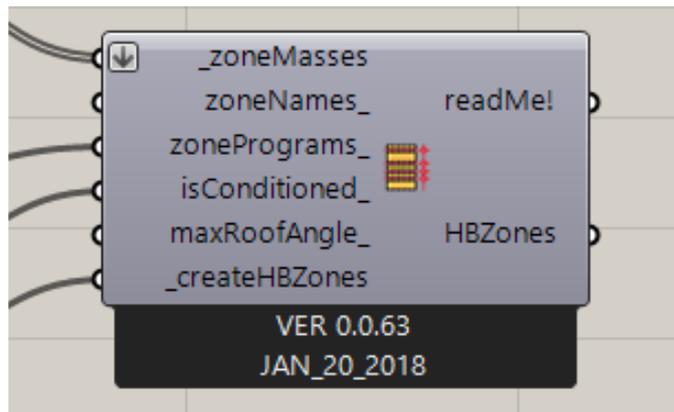
As configurações simples, aqui consideradas, são as mais básicas para que a simulação rode. Neste caso, não há possibilidade de especificar coisas como:

- materiais diferentes entre paredes
- tipos diferentes de janelas (tipos de abertura, tipo do vidro)
- uso diferente entre ambientes
- tipo diferente de condicionamento por ambiente (por exemplo, se numa residência os quartos forem condicionados e a sala não)

#### 4.1.1. *Honeybee\_Masses2Zones*

Descrição:

Transforma volumetrias em zonas térmicas (possuir propriedades de simulação energética) para a simulação. Este deve ser o primeiro ou um dos primeiros componentes no escopo de “simulação”, pois os componentes seguintes dependem já da configuração da volumetria como zona térmica.



Componentes obrigatórios:

- `_zoneMasses`: conectar aqui a volumetria da edificação.
- `_createHBZones`: booleana configurada em “True” para que as zonas térmicas sejam criadas.

Componentes importantes:

- `_zonePrograms_`: uso da edificação como um todo. Conectar `Honeybee_bldgPrograms`.
- `isConditioned_`: booleana configurada em “True” para que as zonas térmicas sejam consideradas condicionadas artificialmente.

#### 4.1.2. *Honeybee\_bldgPrograms*

Descrição:

Seleciona o tipo de uso da edificação



#### 4.1.3. *\_bldgProgram*

Descrição:

Abre a lista de possibilidades de uso diferenciado dos ambientes dentro do uso geral da edificação



#### 4.1.4. *Honeybee\_ItemSelector (List)*

Descrição:

Seleciona um uso de ambiente dentro do uso geral da edificação.



#### 4.1.5. *Honeybee\_addHBGlz*

Descrição:

Adiciona janelas (já modeladas) às respectivas paredes. Pode ser inserida uma por uma a cada superfície ou a lista de geometria de janelas, pois o componente reconhece superfícies as superfícies coplanares de parede e janelas.



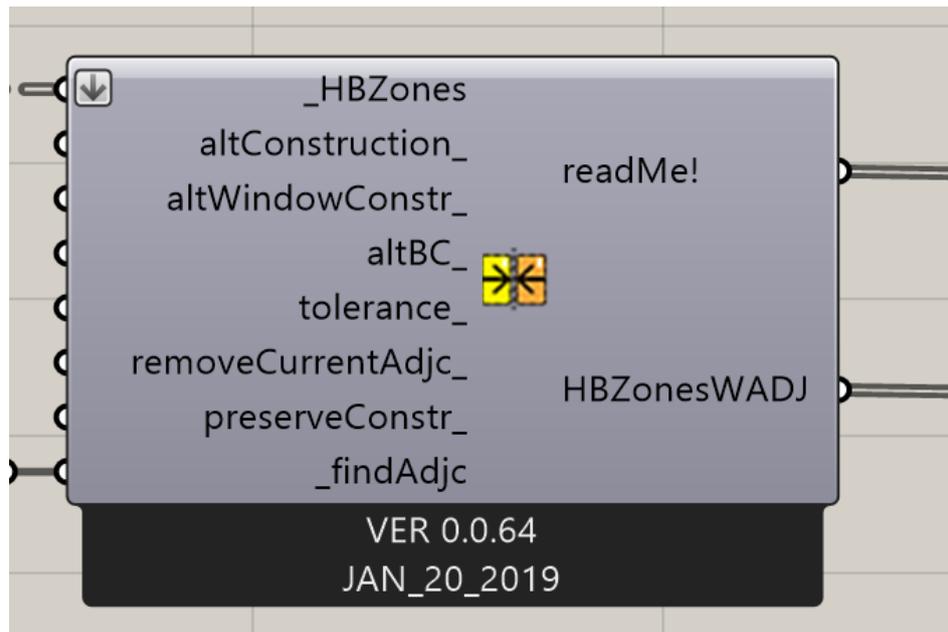
Componentes obrigatórios:

- *\_HBObj*: conectar os objetos de zonas térmicas (HBZones) ou de superfície(s) (HBSurface)
- *\_childSurfaces*: conectar a geometria da(s) janelas, em forma de Brep (caso sejam todas as janelas de uma vez) ou em superfície (caso conecte superfície por superfície).

#### 4.1.6. Honeybee\_Solve Adjacencies

Descrição:

Faz com que paredes coplanares (geralmente internas quando os ambientes são modelados de forma separada) sejam apenas uma ao simular a edificação.



Componentes obrigatórios:

- \_HBZones: conectar os objetos de zonas térmicas (HBZones).
- \_findAdjc: booleana configurada em "True" para que as paredes adjacentes sejam encontradas e transformadas.

## 4.2. Configurações específicas de arquitetura

Diferentemente das configurações simples, as configurações específicas permitem alterações mais específicas segundo o projeto. É interessante utilizar deste método desde o início caso alterações de materiais da envoltória e de uso de ambientes já seja considerada.

Apesar de mais trabalhosas do que as simples, estas configurações dão resultados de simulação mais próximos ao real e permitem maior flexibilidade nos testes realizados para melhoria do projeto.

### 4.2.1. Honeybee\_DecomposeHBZone

Descrição:

Divide uma zona térmica em uma lista de superfícies, que posteriormente podem ser configuradas separadamente. Para analisar os dados de saída, é interessante realizá-lo a partir de seleção de lista de itens.



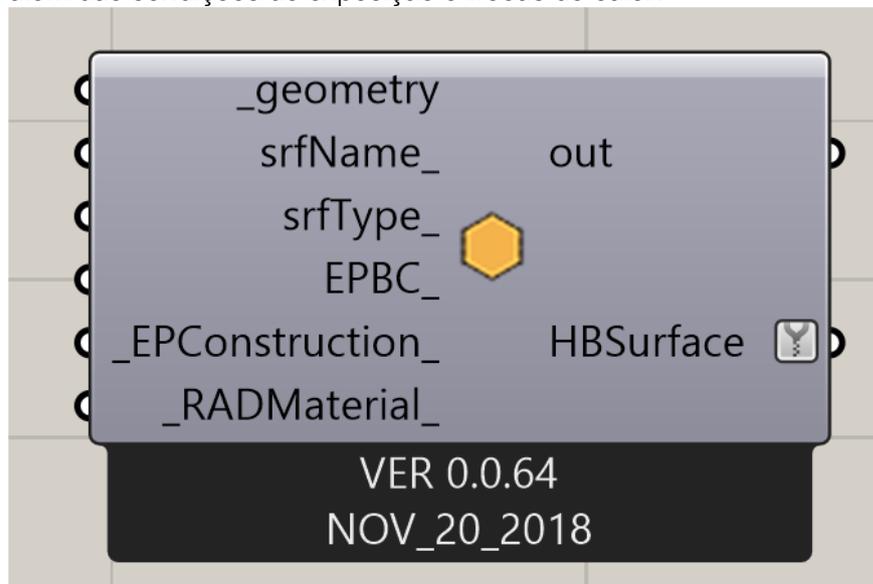
Componentes obrigatórios:

- \_HBZone: conectar o objeto de zona térmica.

#### 4.2.2. Honeybee\_CreateHBSrfs

Descrição:

Configura uma determinada superfície de acordo com o tipo, nome e material, além das condições de exposição e trocas de calor.



Componentes obrigatórios:

- \_geometry: geometria da superfície: pode vir de uma zona térmica já formada e explodida ou diretamente de uma superfície modelada no grasshopper.

Componentes importantes:

- \_EPConstruction: conectar um painel com o nome da composição de construção da superfície: tipo da cobertura, parede, piso.
- EPBC\_: situação da superfície. Se esta é uma superfície em contato com o meio externo (outdoors) se esta é considerada sem trocas de calor (adiabatic) ou se esta é uma superfície de contato com o solo, ou seja, o chão (ground).

#### 4.2.3. Honeybee\_CreateHBzones

Descrição:

Cria uma zona térmica a partir do conjunto de superfícies modeladas ou já definidas pelo componente anterior “Honeybee\_CreateHBSrfs”. É importante que se tenha um número de superfícies que feche um ambiente.



Componentes obrigatórios:

- HBSurfaces: todas as superfícies pertencentes a esta zona térmica.

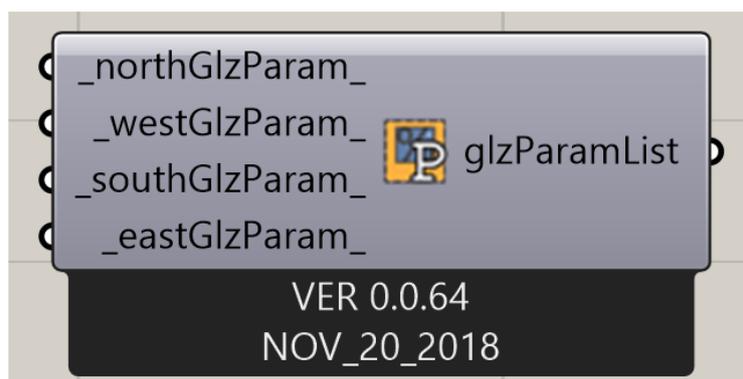
Componentes importantes:

- zoneProgram\_: tipo de uso da zona: comercial, residencial, etc.
- \_name: painel com um nome dado à zona para que seja mais fácil de analisar os resultados da simulação.
- isConditioned\_: conectar uma booleana que configura se a zona térmica deve ser considerada como condicionada ou não. Uma booleana configurada em “True” considera a zona como condicionada artificialmente.

#### 4.2.4. Honeybee\_Glazing Parameters List

Descrição:

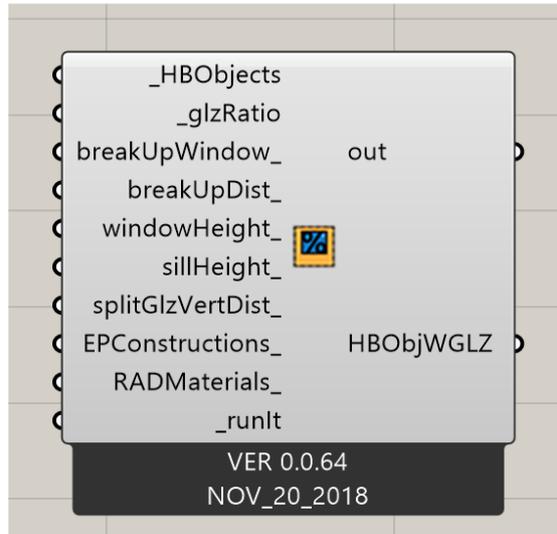
Cria percentual de aberturas de fachada segundo a orientação das fachadas. Conectada ao item a seguir, caso deseje adicionar janelas a todas as fachadas mais rapidamente.



#### 4.2.5. Honeybee\_Glazing based on ratio

Descrição:

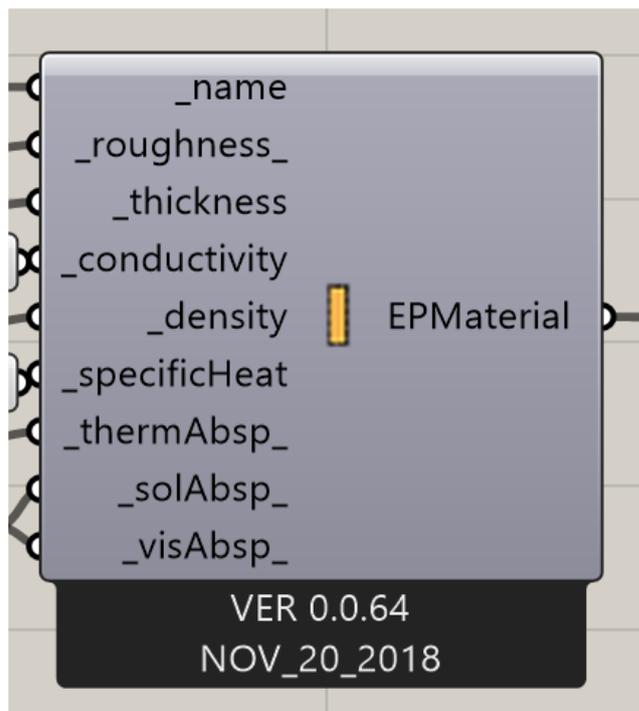
Conecta as superfícies de parede ou a zona térmica e adiciona o percentual de abertura da fachada (no caso da superfície) ou das fachadas, no caso da zona. Para variações distintas em fachadas de orientações diferentes, utilizar o componente anterior “Honeybee\_Glazing Parameters List”. Necessário conectar uma booleana configurada para “true” para que as aberturas sejam geradas.



#### 4.2.6. Honeybee\_EnergyPlus Opaque Material

Descrição:

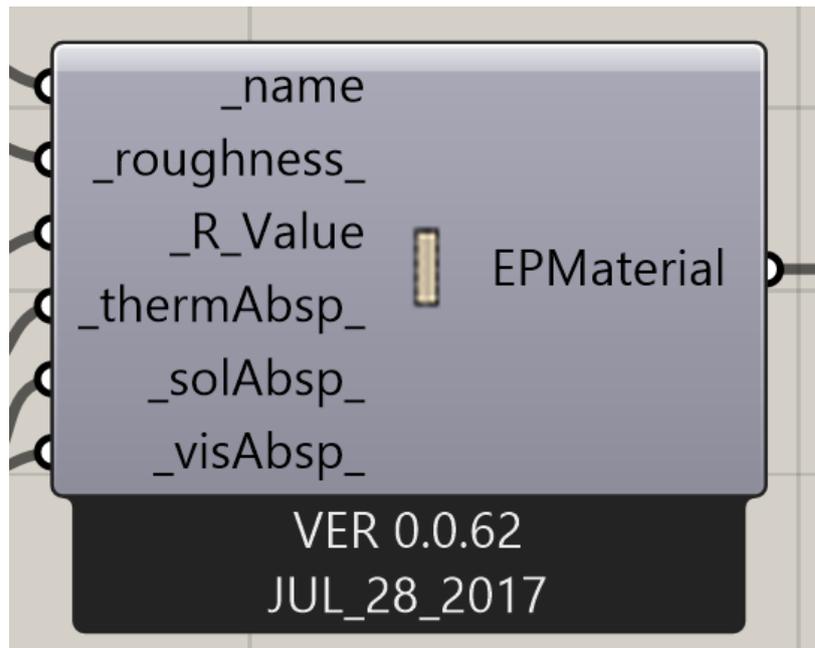
Cria um material opaco comum a partir de suas características principais. Necessário conectar ao item “Honeybee\_Add to EnergyPlus Library”.



#### 4.2.7. Honeybee\_EnergyPlus NoMass Opaque Material

Descrição:

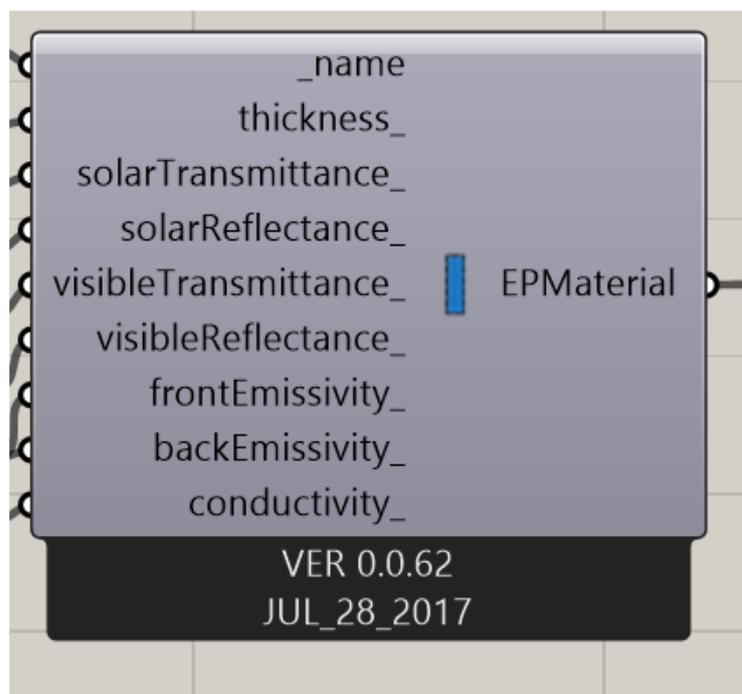
Cria um material opaco de isolamento a partir de suas características principais. Necessário conectar ao item “Honeybee\_Add to EnergyPlus Library”.



#### 4.2.8. Honeybee\_EnergyPlus Glass Material

Descrição:

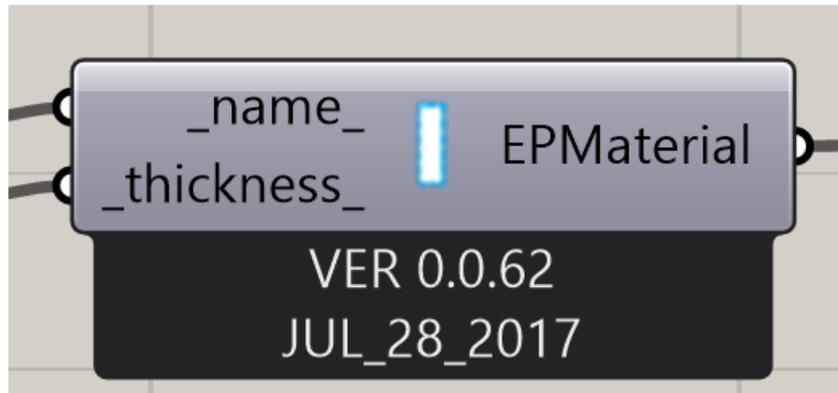
Cria um tipo de vidro a partir de suas características principais. Necessário conectar ao item “Honeybee\_Add to EnergyPlus Library”.



#### 4.2.9. Honeybee\_EnergyPlus Window Air Gap

Descrição:

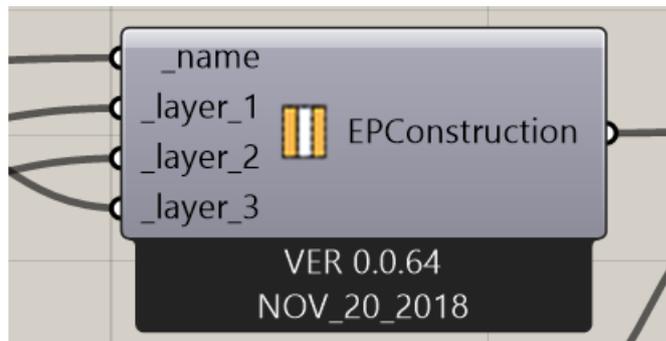
Cria uma camada de ar, dependendo apenas do nome e da espessura da camada. Necessário conectar ao item “Honeybee\_Add to EnergyPlus Library”.



#### 4.2.10. Honeybee\_EnergyPlus Construction

Descrição:

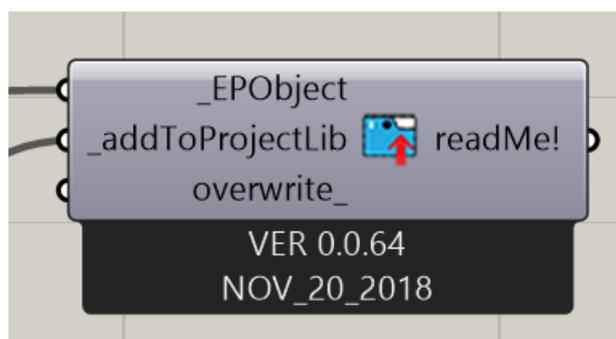
Mescla materiais criados em camadas para que se gere uma composição de vedação, como por exemplo, uma parede. Necessário conectar ao item “Honeybee\_Add to EnergyPlus Library”.



#### 4.2.11. Honeybee\_Add to EnergyPlus Library

Descrição:

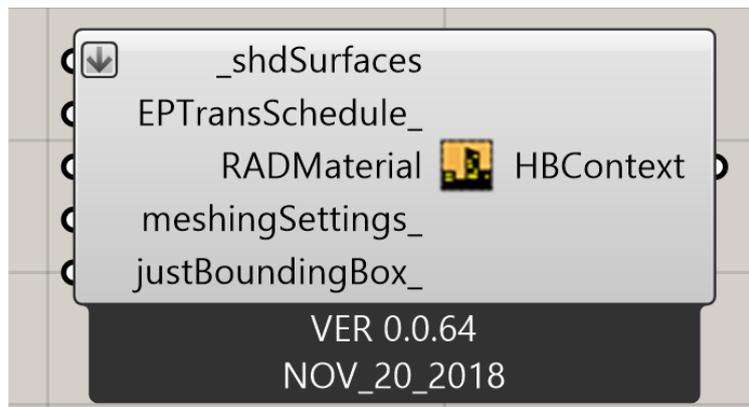
Adiciona itens criados no programa (como materiais e composições de vedação) à biblioteca do arquivo, para que possa ser utilizada nos componentes, como nas superfícies de parede e coberturas anteriormente citadas.



#### 4.2.12. Honeybee EP contexto Surfaces

Descrição:

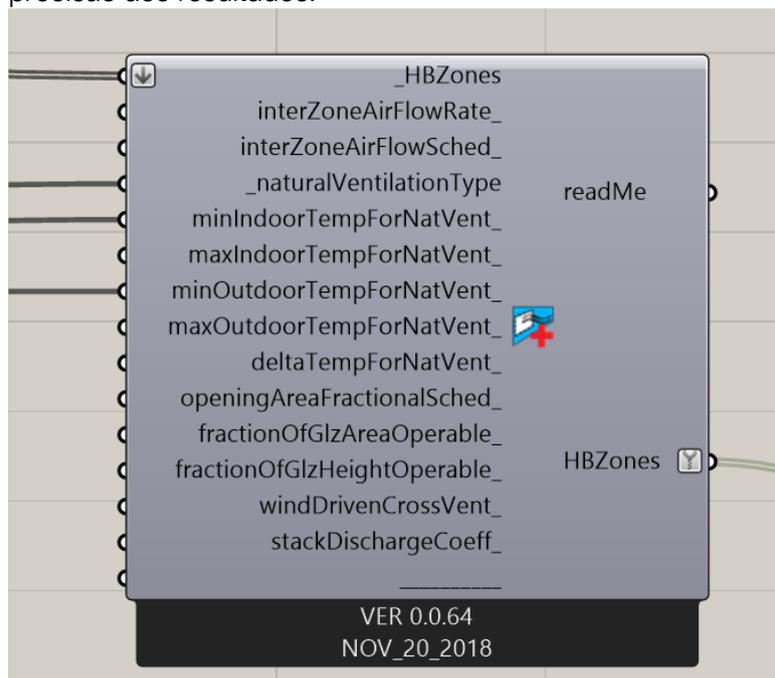
Considera a influência do entorno da edificação analisada na simulação. Necessário apenas criar as superfícies e volumetrias externas a serem conectadas na entrada de `_shdSurfaces`. A saída de `HBContext` é conectada diretamente no componente de simulação



#### 4.2.13. Honeybee\_Set EP Air Flow

Descrição:

Componente que configura a ventilação natural dos ambientes. Não obrigatório para que a simulação seja realizada, mas é um componente que pode dar mais precisão aos resultados.



Componentes obrigatórios:

- `_HBZones`: conectar os objetos de zonas térmicas (`HBZones`).
- `_naturalVentilationType`: número que indica o tipo de ventilação natural, sendo o mais comum o "1" para ventilação natural de janelas. O "0" se aplica caso não haja nenhum tipo de ventilação natural. O "2" é em caso de modelagem de ventilação natural específica (como chaminés ou "capuz")

Componentes importantes:

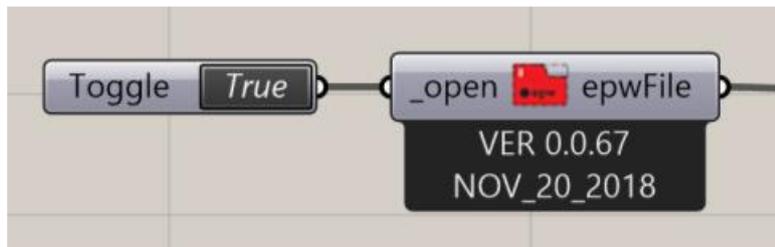
- `minIndoorTempForNatVent_`: temperatura mínima interna em que o usuário abre a janela da edificação. Ex.: se for 23, representa que o usuário abre a janela a partir de quando o ambiente atinge 23 graus em diante.
- `minOutdoorTempForNatVent_`: temperatura mínima em que o usuário abre a janela. Ex.: combinado com o caso cima, representa a temperatura mínima externa pra que a janela se abra. Ideal colocar o menor valor possível.
- `deltaTempForNatVent_`: variação de temperatura interna e externa para que a janela se abra, ou seja, caso a temperatura externa esteja mais alta que a interna, a janela pode não abrir mesmo estando acima de 23 graus, como o exemplo acima.

## 5. CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO

### 5.1. Ladybug\_Open EPW Weather File

Descrição:

Componente que seleciona um arquivo climático para a simulação. Neste componente o arquivo climático já deve estar salvo no computador.



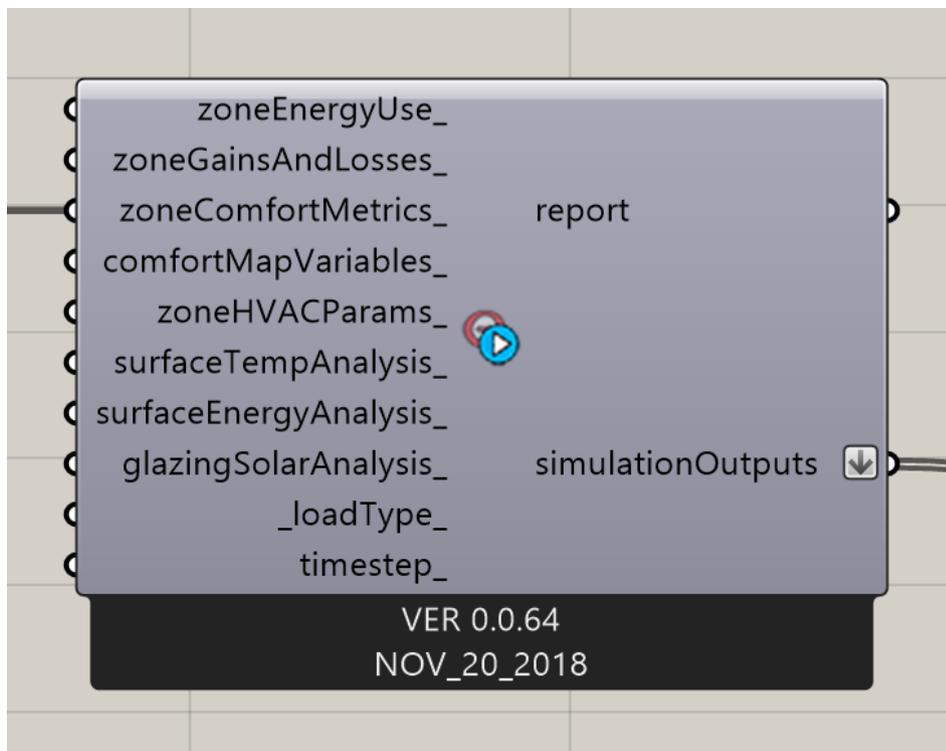
Componentes obrigatórios:

- `_open`: abre o arquivo climático a partir do computador. Funciona a partir de uma booleana configurada em "True".

### 5.2. Honeybee\_Generate EP Output

Descrição:

Componente que seleciona os outputs da simulação.



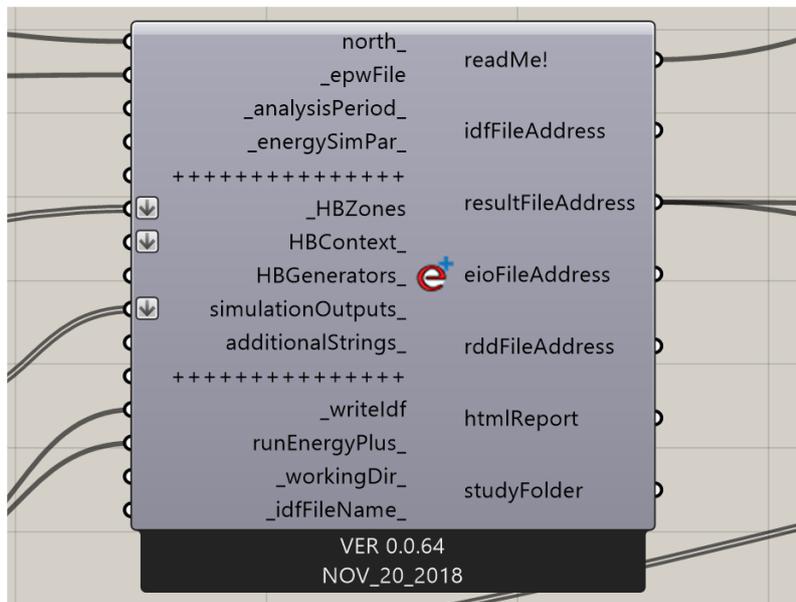
Componentes obrigatórios:

- Nenhum componente é obrigatório, mas ao menos um deve ser selecionado. Os outputs escolhidos devem estar conectados a uma booleana configurada em "True".

### 5.3. Honeybee\_Run Energy Simulation

Descrição:

Componente que realiza a simulação. Este componente conecta o Grasshopper ao EnergyPlus e realiza a simulação a partir de todas as informações anteriormente configuradas.



Componentes obrigatórios:

- **\_epwFile**: arquivo climático da cidade em que se localiza o projeto.
- **\_HBZones**: conectar os objetos de zonas térmicas (HBZones).
- **simulationOutputs\_**: componente anterior que configura quais resultados devem ser calculados pela simulação.
- **\_writelf** e **runEnergyPlus\_**: ambos conectados a uma booleana. Em "True" a simulação ocorre. Em "False" a simulação não roda, **importante deixar em "False" para que as alterações de projeto sejam feitas sem travar o programa.**

Componentes importantes:

- **north**: azimuth de orientação do modelo em relação ao norte. É interessante ser colocado caso a orientação do modelo seja algo a ser variada e analisada.
- **\_analysisPeriod\_**: em caso de analisar o projeto para um determinado período do ano apenas (como estações, meses específicos, etc).
- **HBContext\_**: caso a edificação ou o terreno tenha influência de vizinhança, como árvores e edifícios, essa deve ser modelada e adicionada nesse parâmetro para que seja levada em conta como sombreamento, principalmente.
- workingDir\_**: local em que deseja salvar o arquivo .idf de simulação
- **\_idfFileName\_**: nome dado ao arquivo .idf de simulação.

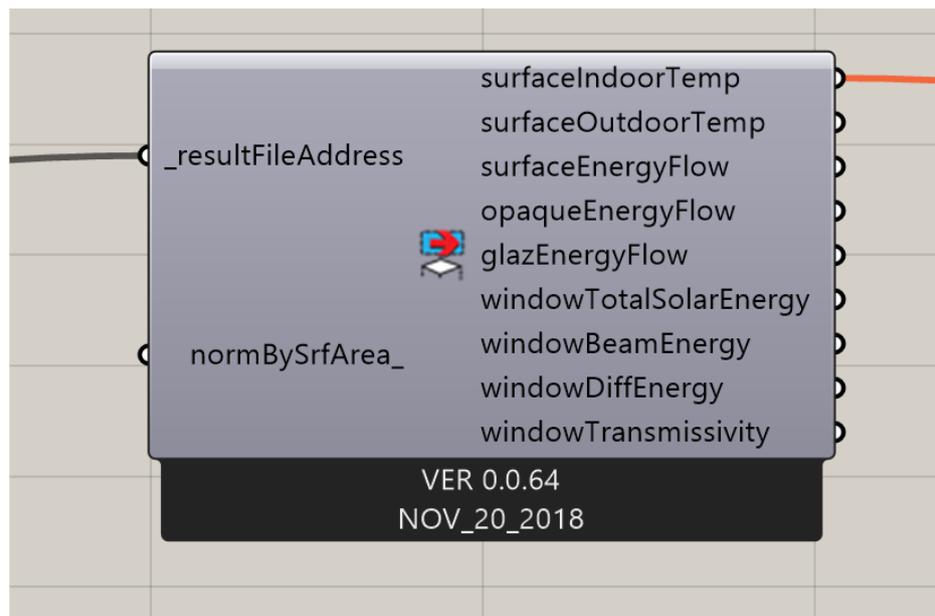
## 6. VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Análise de superfícies

#### 6.1.1. Honeybee\_Read Surface EP Result

Descrição:

Componente que reorganiza os outputs gerados pela simulação e os divide para análise individual, como por exemplo: temperatura da superfície interna; temperatura da superfície externa; fluxo de energia da superfície; etc.



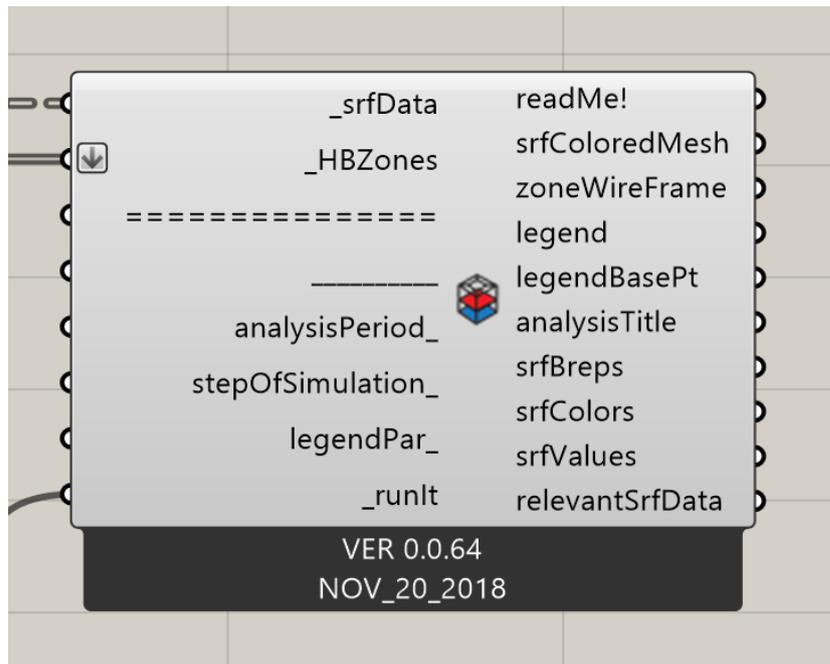
Componentes obrigatórios:

- \_resultFileAddress: resultado do componente de simulação "Honeybee\_Run Energy Simulation".

#### 6.1.2. Honeybee\_Color Surfaces By EP Result

Descrição:

Componente que colore as superfícies do edifício segundo o resultado do output escolhido em "Honeybee\_Read Surface EP Result".



Componentes obrigatórios:

- `_srfData`: resultado escolhido do componente de simulação *"Honeybee\_Read Surface EP Result"*.
- `_HBZones`: conectar os objetos de zonas térmicas (HBZones).
- `_runIt`: booleana configurada em "True" para que as superfícies fiquem coloridas de acordo com o resultado.

Componentes importantes:

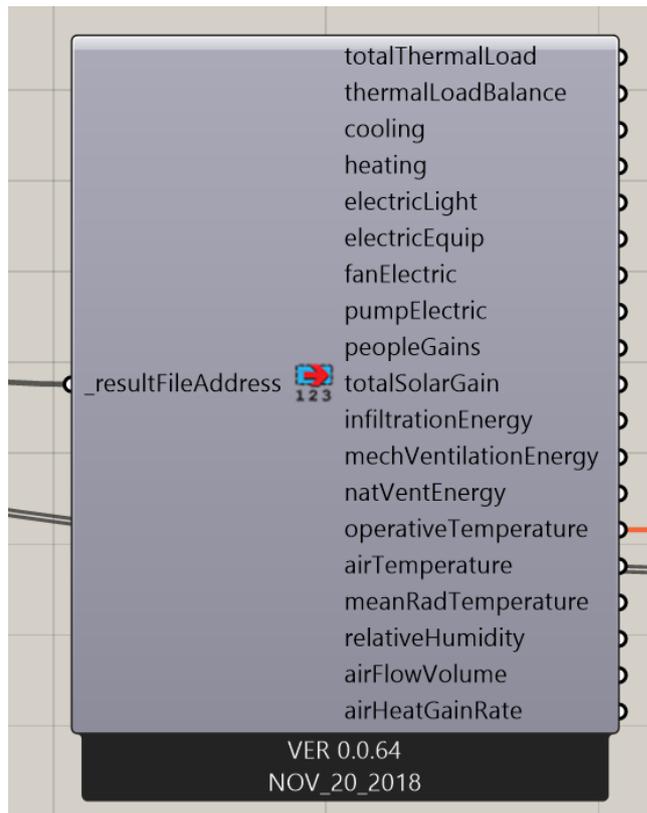
- `analysisPeriod_`: em caso de analisar o projeto para um determinado período do ano apenas (como estações, meses específicos, etc).
- `legendPar_`: altera as configurações de cor e intervalo de valores para visualizar.
- `stepOfSimulation_`: inserir um número equivalente à hora em que deseja analisar os valores. Por exemplo, ao escolher o "15", analisa-se os resultados das superfícies para as 15hrs. (ao configurar este input, o input `analysisPeriod_` não funciona)

## 6.2. Análise de zonas térmicas

### 6.2.1. Honeybee\_Read EP Result

Descrição:

Componente que reorganiza os outputs gerados pela simulação e os divide para análise individual, como por exemplo: consumo de resfriamento; consumo de aquecimento; temperatura operativa; temperatura do ar; etc.



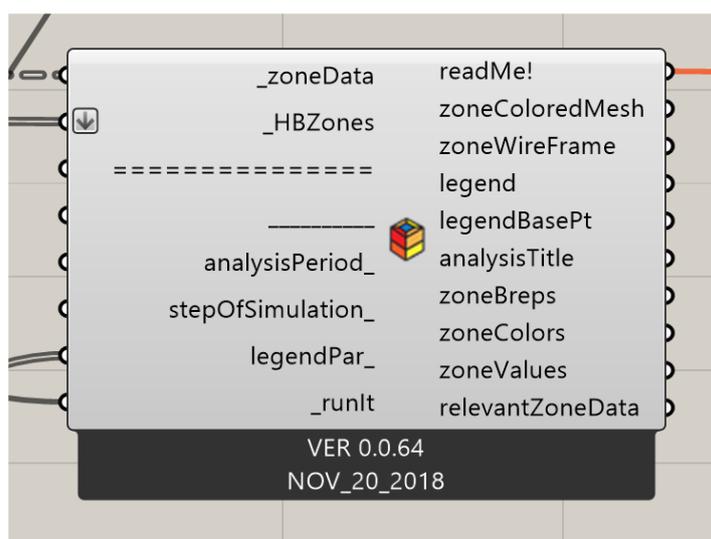
Componentes obrigatórios:

- `_resultFilePath`: resultado do componente de simulação “*Honeybee\_Run Energy Simulation*”.

### 6.2.2. *Honeybee\_Color Zones By EP Result*

Descrição:

Componente que colore as zonas térmicas do edifício segundo o resultado do output escolhido em “*Honeybee\_Read EP Result*”.



Componentes obrigatórios:

- `_srfData`: resultado escolhido do componente de simulação “*Honeybee\_Read EP Result*”.
- `_HBZones`: conectar os objetos de zonas térmicas (HBZones).

- `_runIt`: booleana configurada em “True” para que as zonas térmicas fiquem coloridas de acordo com o resultado.

Componentes importantes:

- `analysisPeriod_`: em caso de analisar o projeto para um determinado período do ano apenas (como estações, meses específicos etc.).
- `legendPar_`: altera as configurações de cor e intervalo de valores para visualizar.
- `stepOfSimulation_`: inserir um número equivalente à hora em que deseja analisar os valores. Por exemplo, ao escolher o “15”, analisa-se os resultados das superfícies para as 15hrs. (ao configurar este input, o input `analysisPeriod_` não funciona)

**APÊNDICE C – Modelo de relatório**

**(CAPA)**

## **1. ANÁLISE DO CLIMA**

Descrever e analisar o clima escolhido para o trabalho segundo o Climate Consultant. Análise das variáveis e das estratégias bioclimáticas para esta cidade.

## **2. ESTUDO DO TERRENO**

Estudo do terreno recebido. Nesta seção, analisar a disponibilidade de vento pela rosa dos ventos, a disponibilidade de sol e a relação com as temperaturas médias diárias. Relacione as estratégias traçadas anteriormente com a disponibilidade no terreno atual por meio de um diagnóstico. Adicione imagens.

### **3. ANÁLISES POR SIMULAÇÃO**

Após a análise do clima e do estudo do terreno, realiza-se o estudo da interação do projeto com o clima em que está inserido. A partir desta seção, devem ser feitas alterações na volumetria, aberturas, materiais e implantação da edificação e devem estar baseadas na melhora dos indicadores de conforto, bem como na melhoria de períodos considerados críticos para este clima.

Para isso, deve ser realizada uma simulação inicial para o seu clima, sem nenhum tipo de alteração. A partir dos resultados dessa primeira simulação você tomará as diretrizes de alteração da edificação indicada na busca da melhoria do seu desempenho.

#### **3.1. ANÁLISE 01**

A primeira análise se dá sem nenhuma alteração do arquivo base deste exercício, apenas com a simulação destas configurações básicas.

#### **ANÁLISE:**

Descrever os resultados da primeira simulação e analisá-los. Qual problema você percebeu? Em qual parâmetro? Por que você acha que esse resultado ocorreu?

#### **ALTERAÇÃO:**

A partir da análise anterior, qual alteração no volume, ou nas aberturas, ou nos materiais, ou na implantação você pretende fazer para melhorar este parâmetro? (apenas descreva, ainda não realize a simulação com nova alteração). Em qual melhoria você pretende chegar, e porque essa alteração poderia chegar no seu objetivo?

#### **RESULTADO:**

Depois alterar o parâmetro anteriormente descrito, realizar a nova simulação. O que você esperava ocorreu? Você conseguiu alguma melhoria como esperava? Se não, o que você acha que pode ter influenciado?

**ADICIONE AQUI A IMAGEM DA TELA  
(COM O RESULTADO DA SIMULAÇÃO)**

### **3.2.ANÁLISE 02**

Todas as próximas análises devem ser baseadas na alteração e na simulação anterior.

#### **ANÁLISE:**

Conforme o resultado da alteração anterior, qual parâmetro você melhoraria? Qual o novo problema analisado, ou qual a melhoria que ainda deve ser feita? Por que?

#### **ALTERAÇÃO:**

Qual a nova alteração que você pretende fazer para alcançar a melhoria proposta? Qual é o objetivo de melhoria agora? (Novamente sem realizar a simulação com a alteração proposta, apenas a ideia e onde se espera chegar com a nova simulação)

#### **RESULTADO:**

Realizar a alteração proposta desta análise e a simulação. Analise os resultados encontrados: O que você esperava agora ocorreu? Se não, o que você acha que pode ter influenciado?

**ADICIONE AQUI A IMAGEM DA TELA  
(COM O RESULTADO DA SIMULAÇÃO)**

### **3.3. ANÁLISE **XX****

Realize diversas análises seguindo o modelo das anteriores. O objetivo é a melhoria no desempenho da edificação apresentada para o clima estudado.

**ANÁLISE:**

xxx

**ALTERAÇÃO:**

xxx

**RESULTADO:**

xxx

**ADICIONE AQUI A IMAGEM DA TELA  
(COM O RESULTADO DA SIMULAÇÃO)**

### **3.4. RESULTADO FINAL**

#### **DESCRIÇÃO:**

Quais foram as melhores soluções encontradas? Como ficou a configuração final da edificação? (Dimensões da volumetria, aberturas, rotação do modelo, implantação, materiais utilizados)

#### **CONCLUSÕES:**

Analise as suas soluções finais encontradas para esse projeto. Quais foram as limitações para as diretrizes traçadas inicialmente? A partir dos resultados não esperados anteriormente, você tirou alguma nova conclusão sobre o desempenho da edificação?

**ADICIONE AQUI A IMAGEM DA CONFIGURAÇÃO FINAL DO MÓDULO**

**APÊNDICE D – Questionário final do experimento piloto**

# Formulário de satisfação - Oficina

O presente formulário analisa a satisfação do aluno em relação às aulas lecionadas e ao exercício proposto na oficina de Simulação computacional nas fases iniciais de projeto. O presente formulário também analisa a futura aplicabilidade do tema abordado.

**\*Obrigatório**

1. Classifique a aula 01, que revisou conceitos de conforto térmico e desempenho térmico de edificações, segundo os termos a seguir: \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Pouco	Satisfatório	Muito
Entendimento dos termos apresentados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Importância para o exercício final	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Importância para projetar futuramente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Classifique a aula 02, que apresentou conceitos de simulação energética de edificações, segundo os termos a seguir: \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Pouco	Satisfatório	Muito
Entendimento dos termos apresentados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Importância para o exercício final	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Importância para projetar futuramente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Classifique as aulas 03 e 04, que consistiu no desenvolvimento do trabalho e na orientação de dúvidas \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	Pouco	Satisfatório	Muito
Tempo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Orientação quanto às dúvidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entendimento dos resultados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Você considerava parâmetros bioclimáticos ao projetar anteriormente? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim, sempre
- Não, nunca
- Às vezes

5. Você pretende considerar parâmetros bioclimáticos e de desempenho da edificação a partir de agora ao projetar? \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Sim, pretendo considerá-los
- Sim, já considerava alguns mas pretendo considerar com mais estudos
- Não, já considerava o suficiente
- Não, não pretendo

6. Você não considera aplicar simulação ao processo de projeto, por que? (você pode selecionar mais de uma resposta) \*

*Marque todas que se aplicam.*

- A montagem da simulação é complicada
- A simulação é demorada
- O conteúdo não me interessa
- Não compreendo os resultados
- Mesmo entendendo o resultado, não sei quais parâmetros de projeto devo alterar
- Considero!

Outro:  \_\_\_\_\_

7. Você considera aplicar simulação ao processo de projeto, por que? (você pode selecionar mais de uma resposta) \*

*Marque todas que se aplicam.*

- A montagem da simulação é simples
- A simulação tem tempo razoável/bom
- O conteúdo me interessa
- Os resultados são de fácil compreensão
- Não considero!

Outro:  \_\_\_\_\_

8. Deseja deixar algum comentário sobre o assunto?

---

---

---

---

---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

**Google** Formulários

## APÊNDICE E – 2º Experimento - Arquitetos

O último experimento teve como foco o estudo do método de ensino de simulação em arquitetos já formados e inseridos no mercado de trabalho. Visto isso, na busca por maior abrangência e possibilidade de arquitetos na pesquisa, além de respostas positivas do questionário sobre o interesse no tema, o experimento se passou em São Paulo – SP, isso porque muitas respostas do questionário vieram de escritórios e arquitetos de lá.

O curso foi condensado em dez horas, divididas durante três noites. Anterior ao curso, foram realizadas divulgações online por meio de cartazes e vídeos curtos sobre o tema, além de um *webinar* ao final com o intuito de causar mais interesse e tirar dúvidas dos possíveis participantes. Este conteúdo foi divulgado para a mesma lista de arquitetos na qual o questionário inicial desta pesquisa foi repassado. No *webinar* estiveram presentes até 30 espectadores na duração de uma hora.

Por fim, o curso contou com sete participantes, sendo apenas três arquitetos. Dos três, apenas dois permaneceram até o final das aulas e um destes dois teve problemas com as simulações no seu computador, totalizando um trabalho final de um profissional com esta formação. Com isso, vale ressaltar que, assim como já exposto no estudo piloto na Etapa 1, o tempo foi curto para o ensino e para os arquitetos realizarem as análises. Não houve tempo suficiente para assimilar o programa de modelagem, de modo que o desenvolvimento do exercício não fosse comprometido. Por outro lado, os participantes tinham grande interesse no assunto, o que gerou discussões durante o curso e não demonstraram problemas ao assimilar a conceituação de simulação, de modo geral.

Mesmo o arquiteto que conseguiu realizar o trabalho, o fez de forma diferente do original visto que o mesmo teve problemas com o arquivo base, e possibilitou apenas algumas análises mais simples, sem considerações de entorno.

Assim como no estudo piloto nos estudantes de arquitetura, aplicou-se o mesmo questionário ao final do curso a fim de compreender as melhorias interessantes para o ensino, entender o perfil dos participantes e compreender seu interesse no tema. Infelizmente, apenas um arquiteto respondeu ao questionário final, enquanto um engenheiro e um estudante de arquitetura também o responderam. De modo geral estes participantes já tinham obtido experiência com simulação termo-energética anteriormente, e em alguns casos, já trabalhavam com isso anteriormente ao curso, o que ocasionou em um feedback totalmente positivo quanto à experiência, materiais disponíveis e, conseqüentemente, continuar estudando e trabalhando

com o tema. Ainda sendo majoritariamente positivo, é importante ressaltar que os únicos pontos negativos da experiência foram relacionados a problemas técnicos, como o programa não funcionar no computador ou a demora inviabilizar sua utilização, e por isso, também considerar a simulação lenta.