

Marina Dal Zot von Meusel

**INVESTIGAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA ÀS ETAPAS
INICIAIS DO PROCESSO DE PROJETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Fernando Simon Westphal,
Dr.

Florianópolis
2016

Marina Dal Zot von Meusel

**INVESTIGAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE
DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA ÀS ETAPAS
INICIAIS DO PROCESSO DE PROJETO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo-PósArq, da Federal de Santa Catarina- UFSC.

Florianópolis, 2016.

Prof. Renato T. Saboya, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo.

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Ripper Kos, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Meu sentimento de gratidão começa desde a conclusão da minha graduação como arquiteta e urbanista. Agradeço aos professores avaliadores do meu trabalho de conclusão de curso por incentivarem que eu buscasse a obtenção do título de mestra em arquitetura e urbanismo.

Nestes dois anos, as mudanças foram enormes e o apoio da minha família foi essencial em incentivar e encorajar meus sonhos. Obrigada aos meus pais e a minha irmã por entenderem a minha ausência durante este tempo e por curtirem esta fase junto à mim. Agradeço também as minhas tias, Tânia e Ana, por sempre me mostrarem que os sonhos devem ser alcançados e vividos.

Aos professores do Programa, agradeço por terem compartilhado seus conhecimentos e pelos conselhos. Obrigada ao meu orientador, Fernando Simon Westphal, por ter me auxiliado à realizar este sonho e pela possibilidade de executar a pesquisa. Agradeço-o principalmente pelo conhecimento científico e por partilhar angústias e conquistas comigo.

Obrigada aos meus colegas e companheiros de mestrado que me encontraram logo no início do Programa e tornaram tudo mais divertido e proveitoso. Obrigada Bianca, Bruno e Nathalia Bula pela parceria. Obrigada às minhas amigas doutorandas Katiane e Paula por dividirem suas experiências comigo. Agradeço a minha amiga mestra Maira Pires, por sempre ter sido tão gentil em compartilhar seus conhecimentos e por ser, muitas vezes, minha referência à conclusão desta pesquisa.

Obrigada aos meus colegas de Laboratório, principalmente a Nathalia Giraldo, Rupp e Raphaela por fazerem parte do meu dia a dia e partilharem os momentos felizes e as dificuldades encontradas ao longo do período. À nossa querida Leticia Moraes, que nos deixou saudades, agradeço por, muitas vezes, ter sido minha guia no Laboratório. Aos amigos mestrados que encontrei ao longo do caminho, Gabriela, Matheus, Monica, Natalia Rosa e Raquel, obrigada pelos instantes de descontração e por tornarem tudo mais leve.

E por fim, minha gratidão é por todos aqueles que fizeram parte dos momentos vividos ao longo destes anos. Obrigada também ao pessoal do escritório onde esta pesquisa foi realizada. Agradeço especialmente aos arquitetos sócios proprietários da empresa por terem colaborado sempre que necessário e tornarem viável a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Atualmente, o ambiente construído é umas das principais fontes de consumo energético. A integração do projeto de arquitetura às questões ambientais torna-se essencial para minimizar o dispêndio de energia dos edifícios e reduzir as emissões de CO₂. Nas primeiras etapas do processo de projeto são lançadas as soluções de arquitetura que caracterizam as edificações e determinaram o desempenho final das edificações. Nesta fase a seleção de estratégias de projeto, normalmente, ocorre por experiência e por intuição dos arquitetos e não considera análises de desempenho ambiental. Inserir conceitos de eficiência energética durante as primeiras etapas do processo de projeto, por meio de programas de simulação computacional de desempenho é uma das formas de alcançar edifícios mais eficientes. Ferramentas de simulação permitem prever o consumo de energia e obter dados de conforto dos edifícios. Quando aplicados ainda às etapas iniciais, esses programas, possibilitam o refinamento gradual do projeto e auxiliam o projetista na tomada racional de decisão. Entretanto, a inclusão de simulação nas primeiras fases projetuais ainda não compõe as atuais metodologias de processo de projeto. O objetivo deste estudo é o desenvolvimento de um método que incorpore as ferramentas de simulação às primeiras etapas de projeto em um escritório de arquitetura. A metodologia desenvolvida compreende o diagnóstico de estrutura de trabalho do escritório, a realização de análise de desempenho energético em etapas iniciais de projetos elaborados pelo escritório e a avaliação final do processo realizado. Três estudos de caso foram escolhidos para aplicação de análises energéticas. Os resultados de simulação dos casos apontam o potencial da utilização de ferramentas de desempenho como auxílio à tomada de decisão dos arquitetos na seleção de estratégias projetuais. Parâmetros de geometria e de composição da envoltória foram investigados e definidos por meio de dados energéticos, ainda nas primeiras etapas do processo de projeto, nos três casos analisados. Verificou-se a dificuldade dos arquitetos na compreensão dos indicadores de energia extraídos, demonstrando que os conceitos de física aplicada, como transferência de calor, não fazem parte do cotidiano de projeto. A falta de compreensão dos dados de saída foi uma barreira para os projetistas entenderem as causas dos fenômenos ambientais analisados. Foi constatada a complexidade de utilizar programas de desempenho durante as fases iniciais. As ferramentas de simulação requererem informações muito detalhadas, ainda desconhecidas nas primeiras etapas de partido arquitetônico. As conclusões salientam que para integrar programas de simulação às primeiras fases do projeto é necessário que os

registros de entrada sejam simplificados e muitas vezes pressupostos nas ferramentas, viabilizando a execução de simulação de desempenho. O processo de análise energética deve ocorrer de forma rápida, possibilitando o retorno ao projetista e o auxílio à atividade de projeto. Para alcançar a tomada de decisão da equipe de projeto, a apresentação dos dados necessita ser amigável aos arquitetos a fim de facilitar o entendimento dos registros energéticos.

Palavras-chave: Simulação computacional de desempenho. Processo inicial de projeto. Escritório de arquitetura. Tomada de decisão. Estratégias de projeto.

ABSTRACT

Currently, the built environment is a major source of energy consumption. The integration of architectural design with environmental issues becomes essential to minimize the energy expenditure of buildings and reduce CO₂ emissions. In the early stages of the design process are defined the architectural solutions that characterize the building and determined the final performance of buildings. The selection of design strategies usually occurs by experience and intuition of the architect and does not consider environmental performance analysis. Insert energy efficiency concepts during the early stages of the design process by computer simulation performance programs, it is one of the ways to achieve more efficient buildings. Simulation tools allow to predict energy consumption and get comfort data. While still applied to the initial stages, these programs enable the gradual refinement of the proposal and help the designer in rational decision making. However, despite the benefits of this practice are consolidated, the inclusion of simulation to conceptual stages yet composes the current design process methodologies. The aim of this study is to develop a method that incorporates the simulation tools in the early stages of design in an architectural office. The methodology includes the diagnosis of the architects working structure, the energy performance analysis applied in the initial stages of projects elaborate by office designers and evaluation of the implemented process. The performance objective of performance analysis reaches the decision-making of architects through the selection of architectural strategies evaluated by computer simulation. Three case studies, in the early design stages, were chosen for the application of energy analysis. The simulation results of cases show the potential of performance tools in the selection of design strategies. The ability to set the parameters of geometry and envelopment still in the early stages of the design process was raised. The difficulty of architects to understand the extracted energy indicators show that physical concepts applied, such as heat transfer, are not part of the project daily. The lack of understanding of the output data becomes a barrier for designers to understand the causes of environmental phenomena analyzed. The complexity was found to simulate during the early stages was verified. The very detailed information requires simulation tools still unknown in the early stages of architectural design. The conclusions point out that to integrate simulation programs to the first phase of the project is necessary for the process to occur quickly, allowing the return to the designer. The input should be simplified and often assumptions in tools to enable the performance simulation run. The data

presented need to be friendly to architects in order to facilitate understanding of energy records and achieve making the team decision.

Keywords: Computer simulation performance. Early design stages. Architecture office. Decision-making. Design strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção de CO ₂ pelos edifícios para o ano de 2030.	22
Figura 2- O impacto das decisões e o uso de ferramentas computacionais durante as diferentes fases do processo de projeto.	26
Figura 3- Ferramentas de simulação de desempenho energético para edifícios.	31
Figura 4- Biblioteca da Free University.	35
Figura 5- Commerce Bank.	36
Figura 6- Planta baixa de forma triangular do Commerce Bank (sem escala).	37
Figura 7- Diretrizes para alcançar um bom projeto de arquitetura.	39
Figura 8- Tomada de decisão a partir do uso de ferramentas de simulação térmica.	42
Figura 9- Impacto de proteções solares de diferentes profundidades na carga térmica de resfriamento de uma unidade residencial.	44
Figura 10- Fases do projeto de arquitetura.	46
Figura 11- A simulação de desempenho integrada às fases iniciais do processo de projeto.	54
Figura 12- Fluxograma de projeto arquitetônico integrado ao processo de simulação ambiental.	55
Figura 13- A relação entre as ferramentas de simulação de desempenho e os arquitetos.	58
Figura 14- A tomada de decisão a partir da avaliação de desempenho do projeto.	62
Figura 15- Etapas do método desenvolvido.	66
Figura 16- As etapas de análise de desempenho energético.	72
Figura 17- As etapas iniciais de projeto e a modelagem térmica.	78
Figura 18- Diagrama das fases de projeto abordadas no escritório.	84
Figura 19- Caso 1, projeto de edificação institucional de escritórios, em Curitiba (PR).	91
Figura 20- Caso 2, projeto de hotel, em Florianópolis (SC).	91
Figura 21- Caso 3, retrofit de edifício institucional de escritórios, em Florianópolis (SC).	92
Figura 22- Proposta de volume 1.	97
Figura 23- Proposta de volume 2.	97
Figura 24- Caso 1, proposta 1, divisão do volume em 2 zonas térmicas (sem escala).	101
Figura 25- Caso 1, proposta 2, divisão do volume em 6 zonas térmicas (sem escala).	101

Figura 26- Comparação de dados de radiação difusa no plano horizontal.	102
Figura 27- Caso 1, proposta 1, modelagem de duas zonas térmicas, sem escala.....	103
Figura 28- Caso 1, proposta 2, modelagem de seis zonas térmicas, sem escala.....	103
Figura 29- Caso 1, consumo energético por m ²	105
Figura 30- Caso 1, radiação solar total incidente nas superfícies da envoltória	105
Figura 31- Implantação de projeto da proposta 2, sem escala.....	107
Figura 32- Caso 1, modelo energético com WWR de 84% (sem escala).	109
Figura 33- Caso 1, modelo energético com WWR de 43% (sem escala).	109
Figura 34- Caso 1, ganho de calor nas janelas noroeste.....	110
Figura 35- Caso 1, consumo energético total.....	111
Figura 36- Planta baixa do pavimento tipo (sem escala).....	113
Figura 37- Planta baixa dormitórios (sem escala).....	113
Figura 38- Variáveis investigadas no caso 2 (sem escala).....	115
Figura 39- Máscara de sombreamento sobre carta solar de brise horizontal de 1m na fachada noroeste, 21mar, 15h.....	118
Figura 40- Caso 2, cinco zonas térmicas de um pavimento tipo (sem escala).....	119
Figura 41- Modelos investigados.....	121
Figura 42- Caso 2, ganho de calor da fachada noroeste.....	122
Figura 43- Redução no consumo total de energia (%), no caso 2.....	123
Figura 44- Modelo de brises, 1 e 2.....	124
Figura 45- Razão entre ganho de calor mensal e mínimo na envoltória noroeste.....	126
Figura 46- Redução no consumo de energia (%).	127
Figura 47- Zoneamento da proposta, sem escala.....	129
Figura 48- Levantamento do entorno da edificação analisada, sem escala.	130
Figura 49- Modelagem térmica no OpenStudio, sem escala.....	132
Figura 50- Caso 3, modelagem térmica e aplicação do grid no Ecotect, sem escala.....	133
Figura 51- Caso 3, radiação solar incidente na envoltória, período de verão.....	134
Figura 52- Caso 3, radiação solar incidente na envoltória, período de inverno.....	134

Figura 53- Caso 3, radiação incidente nas superfícies durante o verão e a primavera.....	135
Figura 54- Caso 3, radiação incidente nas superfícies durante o inverno e o outono.....	136
Figura 55- Caso 3, radiação incidente nas superfícies, período anual.	136
Figura 56- Caso 3, radiação incidente nas superfícies no período anual.	137
Figura 57- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 1.	139
Figura 58- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 2.	140
Figura 59- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 3.	141
Figura 60- Consumo anual de energia, Caso 2.	187
Figura 61- Consumo anual de energia por uso final, Caso 2.....	187

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades térmicas dos materiais construtivos, caso 1...	205
Tabela 2- Propriedades ópticas do vidro incolor, caso 1.....	205
Tabela 3- Propriedades físicas dos materiais, caso 2.....	206
Tabela 4- Propriedades ópticas do vidro incolor e do vidro de controle solar, caso 2.....	206
Tabela 5- Propriedade térmica dos materiais, caso 3.	207

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Elementos definidos durante as fases de projeto e de simulação.....	51
Quadro 2- Elementos identificados nas fases conceituais de projeto por meio de simulação computacional.....	52
Quadro 3-Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho.....	75
Quadro 4- Variáveis de projeto, indicadores energéticos e estratégias de projeto analisadas nos casos.	82
Quadro 5- Ficha técnica do caso 1.	93
Quadro 6- Dados de entrada do caso 1.	95
Quadro 7- Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho da etapa de estudo de massa.	99
Quadro 8- Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação e o programa de projeto do caso 1.	100
Quadro 9- Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho da etapa de estudo preliminar.	108
Quadro 10- Ficha técnica do caso 2.	112
Quadro 11- Dados de entrada do caso 2.	113
Quadro 12- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, do estudo preliminar, no caso 2.....	116
Quadro 13- Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação e o programa de projeto do caso 2.	117
Quadro 14- Simulações executadas no caso 2.....	120
Quadro 15- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, estudo preliminar, caso 2.....	125
Quadro 16- Ficha técnica do caso 3.	128
Quadro 17- Dados de entrada do caso 3.....	129
Quadro 18- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, estudo preliminar, caso 3.....	131
Quadro 19- Intervenção dos arquitetos e da pesquisadora durante as fases do processo de análise de desempenho.	142
Quadro 20- Dados de entrada definidos por projetistas e pela pesquisadora.	144
Quadro 21- Objetivos de simulação em cada caso.	145
Quadro 22- Variáveis de projeto definidas nas etapas iniciais do processo de projeto.....	146

Quadro 23- Os parâmetros de projeto e os dados de entrada de cada componente.	147
Quadro 24- As variáveis investigadas, os indicadores energéticos extraídos e as estratégias de projeto definidas em cada etapa do início do processo de projeto.....	148
Quadro 25- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 1.	150
Quadro 26- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 2.	151
Quadro 27- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 3.	152
Quadro 28- Análise de tempo das ferramentas utilizadas.	153

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	21
1.2 OBJETIVOS	27
1.2.1 Objetivo geral	27
1.2.2 Objetivos específicos	27
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS	29
2.1.1 Ferramentas de simulação de desempenho	30
2.1.2 O auxílio à tomada de decisão de projeto.....	33
2.1.3 Investigação de parâmetros de projeto.....	42
2.2 A SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO	45
2.2.1 O processo inicial de projeto	49
2.2.2 Obstáculos e soluções	56
2.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO	63
3 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO	65
3.1 INTRODUÇÃO	65
3.2 O ESCRITÓRIO DE ARQUITETURA	66
3.2.1 Diagnóstico.....	68
3.2.2 Seleção dos casos.....	69
3.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO	70
3.3.1 Definição de dados de entrada	72
3.3.2 Definição de parâmetros de projeto investigados....	74
3.3.3 Expectativas de simulação	74
3.3.4 Seleção de ferramenta de simulação	75
3.3.5 Execução de simulação de desempenho.....	76
3.3.6 Tratamento e apresentação de dados de saída.....	79
3.3.7 Tomada de decisão	79
3.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	80
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO	83
4.1 ESCRITÓRIO DE ARQUITETURA	83
4.1.1 Diagnóstico.....	83
4.1.2 Seleção dos estudos de caso.....	90
4.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO	92

4.2.1	Caso 1	93
4.2.2	Caso 2	111
4.2.3	Caso 3	127
4.3	RESUMO DA ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS CASOS 138	
4.4	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	141
5	CONCLUSÃO.....	157
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	160
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	160
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
	APÊNDICE 1.....	175
	APÊNDICE 2.....	178
	APÊNDICE 3.....	181
	APÊNDICE 4.....	183
	APÊNDICE 5.....	186
	ANEXO 1	188
	ANEXO 2	204

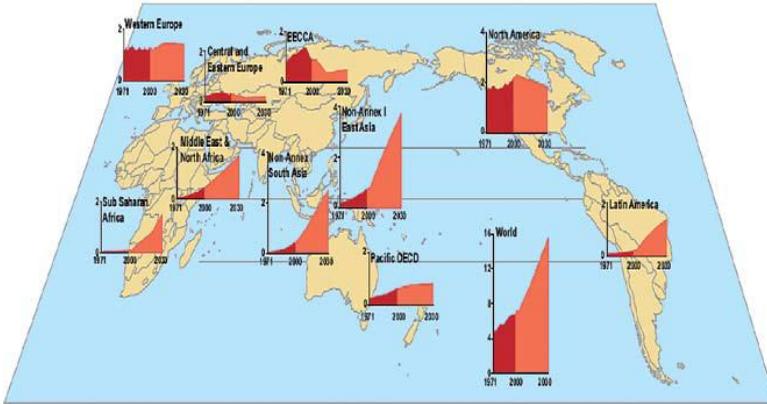
INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Desde os anos de 1990 a discussão sobre o impacto ambiental de edifícios tem alcançado dimensões globais. Em um relatório publicado no *The Green Economy Report* (UNEP, 2011), do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), políticas públicas e iniciativas privadas são informadas sobre o potencial sócio-econômico de investimentos em prol de atitudes que melhorem o desempenho ambiental do setor de edificações.

De acordo com a IEA (2015), os edifícios são responsáveis pela utilização de mais da metade da demanda total da energia global. No Brasil, o consumo final de eletricidade registrou um aumento de 2,9% em 2014, sendo os setores mais representativos para o crescimento da demanda de eletricidade o residencial, +5,7%, e o comercial, +7,4% (EPE, 2015).

O alto dispêndio de energia nas edificações é decorrente da necessidade dos usuários em alcançar níveis aceitáveis de conforto térmico nos espaços internos, correspondendo ao uso de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação. Verbeeck (2007) ressalta que o dispêndio energético é muito maior na fase operacional do que a energia dispensada durante a fase de construção da edificação. Como consequência, o setor de edificações é identificado como líder mundial em emissões de CO₂ (LEVINE et al., 2007). O diagrama da Figura 1 aponta, em laranja, uma projeção da produção de CO₂ (eixo y dos gráficos) pelos edifícios para o ano de 2030 (eixo x dos gráficos).

Figura 1- Produção de CO₂ pelos edifícios para o ano de 2030.

Fonte: LEVINE et al., 2007.

Entretanto, o quarto relatório produzido pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) aponta o grande potencial de redução das emissões de CO₂ nos edifícios, devido as decisões e oportunidades de projeto e ao comportamento do usuário contribuirão diretamente para o consumo energético final.

Grande parte dos edifícios desperdiça relevantes oportunidades de poupar energia e custos por não considerar os importantes conceitos de arquitetura bioclimática e avanços ocorridos nas áreas de materiais, equipamentos e tecnologias construtivas vinculados à eficiência energética (EPE, 2005). A arquitetura voltada ao clima pode reduzir significativamente o consumo de energia das edificações. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ressaltam que as decisões de projeto influenciam fortemente o desempenho térmico, visual e energético da edificação e que a aplicação de conceitos da arquitetura bioclimática, que utiliza os recursos ambientais para minimizar o consumo de energia e promover o conforto ambiental dos usuários, proporciona adequadas condições de conforto aos ambientes.

Projetar com o clima significa definir soluções de projeto que promovam o conforto ambiental e a eficiência energética, relacionando os conceitos de física aplicada (transferência de calor, mecânica dos fluidos, física ondulatória e óptica) com os recursos locais e com a tecnologia. A arquitetura de baixo impacto ambiental requer do projetista análises e estudos que contemplem as condições ambientais locais, tais

como: temperatura do ar; umidade; radiação solar; ventos; ruído e, ainda, qualidade do ar (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Incluir procedimentos de análise computacional nas etapas iniciais do processo de projeto torna-se fundamental para a compreensão de fenômenos físicos e demais fatores que interferem na arquitetura. As análises desses fenômenos permitem auxiliar os projetistas durante as fases do processo de projeto por meio da obtenção de dados que são revertidos em estratégias de arquitetura. Já nos anos 1980, Maver (1988) enfatizava a importância do desenvolvimento de ferramentas para a análise de questões ambientais e que são relevantes durante a etapa inicial de projeto, garantindo a tomada de decisão da equipe.

A fase inicial de projeto é responsável pela concepção do partido geral de arquitetura. É nesta etapa que as intenções dos projetistas são identificadas e transpostas ao contexto do projeto arquitetônico. Na fase inicial ocorre a seleção de variáveis que determinarão as características finais do edifício, afetando o desempenho energético e ambiental da edificação. Com o intuito de otimizar um projeto de acordo com os princípios de desempenho ambiental e eficiência energética, o estágio inicial de projeto deve compreender análises e estratégias considerando o clima local e abordando as vantagens da aplicação da arquitetura bioclimática.

Segundo Gonçalves e Bode (2015), a boa compreensão do impacto ambiental de determinada edificação depende dos indicadores de consumo de energia por metro quadrado e da quantidade de emissão de CO₂, caracterizando os principais parâmetros energéticos de um edifício. Ferramentas de simulação permitem a obtenção e quantificação destes indicadores por meio da verificação do desempenho energético do edifício, antes da sua construção.

Entende-se por desempenho energético o comportamento do perfil de consumo de energia da edificação e seus sistemas (iluminação, climatização e equipamentos de tomada –*plug loads*) durante um período de tempo (dias, meses ou anos). No caso de uso para projetos, a ferramenta de simulação pode fornecer dados para uma correta seleção dos sistemas a serem utilizados e auxiliar na seleção de estratégias arquitetônicas para redução do consumo de energia (GONÇALVES e BODE, 2015).

Nas fases iniciais de projeto a simulação computacional ocorre por modelos simplificados de edifícios virtuais, já que as características do modelo arquitetônico ainda estão sendo definidas, podendo a simulação ser executada em poucos segundos, dependendo da ferramenta utilizada. Nessas fases, a simulação de desempenho torna-se uma extensão do

processo de projeto. Em etapas mais avançadas do projeto, quando o modelo arquitetônico está bem definido, podem ser realizados estudos paramétricos que visam analisar a influência simultânea de diferentes sistemas no consumo de energia do modelo analisado (GONÇALVES e BODE, 2015).

Segundo Trindade (2006), a aplicação de ferramentas de simulação de desempenho vem crescendo nos grandes escritórios internacionais que priorizam o uso de diferentes recursos tecnológicos em seu processo projetual, tais como: o inglês Foster + Partners, o malaio T.R.Hamzah & Yeang e o italiano Mario Cucinella Architects.

No Brasil, Mendes et al. (2005), após pesquisarem o uso dos programas computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações, concluíram que por terem fenômenos físicos complexos, essas ferramentas ainda são empregadas apenas em centros de pesquisas de universidades e institutos, e resultam em pouca transferência de tecnologia para o setor de projeto, que compreende os escritórios de engenharia e arquitetura.

Para maior aplicação dos programas de desempenho, Scarazzato (1999) defende que o uso destas ferramentas de desempenho deve iniciar ainda na etapa de ensino de graduação nos cursos de arquitetura. Estes programas auxiliam os alunos a compreenderem de que forma os diversos aspectos de um projeto contribuem para a sua caracterização sob o ponto de vista ambiental e assim mensurar o “peso” das decisões arquitetônicas por meio de indicadores de eficiência energética.

Algumas experiências com o ensino de simulação computacional de desempenho ambiental nos cursos de arquitetura apontam a capacidade do arquiteto em dominar rapidamente as ferramentas de computação devido à semelhança entre projetar um edifício e conceber modelos digitais e energéticos com a finalidade de simular seu desempenho ambiental. Segundo Gonçalves e Bode (2015), o processo de elaboração e execução de simulações é semelhante às tarefas do projeto arquitetônico.

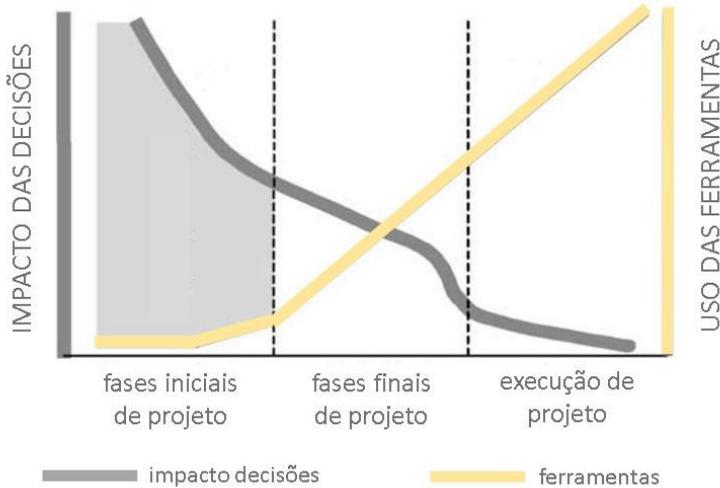
Em contraponto, a análise dos dados de saída dos programas de simulação computacional requer conhecimento crítico e específico sobre desempenho ambiental, que usualmente não faz parte do cotidiano dos escritórios de arquitetura, fazendo com que estes instrumentos deixem de ser utilizados na prática projetual.

Morbitzer et al. (2001) ressaltam que os programas de simulação são complexos e estranhos à prática de projeto. Mourshed, Kelliher e Keane (2003) apontam que as ferramentas de simulação existentes geralmente são empregadas por engenheiros civis em fases de

detalhamento de projeto e não se adaptam às fases conceituais do partido arquitetônico e aos objetivos de um projeto integrado às questões ambientais. Dessa forma, as decisões iniciais de projeto apontadas pelas equipes de arquitetura têm ocorrido de forma intuitiva e com base no conhecimento adquirido por experiência dos arquitetos. Este fato conduziu à consolidação de um processo ineficaz de projeto, caracterizado pela modificação retroativa de soluções, as quais visam alcançar determinado conjunto de critérios de desempenho.

Os pesquisadores Wilde e Voorden (2004) realizaram um questionário sobre como são selecionados os componentes de eficiência energética durante o processo de projeto para arquitetos e consultores envolvidos na concepção de edifícios eficientes nos Países Baixos. Os resultados da pesquisa apontaram que a maioria das estratégias de economia energética são selecionadas baseadas em analogias e aproximadamente 80% de todos os componentes de poupança são selecionados sem considerar diferentes alternativas de projeto, demonstrando que a seleção das estratégias é totalmente intuitiva. A Figura 2 ressalta a importância e o alto impacto de decisões de projeto tomadas nas primeiras etapas projetuais, em contraponto, o uso de instrumentos computacionais durante o desenvolvimento da concepção do partido de projeto é baixo.

Figura 2- O impacto das decisões e o uso de ferramentas computacionais durante as diferentes fases do processo de projeto.



Fonte: a autora baseada em Wang et al. (2001).

O fato da simulação não ser totalmente integrada às diferentes fases do processo de projeto é a barreira chave da falta de utilização da simulação (MORBITZER et al., 2001). O atual uso das ferramentas de simulação computacional como suporte de decisão está comprometido devido à falta de definição de uma metodologia de trabalho, que aborde a inserção da simulação desde a fase inicial de projeto, para que os arquitetos compreendam de que forma introduzir os parâmetros de desempenho no contexto das propostas, bem como, de que maneira transferir as diversas questões de projeto para a simulação (BAMBARDEKAR e POERSHKE, 2009).

Diante dessa problemática, o presente estudo tem como princípio a definição de uma metodologia de trabalho que aborde a introdução de simulação computacional como suporte de decisão nas fases iniciais de projeto, auxiliando a transferência dos indicadores de desempenho energético para o contexto de propostas arquitetônicas elaboradas por um escritório de arquitetura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Investigar um método para aplicação da atividade de simulação computacional de desempenho energético às etapas iniciais do processo de projeto de um escritório de arquitetura.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar os potenciais das ferramentas de simulação energética quando utilizadas nas primeiras etapas do processo de projeto;
- b) Verificar as dificuldades da equipe de arquitetura durante a realização do processo de análise de desempenho energético;
- c) Verificar as barreiras existentes no atual uso de ferramentas de simulação à prática de projeto;
- d) Identificar os desejos e as expectativas dos arquitetos frente à proposta de aplicação do processo de análise de desempenho a projetos arquitetônicos;
- e) Verificar quais os componentes de projeto podem ser investigados durante as primeiras etapas do processo de projeto por meio do uso de programas de simulação computacional;
- f) Analisar o entendimento do arquiteto sobre o uso de simulação de desempenho em projetos de arquitetura.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos. Este primeiro abordou uma introdução sobre o assunto estudado, caracterizando a problemática e a justificativa do tema selecionado. Apontou-se o objetivo geral e os específicos, que conduziram o andamento desta pesquisa. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, a qual está dividida em dois principais tópicos: a simulação energética de edifícios e a simulação de desempenho integrada ao processo de projeto. O terceiro capítulo é o método desenvolvido para a integração da atividade de simulação nas etapas iniciais de projeto em um escritório de arquitetura. A proposta metodológica compreende: o diagnóstico da empresa e a seleção de estudos de caso para o desenvolvimento de análises energéticas; a incorporação de análises de desempenho por meio de simulação computacional nas fases iniciais do processo de projeto do escritório e a avaliação do processo realizado. O quarto capítulo refere-se

à aplicação do método desenvolvido no escritório de arquitetura e abrange o levantamento de dados do escritório e a execução do processo de análise de desempenho energético em diferentes estudos de casos, que se encontravam nas primeiras etapas projetuais. Por fim, é realizada a avaliação da integração de simulação de desempenho ao início do processo de projeto do escritório, considerando os estudos de caso abordados. No quinto capítulo são apontadas as conclusões, as limitações do trabalho e sugestões para futuras pesquisas. Posteriormente são apresentadas as referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS

As primeiras ferramentas de simulação computacional foram desenvolvidas nas décadas de 1960 e 1970 e apresentavam como propósito a avaliação de desempenho energético da envoltória de edifícios. Com a evolução destes programas, as ferramentas passaram a incluir em suas plataformas a capacidade de simular o comportamento energético dos sistemas de: iluminação; climatização; aquecimento; ventilação e outros (GONÇALVES e BODE, 2015).

Atualmente, os instrumentos de simulação de desempenho possibilitam a análise de transferência de calor e massa das edificações. Estes programas estudam os aspectos térmicos (transferência de calor, temperatura, consumo de energia) dos edifícios. A transferência de calor nas edificações pode ser verificada por meio de três diferentes graus de informações: em um único componente do edifício; em um ambiente ou zona ou analisando o edifício como um todo (WILDE, 2004).

Dessa forma, a simulação computacional é uma ferramenta que permite analisar o comportamento térmico, o consumo de energia e os sistemas operacionais de uma edificação por meio de equações matemáticas. Os fenômenos termofísicos são transformados em algoritmos de computador que definem o desempenho dos edifícios por meio de dados numéricos (AUGENBROE, 2003). Os programas reproduzem as complexas interações dinâmicas que os edifícios apresentam com seu entorno e meio ambiente, sendo capazes de prever o desempenho ambiental das edificações, baseando-se em modelos energéticos (AUGENBROE, 2000).

Em edificações, a simulação de desempenho pode ser utilizada com diferentes propósitos. Uma lista dos principais usos dos programas é apresentada por Hong, Chou e Bong (2000):

- a) Soluções passivas de eficiência energética;
- b) Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics*, CFD);
- c) Cálculo de cargas de resfriamento e aquecimento;
- d) Análise de desempenho energético para projetos de *retrofit*;
- e) Cumprimento de regulamentos, códigos e normativas;
- f) Gestão energética e controle de sistemas energéticos;
- g) Análises de custo.

As diferentes aplicações das ferramentas de desempenho referem-se ao uso de simulação para edifícios já construídos, possibilitando análises de *retrofit*, e para novas edificações, onde podem ser realizadas análises de desempenho ainda durante as fases de desenvolvimento de projeto.

A análise de desempenho energético para uso em *retrofit* auxilia na avaliação de alternativas para redução do consumo de energia, fornecendo subsídios para a escolha mais adequada de sistemas e componentes arquitetônicos (GONÇALVES e BODE, 2015).

Quando os instrumentos de simulação são aplicados ainda em fase de projeto possibilitam prover detalhadas informações sobre o desempenho dos edifícios, por meio da comparação e avaliação de diferentes alternativas de arquitetura (WILDE e VOORDEN, 2004). Dessa forma, o emprego de ferramentas de simulação possibilita que arquitetos avaliem estratégias de projeto e selecionem sistemas e componentes da edificação, a fim de alcançar o alto desempenho energético de projetos arquitetônicos que estão ainda em fase de desenvolvimento (HAMEDANI e SMITH, 2015).

2.1.1 Ferramentas de simulação de desempenho

O progresso contínuo das ferramentas de simulação de desempenho ao longo dos anos possibilitou que arquitetos e engenheiros determinassem o consumo energético de edifícios e assim, promovessem a adoção de parâmetros de eficiência energética e conforto nas edificações (ATTIA et al., 2011). Diante dos programas de desempenho existentes, espera-se que os profissionais manipulem as características físicas dos edifícios e quantifiquem o que antes era tratado como qualitativo (BACHMAN, 2003).

Clarke (2001) analisou o desenvolvimento das ferramentas de desempenho, no decorrer do tempo e distinguiu quatro diferentes gerações de programas:

- a) A primeira geração consiste em métodos manuais baseados em fórmulas analíticas e adoção de simplificações nos modelos (utilizadas até 1970);
- b) A segunda geração consiste em aumento de responsabilidade sobre aspectos de clima (utilização entre 1970 e 1980);
- c) A terceira geração é baseada em métodos numéricos e a simulação pode ser executada por diferentes profissionais (utilização entre 1980 e 1990);

d)A quarta geração adiciona o critério de interoperabilidade dos programas (a partir de 1990).

O aprimoramento das ferramentas resultou no crescente uso dos instrumentos de simulação, reproduzindo um aumento do número de ferramentas de desempenho disponíveis para uso. O diretório de ferramentas de simulação de energia para edifícios registrou 389 programas no site institucional do Departamento de Energia (DOE, 2010 Apud ATTIA et al., 2011). Nota-se na Figura 3 que entre os anos de 1997 e 2010 o número de ferramentas quadruplicou.

Figura 3- Ferramentas de simulação de desempenho energético para edifícios.



Fonte: ATTIA et al.(2011).

No site do DOE (2015) as ferramentas estão organizadas por área de aplicação, incluindo as de análise de desempenho de edifícios. Os seguintes programas de simulação de desempenho térmico e energético de edifícios estão listados como de uso gratuito: Building Design Advisor, Building Energy Modelling and Simulation, CHP Capacity Optimizer, Czech National Calculation Tool, Demand Response Quick Assessment Tool, Design Advisor, DeST, Easy EnergyPlus, EE4 CBIP, EE4 CODE, EnergyPlus, ESP-r, Green Building Studio, HAMlab, HEED, Home Energy Saver, HOMER, HOT2 XP, HOT2000, ISE, ParaSol, SOLAR-5, SolArch, SolarShoeBox, SPARK, TOP Energy, VIPWEB e WISE.

A grande quantidade de ferramentas disponíveis, em vez de facilitar, é considerada uma barreira e um desafio para a seleção dos programas por arquitetos e engenheiros (ATTIA et al., 2011). Os autores apontam uma metodologia para a escolha correta das ferramentas, e descrevem que devem ser considerados aspectos como: gestão de informações da interface; integração com o conhecimento-base do projeto inteligente; habilidade das ferramentas em simular componentes complexos dos edifícios; interoperabilidade com o modelo do edifício e integração das ferramentas no processo de projeto.

Hong, Chou e Bong (2000) relatam que a escolha de ferramentas de simulação é difícil e deve levar em consideração as seguintes questões: necessidade de aplicação, objetivo e orçamento disponível. Segundo Hamedani e Smith (2015), a seleção de ferramentas de desempenho objetivando a tomada de decisão dos projetistas deve abordar: dados de entrada requeridos na simulação; visualização gráfica e interface do programa; interoperabilidade com o programa de projeto e a habilidade do profissional em simular o edifício e seus componentes.

A dificuldade para seleção das ferramentas tende a ocorrer devido às diferentes abordagens e metodologias utilizadas nos programas de áreas comuns, como a de análise de desempenho energético. Crawley et al. (2005) realizaram uma comparação entre as 20 principais ferramentas de simulação de desempenho de edificações, sendo elas: BLAST, Bsim, DeST, DOE-2, DOE-2.1E, ECOTECT, EnerWin, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, Equest, ESP-r, IDA ICE, IES <VE>, HAP, HEED, Power Domus, SUNREAL, Tas, TRACE e TRNSYS. Como resultado, os autores apontam o potencial destas ferramentas analisadas e comentam que uma das principais dificuldades para a realização de comparação entre as ferramentas é de que os programas não apresentam uma abordagem única. Cada ferramenta possui uma linguagem própria para a realização de análises de desempenho.

Segundo Augenbroe (2001), apesar do grande número de ferramentas existentes, ainda existem aspectos que estes instrumentos devem abordar a fim de proporcionar melhores condições de aplicabilidade, demonstrando que as ferramentas encontram-se em processo contínuo de evolução. O autor elaborou uma lista de tendências sobre o desenvolvimento de programas de simulação para análise de edifícios que correspondem ao:

a) Desenvolvimento de programas sistematizados, que apresentem a mesma metodologia de processo de simulação;

- b) Desenvolvimento de ferramentas integradas, para a realização simultânea de análises térmicas e de fluxo de ar; e ao
- c) Aumento do impacto da internet na simulação de desempenho, alterando a forma com que é realizada a oferta comercial da simulação.

Apesar de apresentarem metodologias de processo de simulação e interfaces diversas, as ferramentas termoenergéticas são alimentadas com dados de entrada semelhantes. A caracterização da geometria do edifício é realizada por um modelo energético. Neste modelo são discriminadas zonas térmicas que correspondem a um ou mais ambientes da edificação agrupados de acordo com características térmicas semelhantes. Para caracterizar a envoltória do edifício são inseridos dados relativos às zonas térmicas e correspondem à: orientação solar, sistema construtivo, dimensões das aberturas e proteções solares. Dados referentes a atividade desenvolvida no modelo simulado, como a taxa de ocupação média e a rotina de ocupação (dias e horas) devem ser especificados. A densidade de cargas internas de iluminação e equipamentos e as características do sistema de ar condicionado, como: tipo, capacidade, eficiência (COP), rotina de uso, taxa de infiltração e *set point* de resfriamento e aquecimento são introduzidos no modelo energético (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2014 Apud RODRIGUES, 2015). Para a realização da simulação é fundamental a seleção de um arquivo climático. Os registros horários de clima das cidades podem ser obtidos no site do DOE (2015).

A correta seleção e aplicação de ferramentas de simulação computacional pode proporcionar a escolha racional de estratégias de projeto por meio da obtenção de dados quantitativos de desempenho dos edifícios. A adequada utilização dos programas de simulação requer o reconhecimento de objetivos de projeto e de simulação como forma de alcançar edificações mais eficientes.

2.1.2 O auxílio à tomada de decisão de projeto

A indústria da construção civil está ciente sobre a importância da tomada de decisões racionais de projeto (WILDE, 2004). Esforços realizados para aplicar esse conhecimento no panorama atual da construção garantem a adoção de estratégias que abrangem a eficiência energética dos edifícios com o propósito de minimizar o dispêndio de energia das edificações (WILDE e VOORDEN, 2004).

Em um estudo publicado pela *Innovation in Building and Construction* (CIB, 1982), já em 1982, enfatizava-se sobre o uso de

ferramentas computacionais para analisar o desempenho dos edifícios e assim alcançar a tomada de decisão de estratégias de eficiência energética. O objetivo do uso de ferramentas de simulação como suporte de decisão é transformar os indicadores energéticos extraídos em dados de arquitetura. Esse método é comum desde os anos 1990 e resulta no processamento e tratamento de dados energéticos obtidos em estratégias de projeto (SOUZA e KNIGHT, 2007).

Até o início do século XX a única maneira de controlar o clima dentro dos edifícios era por meio de estratégias passivas (HARTOG, 2004). Na última década os edifícios marcados por uma nova geração, aclamados como de melhor desempenho ambiental, (GONÇALVES e BODE, 2015) também incorporam soluções arquitetônicas ativas. O uso de instrumentos de simulação para o auxílio à tomada de decisões de projeto possibilitou a modificação da relação dos edifícios com os aspectos ambientais.

O escritório de arquitetura Norman Foster & Partners, localizado em Londres, apresenta em suas propostas a preocupação com as questões de desempenho energético por meio da utilização de análises ambientais na concepção de seus projetos. Entre a equipe de projetistas, existem responsáveis por simular e quantificar o desempenho dos edifícios, tornando o processo de simulação parte do projeto. O grupo recebeu em 1999 o Prêmio Pritzker da Fundação Hyatt, também conhecido como o Nobel da arquitetura.

Em uma entrevista realizada pelo TED (2008), *Technology, Entertainment and Design*, Norman Foster ressalta que o uso de novas tecnologias no processo de projeto afeta o desenho das edificações e pode levar a construção de edifícios que consomem menos energia e que geram menos poluição ao meio ambiente. A revolução digital, segundo o arquiteto, aproxima as pessoas do mundo físico por meio da representação dos fenômenos naturais. A grande transformação ocorrida no processo de projeto com a incorporação de computadores nos escritórios de arquitetura possibilitou determinar o que antes era mensurado por meio de análises de modelos físicos de projeto, como o uso de maquetes. A tecnologia do computador trouxe facilidades e avanços para o processo de projeto, possibilitando, por meio da utilização de ferramentas de simulação verificar as forças dos ventos, bem como, projetar aberturas nos edifícios que forneçam luz natural aos ambientes internos e possibilitem o conforto dos usuários e a economia de energia.

Norman Foster acredita que a seleção de alternativas de projeto deve considerar o desempenho ambiental das propostas como forma de alcançar edifícios mais eficientes. A Biblioteca da Free University (Figura

4), localizada em Berlim e projetada por Foster & Partners em 1997, apresenta em sua envoltória estratégias que permitem o uso de ventilação natural do edifício, diminuindo drasticamente os custos com energia e proporcionando o aproveitamento das condições ambientais presentes no local.

Figura 4- Biblioteca da Free University.



Fonte: Partners (2016).

O arquiteto ressalta que além da economia de energia o edifício deve proporcionar conforto e qualidade de vida aos usuários, como é o caso do Commerce Bank (Figura 5), projetado por Foster & Partners em 1998 e localizado em Frankfurt. O edifício do Commerce Bank virou ícone da arquitetura ambiental por incorporar estratégias de ventilação natural aos ambientes de trabalho e mecanismos de controle do usuário sobre a penetração de luz natural nos espaços de trabalho. O projeto da edificação foi resultado de um concurso onde a meta de desempenho energético a ser alcançada era de 50% de redução de consumo de energia em relação a um edifício típico de escritórios do cenário local.

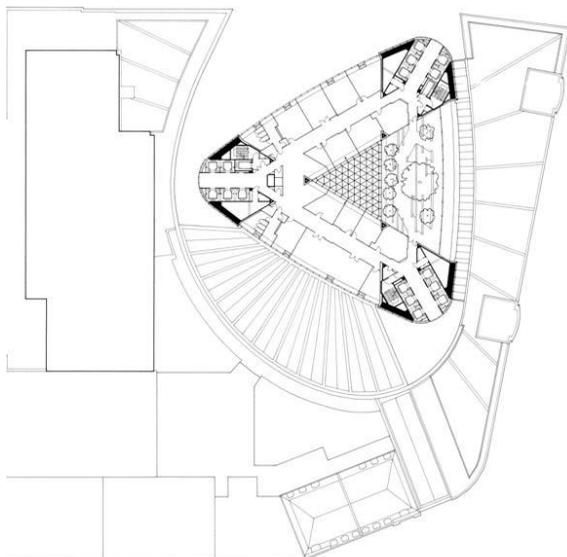
Figura 5- Commerce Bank.



Fonte: Partners (2016).

O Commerce Bank é um dos mais altos da Europa, contando com 56 pavimentos e área de aproximadamente 70.000 m², sendo utilizado por cerca de 25.000 pessoas diariamente. Desde as fases iniciais do projeto, em 1991, o arquiteto planejava incorporar estratégias de conforto e de eficiência energética ao edifício. A forma triangular das plantas baixas (Figura 6) foi definida em função da qualidade ambiental interna. As plantas minimizam a área de exposição à radiação solar, enquanto vazios abertos nas orientações nordeste, sul e noroeste, combinadas com um átrio interno, facilitam a ventilação natural no interior da forma (GONÇALVES e BODE, 2015). Segundo Gids (2001) o sistema híbrido de ventilação possibilitou minimizar os custos energéticos e dar aos usuários o máximo de controle climático do seu ambiente.

Figura 6- Planta baixa de forma triangular do Commerce Bank (sem escala).



Fonte: Partners (2016).

Os pesquisadores Wilde e Voorden (2004) ressaltam o surgimento dos programas de simulação de desempenho como instrumentos de otimização para o suporte de decisões, resultando na seleção e integração de questões de eficiência energética e conforto em edifícios. As ferramentas de simulação são consideradas instrumentos com grande potencial à definição de componentes de arquitetura, podendo gerar conselhos aos arquitetos com foco em: desempenho de projeto baseado em regulamentações; proporcionar a evolução de múltiplos critérios para explorar as mudanças de projeto; criação de banco de dados baseados em alternativas de projeto; determinação de causa e efeito baseada em estatísticas e geração automática de alternativas de projeto baseadas em uma série de critérios predefinidos de projeto (TUCKER e SOUZA, 2013).

A possibilidade de interação entre componentes de economia energética e o edifício impactam ao mesmo tempo um grande número de parâmetros de projeto. Wilde e Voorden (2004) destacam a complexidade da tomada de decisão, que envolve o equilíbrio de muitos conceitos, às

vezes divergentes. Objetivos relevantes relacionados à escolha de estratégias de projeto dos arquitetos e que correspondem aos diferentes componentes e sistemas das edificações foram esquematizados pelos autores. O objetivo foi guiar os projetistas para a determinação de prioridades na etapa inicial de projeto. A meta para alcançar um bom projeto destaca as questões de conforto térmico e de uso de energia conforme a Figura 7.

Figura 7- Diretrizes para alcançar um bom projeto de arquitetura.



Fonte: a autora, baseada em Wilde e Voorden (2004).

Brunsgaard et al. (2014) ressaltam a ligação mútua entre os problemas do projeto arquitetônico que ocorrem devido, principalmente, ao domínio que a arquitetura assume em questões qualitativas e ao mesmo tempo quantitativas. A resolução das problemáticas de projeto, que acarretam na tomada de decisão, não pode ser realizada de forma individual e necessita levar em consideração os inúmeros aspectos relacionados ao funcionamento dos edifícios, tornando a abordagem de projeto um desafio para os arquitetos.

Os programas de simulação permitem auxiliar os projetistas na tomada de decisão, possibilitando a incorporação de estratégias de alto desempenho ambiental aos edifícios. Entretanto, o atual uso das ferramentas de desempenho para prover informações que auxiliem as decisões de projeto, como por exemplo, a seleção de componentes de eficiência energética, não correspondem as expectativas e deixam de lado os potenciais dessas ferramentas (CRAWLEY e LAWRIE, 1997; HAND, 1998; AUGENBROE, 2001; CLARKE, 2001).

Apesar dos atuais avanços relacionados ao processo projetual, a tomada de decisão ainda configura um problema durante as etapas do projeto arquitetônico. Na fase conceitual, muitos projetistas são forçados a tomar decisões baseadas no conhecimento e experiência. A seleção dos componentes de projeto ocorre de forma intuitiva e baseada em analogias, deixando de lado o uso de ferramentas computacionais na escolha racional de estratégias de arquitetura (URBAN, 2007).

Atualmente, a maior parte das metas desempenho de edifícios definidas por arquitetos, são mensuradas e estimadas, assim, os profissionais não integram o processo criativo com as questões tecnológicas, como o uso de simulação computacional para a seleção de componentes ambientais de projeto. Esses profissionais podem colocar em risco o desempenho final de uma edificação e proporcionar condições inadequadas de conforto aos ambientes (SOUZA e KNIGHT, 2007).

Em uma pesquisa, Wilde, Augenbroe e Voorden (2001) entrevistaram arquitetos e levantaram que a maior parte das estratégias de desempenho energético em projetos são selecionadas e concebidas ainda nas primeiras etapas do processo de projeto, correspondendo a escolha de 70% dos componentes de eficiência energética. Os pesquisadores também descreveram que a maior parte das estratégias de economia energética selecionadas pelos profissionais ocorre por experiência e por meio de um *checklist*, relatando que 67% dos profissionais entrevistados não utilizam ferramentas de simulação para a seleção de componentes de eficiência energética.

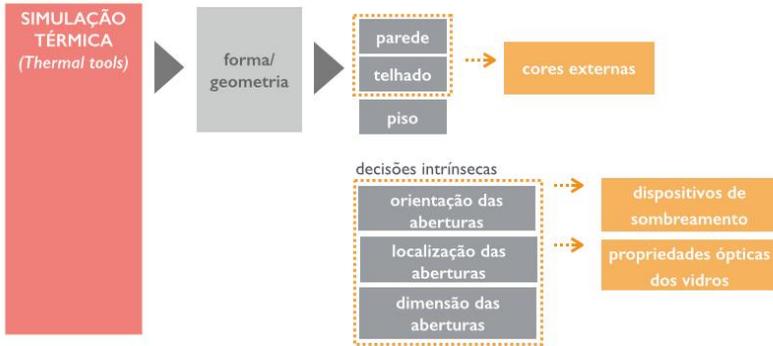
A fim de entender como ocorre a seleção de componentes de eficiência energética em escritórios de arquitetura e as razões de as ferramentas de simulação de desempenho serem impopulares por profissionais arquitetos, Pedrini e Szokalay (2005) realizaram entrevistas aplicadas à estudantes de pós-graduação de arquitetura, professores universitários do curso de arquitetura, arquitetos especialistas em projetos sustentáveis (*sustainable environmental design*) e arquitetos renomados. Os resultados demonstram que a intuição dos profissionais para selecionar questões de projeto está entre os métodos mais utilizados em todas as fases

do projeto, revelando que os arquitetos contam muito com a experiência. E os métodos menos utilizados para a escolha de componentes de arquitetura, nas diferentes etapas de projeto, referem-se à diagramas gráficos e modelos matemáticos. Dessa forma, as atuais metodologias empregadas pelos profissionais na seleção de estratégias de eficiência energética durante o desenvolvimento do projeto não incluem programas de simulação de desempenho e ocorrem de forma intuitiva.

Dessa forma, muitos arquitetos ainda dependem de ideologias conceituais e regras abstratas, como a do polegar (*rules of thumb*), para a tomada de decisão. Os projetistas normalmente recorrem às suas metodologias tradicionais de projeto e incluem o uso de ferramentas de simulação de desempenho somente para verificar o desempenho final do edifício, dificultando a inserção de componentes de energia no projeto devido a edificação já estar definida (ALSAADANI e SOUZA, 2012).

Venancio et al., (2011) relatam que a resolução de questões de projeto não pode ser realizada por meio de análises qualitativas e apontam a possibilidade de utilização da simulação de desempenho para a solução racional de problemas de projeto. Os autores relacionaram a geometria de componentes de projeto (parede, telhado, piso e aberturas) com as áreas abordadas nas ferramentas de simulação de desempenho (solar, térmica e de fluxo de ar) e a tomada de decisão de estratégias de projeto. Os pesquisadores indicam que para cada parâmetro analisado existe determinada ferramenta de simulação de desempenho e que estas possibilitam a seleção racional de diferentes estratégias de eficiência energética nas fases de projeto. No diagrama da Figura 8 estão apontadas as decisões a partir da utilização de ferramentas de simulação térmica. A forma e geometria do projeto possibilita incorporar e definir a adoção de: dispositivos de sombreamento, propriedades ópticas dos vidros e cores externas de paredes e telhados.

Figura 8- Tomada de decisão a partir do uso de ferramentas de simulação térmica.



Fonte: a autora, baseada em Venancio et al. (2011).

A avaliação ambiental de edifícios com o auxílio dos programas de simulação oferece a possibilidade de aprimoramento dos projetos de arquitetura e sistemas prediais, alcançando a melhor eficiência energética dos edifícios (GONÇALVES e BODE, 2015). A existência de baixa aplicabilidade dos programas de simulação de desempenho é decorrente de barreiras socioculturais e de dificuldades no uso das ferramentas existentes devido as complexas interfaces dos instrumentos. A fim de ampliar a utilização de simulação de desempenho na tomada de decisões de projeto sugere-se a integração de diferentes ferramentas de simulação que abordem as diversas fases do processo de projeto (MOURSHED et al., 2003).

2.1.3 Investigação de parâmetros de projeto

Entre os benefícios das ferramentas de simulação está o fato de incorporar em um único modelo diferentes questões de projeto, possibilitando a otimização dos sistemas que compõe a edificação por meio da capacidade de obter dados que representem o desempenho energético dos edifícios (HENSEN e CLARKE, 1999). Como apoio para tomada de decisões na etapa inicial, a seleção de uma solução ótima frente às múltiplas alternativas de projeto vem a ser ideal (WANG, 2001).

Petersen e Svendsen (2010) apontam a capacidade de simular um edifício como um recurso de análise de vários parâmetros para auxiliar a tomada de decisão durante o processo de projeto, objetivando a adoção de

questões de desempenho como as de conforto e de energia. Os métodos de avaliação de desempenho apoiados em técnicas de simulação computacional surgem para aprimorar o processo de projeto por meio da investigação criteriosa sobre o impacto dos vários componentes e aspectos de arquitetura no desempenho ambiental dos edifícios (GONÇALVES e BODE, 2015).

A investigação de alternativas de projeto durante o processo de simulação condiz com variações de elementos de arquitetura do edifício investigado. Com referência em diversos estudos, Pedrini (2003) levantou as estratégias de eficiência energética mais investigadas durante o processo de simulação de desempenho e relacionou-as com suas respectivas variáveis de projeto:

- a) Forma: volume e orientação;
- b) Materiais: superfícies de sombreamento, características das superfícies, isolamento térmico, inércia térmica;
- c) Aberturas: dimensões, orientação, vidros de controle solar, persianas, cortinas (internas), dispositivos de sombreamento;
- d) Possibilidades de implantação do projeto de arquitetura e do envelope do edifício.

A verificação rápida de desempenho comparativo de estratégias de projeto é possibilitada pela aplicação do processo de simulação na análise de variáveis arquitetônicas. Estudos paramétricos e sensitivos permitem a avaliação de desempenho de diferentes soluções de projeto por meio de análises comparativas (GONÇALVES e BODE, 2015).

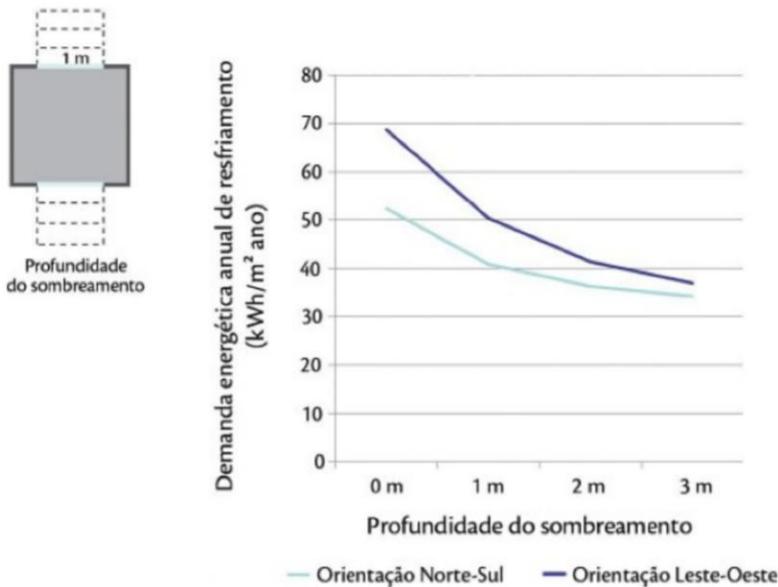
Quando a influência de mais de um componente de arquitetura é investigado no desempenho de um único modelo de simulação, utiliza-se o estudo paramétrico. O processo de parametrização de simulação de desempenho é simples: um caso base é criado e reaplicado inúmeras vezes, onde a variável investigada é modificada a todo tempo. Os resultados obtidos podem ser então correlacionados e comparados. Esta é uma forma de identificar os parâmetros mais influentes por meio de equações simplificadas que permitem analisar a influência de cada variável de projeto isoladamente (PEDRINI, 2003). Os benefícios da parametrização da simulação é quando se deseja investigar múltiplas variáveis em um único modelo energético, otimizando o tempo necessário para a realização do processo de simulação.

A investigação referente a influência de componentes de arquitetura no desempenho das edificações, em simulações de desempenho, pode ocorrer por meio de análises de sensibilidade. Estas

são indicadas para estudos preliminares e consistem na definição da influência de um componente de forma individual, sem considerar a interação existente entre os vários parâmetros (WIT, 2003). As análises de sensibilidade verificam o comportamento de características térmicas no desempenho de edifícios em diferentes situações. Também podem ser utilizadas para indicar quais parâmetros podem influenciar em análises posteriores e apontar aqueles que podem ser fixados e simplificados (SILVA e GHISI, 2013).

Bhatla (2011, Apud, Gonçalves e Bode, 2015) em um estudo realizado para a cidade indiana de Chennai, de clima quente e úmido, investigou a variação na redução da carga térmica com o aumento da proteção horizontal de 1m de profundidade para 3m. O modelo que apresentava 1m de sombreamento demonstrou uma redução expressiva na carga térmica interna. Cada metro de sombreamento adicionado não apresentou diferenças significativas de redução na carga térmica interna como demonstra a Figura 9 (GONÇALVES e BODE, 2015).

Figura 9- Impacto de proteções solares de diferentes profundidades na carga térmica de resfriamento de uma unidade residencial.



Fonte: Bhatla (2011, Apud, Gonçalves e Bode, 2015)

Lima (2007) investigou o impacto de diferentes variáveis para um mesmo projeto por meio de análises de sensibilidade. O autor verificou o impacto isolado de cada variável arquitetônica e a combinação de dois ou mais parâmetros. O estudo concluiu que os parâmetros relativos ao sombreamento da edificação são responsáveis por grande parcela da redução do consumo energético final de edifícios de hotéis em Natal, RN.

Wilde (2004) ressalta que a análise de dados de saída de simulação de desempenho permite verificar e comparar a influência de um parâmetro no desempenho final do edifício. Para possibilitar a comparação de dados, Soerbarto e Williamson (1999) afirmam que cada variável analisada deve ser mensurada de acordo com um único critério, como: consumo de energia ou conforto térmico e que a decisão final deve considerar os custos e benefícios individuais de cada proposta. Os autores descrevem que as ferramentas de simulação permitem a avaliação de diversas variáveis e estratégias de projeto, explorando mudanças e introduzindo melhorias que possibilitam a evolução do projeto analisado (SOERBATO e WILLIAMSON, 1999).

2.2 A SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO

Considera-se o processo de projeto de arquitetura como um conjunto de atividades intelectuais básicas, organizadas em fases de características e resultados distintos (LANG, 1974). As diferentes etapas de projeto são caracterizadas por uma sequência de questões-chaves conduzidas para garantir as informações necessárias ao desenvolvimento do projeto de um edifício.

O processo de projeto adotado por diferentes arquitetos geralmente é similar e apresenta passos lineares, mas a sequência de rotina de trabalho pode ser distinta em cada caso (BRAGANÇA; VIEIRA; ANDRADE, 2014). As diversas fases de projeto estão representadas na Figura 10 e compreendem a etapa conceitual, pré-projeto, anteprojetos e projeto arquitetônico. As etapas de construção e de uso se referem à execução e à ocupação da edificação, respectivamente.

Figura 10- Fases do projeto de arquitetura.



Fonte: a autora, baseada em Bragança; Vieira e Andrade (2014).

Muitas designações são abordadas no contexto do processo de projeto para caracterizar as diferentes etapas de desenvolvimento do partido arquitetônico, entretanto, os objetivos adotados pelos arquitetos em todos os estágios normalmente são semelhantes. Östman (2005) define o processo de projeto em três etapas, sendo elas: projeto conceitual, referente a indicação das problemáticas e necessidades a serem atendidas na proposta e à concepção do modelo arquitetônico; pré projeto, caracterizado pela análise sistemática das questões de arquitetura e onde ocorre a apresentação formal do partido arquitetônico; e projeto de detalhamento, o qual aborda a documentação e os desenhos técnicos necessários para a concretização do projeto. Segundo Papalambros e Wilde (2000), o projeto arquitetônico faz parte da família de processos de tomada de decisão que se dividem em: projeto arquitetônico, construção e avaliação pós-ocupação, sendo que em cada fase são realizadas atividades distintas.

Cada etapa de projeto é marcada por diferentes propósitos e pela utilização de técnicas e ferramentas que auxiliam no desenvolvimento das propostas arquitetônicas. A cobrança crescente pela quantificação do consumo de energia em edifícios fez com que os programas de simulação computacional de desempenho energético e ambiental se tornassem parte essencial do processo de projeto. A concepção de ferramentas para aperfeiçoar o processo criativo em arquitetura concentrou maior atenção nos últimos anos para os sistemas de processamento de informações e apoio à tomada de decisões durante o processo de projeto (VOORDT e WEGEN, 2005). Estes programas possibilitam comprovar, quantificar e aprimorar a eficiência de soluções projetuais.

As ferramentas de simulação, quando integradas ao processo de projeto, prometem, baseadas em cálculos, uma abordagem quantificável por meio da verificação e validação das decisões de projeto (ALSAADANI e SOUZA, 2012). O avanço dos programas de simulação computacional resultou em um alto nível de capacidade de modelagem das ferramentas, possibilitando que especialistas em simulação forneçam conselhos aos projetistas durante o processo de projeto com informações seguras e de qualidade em áreas onde os arquitetos anteriormente tiveram que contar com sua própria experiência (MORBITZER, 2003).

Clark (2001, Apud, Gonçalves e Bode, 2015) sugere um método para análise de desempenho energético de edificações que abrange a execução de simulação a partir da identificação da etapa de projeto. A proposta do autor é caracterizada por dez diferentes passos:

- a) Estabelecimento de uma representação computadorizada que corresponda a edificação de referência: ferramentas de desenho tridimensional que caracterizem o edifício analisado (dimensões e orientação solar);
- b) Calibração do modelo com técnicas confiáveis: definição dos perfis de ocupação e operação dos sistemas que compõem a edificação;
- c) Definição de condições de controle adequadas: identificação dos parâmetros que afetam o desempenho do edifício, como o arquivo climático;
- d) Realização das simulações com ferramentas apropriadas, de acordo com a complexidade do problema e a etapa do projeto: dependendo da fase em que se encontra o projeto, deve-se optar por programas que se adequem ao nível de informação contido no projeto;
- e) Caracterização do desempenho com múltiplas variáveis com critérios adequados: selecionar indicadores de energia que reflitam o desempenho das variáveis investigadas;
- f) Identificação de áreas problemáticas em função de critérios aceitáveis: após a extração de dados de saída da simulação, identificar as zonas ou componentes e sistemas que apresentam potencial para redução do consumo de energia da edificação;
- g) Definição de alternativas para redução do consumo de energia: com base na etapa anterior, são propostas modificações de projeto e de seus sistemas para melhorar o desempenho energético do edifício;
- h) Implantação das propostas de redução de consumo: comparação dos indicadores de energia obtidos nos modelos onde se variaram os sistemas e o projeto em referência a um caso onde não foram implantadas modificações;

- i) Avaliação do desempenho global satisfatório: por meio de dados de energia requeridos, repetem-se os procedimentos já realizados para alcançar os níveis de energia desejados;
- j) Avaliação do impacto do clima: avaliar o impacto das condições climáticas no desempenho da edificação, quando esse aspecto for relevante.

Ferrero et al. (2015) estudaram como aplicar os programas de simulação durante as diversas etapas do processo de projeto. Os autores defendem que a seleção de estratégias de eficiência energética por meio de simulação computacional deve começar logo na fase conceitual e que cada etapa abrange diferentes níveis de simulação. Uma metodologia de integração das etapas de projeto ao uso de simulação de desempenho foi definida pelos autores e compreende as diferentes fases:

- a) Identificação de metas de desempenho energético;
- b) Realização de análises do clima local por meio de um arquivo climático da cidade de implantação;
- c) Seleção dos dados de entrada de acordo com um caso base;
- d) Execução de simulação na fase conceitual de projeto: investigação de volume e de geometria de projeto, orientação solar do edifício e definição das zonas climatizadas artificialmente;
- e) Execução de simulação na etapa de projeto esquemático: investigação de características do envelope (área de janela, área opaca e materiais construtivos), elementos de sombreamento e definição dos sistemas de ventilação natural e dimensionamento do sistema de condicionamento de ar;
- f) Execução de simulação na etapa de detalhamento de projeto: otimização do sistema de condicionamento de ar;
- g) Avaliação dos resultados conforme a meta de desempenho energético proposta;
- h) Comparação de estratégias de desempenho a partir de um caso base e avaliação dos resultados alcançados conforme códigos energéticos.

A utilização de ferramentas de desempenho integradas ao início do processo de projeto abrange o maior número de decisões da equipe de arquitetura. A descrição das etapas iniciais do processo de projeto e a aplicação de ferramentas de simulação computacional de desempenho à estas fases estão abordadas no item abaixo.

2.2.1 O processo inicial de projeto

O Instituto Real de Arquitetos Britânicos, RIBA (1995), estabelece um plano de trabalho para o processo inicial de projeto, que se encontra identificado em diferentes níveis: anteprojeto arquitetônico, projeto esquemático e projeto detalhado. Os autores Bragança, Vieira e Andrade (2014) identificaram como etapas iniciais de projeto a fase conceitual e o pré-projeto. Segundo Bron (2015), a fase inicial de projeto contempla o projeto conceitual, projeto esquemático e o anteprojeto, e as etapas iniciais de projeto não estão completas a menos que se possa evoluir e avaliar as estratégias criadas no projeto esquemático. Na fase seguinte, anteprojeto, o processo está evoluído com informações e desenhos mais avançados, alimentados pelo arquiteto. Este estágio visa otimizar diferentes questões do projeto (FABRÍCIO; BAÍA; MELHADO, 1998).

Apesar de existirem diferentes etapas iniciais para o processo de projeto, estas primeiras fases caracterizam-se por apresentarem informações ainda incompletas do projeto arquitetônico (WANG et al., 2001), pois são nestas etapas que o projeto está sendo definido e desenvolvido pela equipe de arquitetura. A evolução das etapas iniciais de projeto arquitetônico consiste na definição e na acuracidade de informações de projeto. Nas fases iniciais, coloca-se em prática os desejos exprimidos pelos contratantes e expõem-se as resoluções de projeto da equipe de arquitetura. Nessa etapa, os clientes e os projetistas selecionam informações buscando o desenvolvimento do conceito do edifício. A fase conceitual é dominada pela geração de ideias com a subsequente evolução dos critérios de projeto desejados. O processo segue quando dados adicionais são incorporados à proposta, permitindo que decisões sejam tomadas por meio da adoção de diferentes alternativas projetuais (BRAGANÇA; VIEIRA; ANDRADE, 2014).

Wilde et al. (2001) ao aplicarem um questionário sobre 10 projetos de edifícios, afirmam que durante as etapas iniciais do processo de projeto ocorre a definição das medidas de economia de energia por profissionais de arquitetura. Segundo Burberry (1983), nas fases iniciais, as soluções de projeto de arquitetura já possibilitam a adoção e a preocupação com questões de eficiência energética, como: localização no terreno; orientação solar; volume da edificação; tipo de fonte de energia que abastecerá o edifício e instalações para condicionamento de ar. Quando ocorre a evolução do projeto, para as demais etapas, os parâmetros definidos podem ser refinados e outras características são investigadas e determinadas, tais como: aberturas; isolamento térmico; respostas térmicas e ventilação.

Em um estudo realizado por Markelj et al. (2014), os pesquisadores ressaltam a importância da utilização de ferramentas de simulação durante as etapas iniciais de projeto para definir de forma racional os componentes de economia de energia dos edifícios. Com o intuito de otimizar um projeto de acordo com os princípios de desempenho ambiental e eficiência energética, o estágio inicial de projeto deve compreender análises e estratégias considerando o clima local e abordando as vantagens da utilização de sistemas naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento (MARKELJ et al.,2014).

Incorporar a simulação no início do processo de projeto significa criar a possibilidade de o time de projetistas validar e testar o desempenho de vários parâmetros de projeto (MAHADAVI e LAM, 1991). Segundo Barbardekar e Poerschke (2009), simular o desempenho de um edifício é o único caminho que permite que o projetista explore as relações entre ambiente e forma, material e serviços da edificação e, quando utilizada nos primeiros estágios de projeto, possibilita o refinamento gradual da proposta.

A possibilidade de verificação de componentes de projeto por meio de simulação computacional foi relacionada com as etapas do processo projetual por Ferrero et al. (2015). Verifica-se no Quadro 1 que a maior parte de parâmetros arquitetônicos de eficiência energética podem ser definidos e selecionados ainda nas fases iniciais, projeto conceitual e esquemático, abrangendo os diversos graus de informações destas etapas. Os autores apontam que nestas etapas os componentes de projeto avaliados por meio de simulação computacional correspondem à estudos de orientação solar do volume, forma e geometria e características do envelope como: paredes; janelas e elementos de sombreamento. Nestas fases ainda pode ser realizado o projeto e o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar.

Quadro 1- Elementos definidos durante as fases de projeto e de simulação.

FASE DE PROJETO E DE SIMULAÇÃO	PROJETO CONCEITUAL	PROJETO ESQUEMÁTICO	PROJETO DETALHAMENTO
		Estudos de orientação; Estudo de forma e geometria.	Projeto do envelope: paredes Projeto do envelope: janelas Projeto de elementos de sombreamento; Dimensionamento e projeto do sistema de condicionamento de ar.

Fonte: a autora, baseada em Ferrero et al. (2015).

Hamsath (2013) identificou quais os elementos de projeto podem ser determinados pelo uso do processo de simulação durante as primeiras etapas do processo de projeto, verificando seis diferentes pesquisas. O autor conclui que a orientação solar, a geometria, as características do envelope e a ventilação natural compõem as variáveis de projeto mais investigadas. O levantamento realizado pelo autor está disposto no Quadro 2.

Quadro 2- Elementos identificados nas fases conceituais de projeto por meio de simulação computacional.

	Warren (2002)	Hayter et al. (2000)	Xia et al. (2008)	Attia (2011)	Bambardekar et al. (2009)	Gero (1984)
Orientação						
Volume						
Função						
Geometria; forma						
Envelope						
Porcentagem de área de abertura na fachada (WWR)						
Espaço interno						
Sombreamento						
Ventilação natural						
Massa térmica						
Iluminação natural						
Energias renováveis						
Taxa de infiltração						

Fonte: a autora, baseada em Hamsath (2013).

Gonçalves e Bode (2015) ressaltam a importância das simulações quando realizadas nas etapas iniciais do processo de projeto e que quando utilizadas somente nas fases finais, deixam de lado o potencial das ferramentas em explorar estratégias de projeto. Os autores afirmam que:

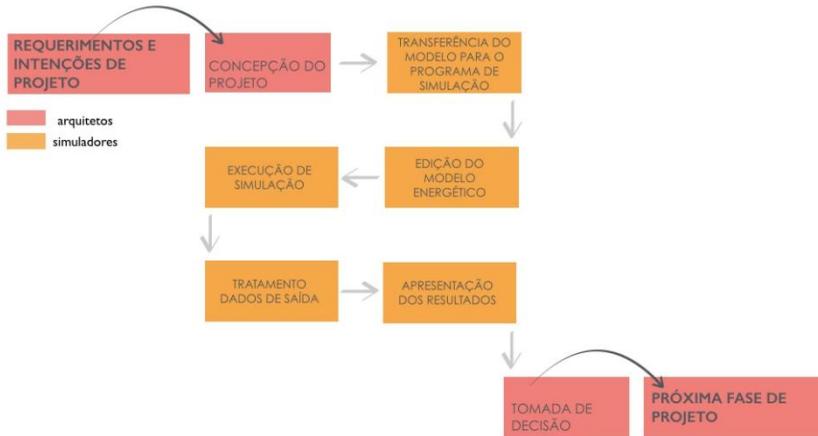
Metodologicamente, sabe-se que o maior benefício dos procedimentos analíticos e das simulações computacionais para as análises de desempenho ambiental reside nas etapas iniciais de projeto, concomitante à definição do partido arquitetônico. Quando aplicados somente nas etapas finais do projeto, o seu papel se resume em uma ação

corretiva e restrita, muitas vezes, resultando em uma contribuição marginal para o desempenho ambiental dos edifícios. Ao contrário disso, quando incluídos nas etapas de concepção e consolidação do projeto, esses procedimentos e simulações passam a fazer parte do processo de criação das soluções projetuais, efetivamente dando forma e qualidade à arquitetura (GONÇALVES e BODE, 2015, p. 298).

O fato do atual uso das ferramentas estar restrito somente as fases finais do projeto, para a verificação de regulamentos (WILDE et al. 1999) e otimizar alguns parâmetro projetuais, tem levado muitos pesquisadores a desenvolverem métodos de projeto que integram a seleção de componentes de eficiência energética por meio de simulação de desempenho durante as etapas iniciais.

A Figura 11 aborda a metodologia utilizada por Lin e Gerber (2013), considerando a realização da simulação de desempenho ainda na etapa de estudo de massa, onde está sendo avaliada a volumetria do projeto. Os autores abrangem uma metodologia para inserção das ferramentas de simulação às etapas iniciais projetuais que permite a evolução gradual da proposta por meio da tomada de decisão. Foram destacados os profissionais envolvidos nas atividades previstas. O processo de integração do projeto inicial e da simulação de desempenho ocorre, segundo os autores, por meio da definição de requerimentos e intenções de projeto pelos projetistas. Em segundo plano, o projeto de estudo de massa de arquitetura é concebido e alternativas de desenho para este projeto são parametrizadas. As informações de projeto são exportadas para a ferramenta de simulação. Ocorre, então, a edição do modelo energético com a inserção de dados de entrada. Em seguida, a simulação é executada e os indicadores de energia são avaliados. Esses dados são informados à equipe de projeto e ocorre a tomada de decisão frente aos parâmetros analisados. Feita a tomada de decisão, prossegue-se para a próxima etapa de projeto.

Figura 11- A simulação de desempenho integrada às fases iniciais do processo de projeto.



Fonte: a autora, baseada em Lin e Gerber (2013).

Como forma de inclusão de ferramentas de simulação ao processo inicial de projeto, Eastman et al. (2008) apontam a integração dos programas de desempenho na fase de estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo (Figura 12). Para aplicação do processo de simulação na fase preliminar, o projeto deve apresentar informações de estudo de viabilidade e identificação de condicionantes de projeto. A aplicação do processo de simulação, segundo os autores, compreende: modelagem energética; inserção de dados de entrada; processamento da simulação de desempenho; extração dos dados de saída e análise dos registros obtidos. Os pesquisadores descrevem que quando os indicadores de energia extraídos não correspondem ao desempenho requerido, deve-se realizar ajustes nas etapas de inserção de dados de entrada e, posteriormente, na análise dos registros obtidos.

Figura 12- Fluxograma de projeto arquitetônico integrado ao processo de simulação ambiental



Fonte: a autora, baseada em Eastman et al. (2008).

Venancio et al. (2011) apontam que, devido as etapas iniciais do processo de projeto abrangerem níveis de informações mais abstratas, a simulação deve ser simplificada. Bron (2015) define a simulação preliminar como o processo onde ocorre a rápida análise de desempenho do projeto arquitetônico e permite a evolução para as demais etapas projetuais por meio de tomada de decisão. A modelagem deve ser realizada de forma simples, contemplando o nível de informação das etapas iniciais do processo de projeto (HENSEN e LAMBERTS, 2011).

A simplificação do processo de simulação de desempenho torna-se um desafio nos programas de simulação, os quais requerem a especificação de um grande número de dados de entrada e alto conhecimento de conceitos de fenômenos físicos para a compreensão dos registros de saída. As barreiras e as soluções para a aplicação do processo de simulação de desempenho integrado ao projeto de arquitetura foram levantadas e descritas a seguir.

2.2.2 Obstáculos e soluções

Wilde, Augenbroe e Voorden (2001) apontam que as vantagens e a importância do uso das ferramentas de simulação computacional nas etapas iniciais de projeto estão consolidadas em muitas pesquisas. Entretanto, para aumentar a inserção da simulação durante as primeiras fases do processo de projeto é necessário que o arquiteto tenha conhecimento sobre os métodos de simulação e consiga executá-los de maneira simples e fácil, ou que o projetista possua uma boa interação com um consultor ambiental, especializado em simulação de desempenho.

Martins (2011) defende que nas fases iniciais de projeto, o processo de simulação pode ser realizado pelo próprio arquiteto ou responsável da equipe pelo projeto, enquanto nas fases finais, onde a simulação deve ser alimentada com dados suficientes para a instalação de diversos sistemas, o processo deve ser desenvolvido por especialistas. Para a aplicação das ferramentas de simulação, a definição dos papéis dos profissionais durante o processo torna-se decisiva, garantindo o sucesso da execução das diferentes etapas de projeto e de simulação (MARTINS, 2011).

Na maioria dos casos, os arquitetos se unem a consultores ambientais para incorporar o processo de simulação de desempenho ao projeto (MACDONALD et al., 2005). Profissionais que normalmente utilizam a simulação como ferramenta de trabalho são engenheiros que não possuem experiências com o processo de projeto, fazendo com que haja conflito na elaboração de um processo de simulação colaborativo (KALAY, 2011). O sucesso da atividade de simulação de um edifício ainda em fase de desenvolvimento, por meio de um consultor ou especialista, requer profundo entendimento do processo de projeto e da consciência da capacidade existente dos componentes arquitetônicos em gerar economia energética (HENSEN e CLARKE, 1999).

Em alguns casos, durante as etapas iniciais de projeto, os clientes não estão dispostos a bancar e contratar os serviços de consultoria energética. Esta realidade faz com que os projetistas deixem de contar com conselhos de consultores ambientais para a seleção de componentes de eficiência energética ao projeto. Segundo Alsaadani e Souza (2012), este problema ocorre pois os arquitetos enxergam os clientes como empregadores e não como clientes. “A hierarquia entre cliente e arquiteto deve ser repensada e modificada nos escritórios de arquitetura” (ALSAADANI e SOUZA, 2012).

Quando os arquitetos não dispõem de parcerias com os consultores, o ensino de graduação em arquitetura torna-se uma barreira para realização de análises físicas nos edifícios. Os profissionais não são ensinados sobre o uso e aplicabilidade de ferramentas de simulação de desempenho nas edificações (TUCKER e SOUZA, 2013). O uso de instrumentos de simulação em disciplinas no ensino de arquitetura e urbanismo é recente e ainda pouco explorado. O apoio à formação dos profissionais de arquitetura pode minimizar as barreiras para a aplicação das ferramentas de simulação de desempenho ainda durante as fases de projeto (MCLEROY et al., 2001).

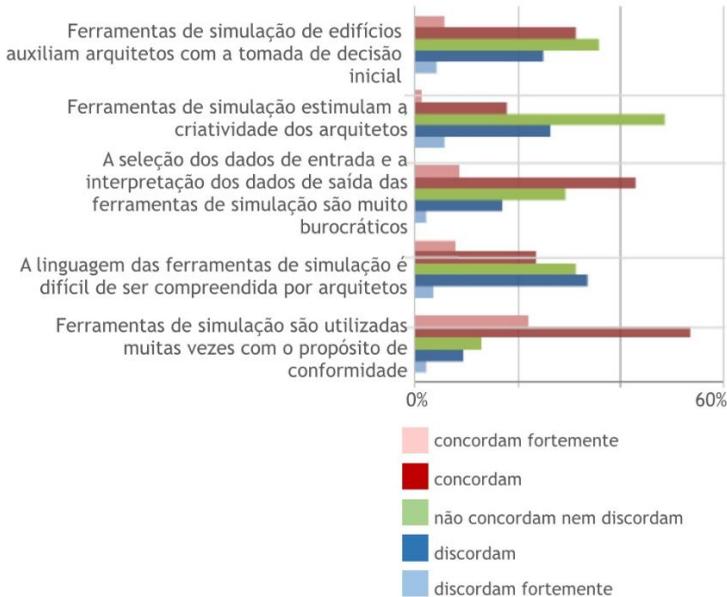
Souza (2012) aponta que devido ao ensino de graduação, o paradigma de pensamento e modo de operação dos arquitetos e engenheiros consultores são completamente diferentes. Isso dificulta que os profissionais trabalhem juntos em torno de um objetivo único. Os arquitetos possuem uma abordagem mais construtivista para resolver problemas das edificações, enquanto os consultores apresentam abordagens baseadas em conhecimentos científicos. Segundo a autora, isso explica a baixa aplicabilidade no projeto dos dados obtidos no processo de simulação. As barreiras levantadas pela autora e que condizem com as dificuldades dos arquitetos na compreensão do processo de simulação, correspondem:

- a) A forma construtivista de pensar. Os arquitetos pensam que não podem resolver problemas usando somente pesquisas baseadas em dados científicos;
- b) Os arquitetos constroem suas teorias de projeto baseadas em experiências. Projetistas geralmente não identificam os fenômenos físicos em seus problemas de projeto. Suas decisões são baseadas em resultados de relacionamento entre causa e efeito;
- c) As variáveis e métricas que os projetistas usam na prática de projeto são adequadas para serem representadas visualmente. Esses profissionais lutam para compreender os fenômenos físicos quando são matematicamente representados.

Os arquitetos foram entrevistados e questionados pelas pesquisadoras Alsaadani e Souza (2012) sobre o poder das ferramentas de simulação. Alguns profissionais apontam a simulação como rígida e tediosa e distante da arquitetura. Outros consideram a simulação como uma caixa preta, pois não compreendem os processos envolvidos, como os fenômenos de troca de calor, por exemplo. Os profissionais desconsideram os potenciais das ferramentas de simulação ao apontarem

que entre as principais aplicações das ferramentas de simulação de desempenho, encontra-se a necessidade de conformidade com normas e menos de 20% dos profissionais concordam que os programas estimulam a criatividade. Estes dados estão listados na Figura 13.

Figura 13- A relação entre as ferramentas de simulação de desempenho e os arquitetos.



Fonte: a autora, baseada em Alsaadani e Souza (2012).

Esses dados levantados por Alsaadani e Souza (2012) demonstram que os arquitetos reconhecem o potencial das ferramentas de simulação para a tomada de decisão e para quantificar dados de energia, mas mesmo assim apresentam dificuldade para incorporar estes programas na rotina do processo de projeto devido a complexa linguagem das ferramentas, aos dados de entrada requeridos e a interpretação dos registros extraídos. Este fato faz com que o uso de simulação seja efetuado na maior parte das vezes por engenheiros consultores especialistas em simulação.

As ferramentas de simulação de desempenho tornam-se incompatíveis à prática de projeto devido aos dados de saída não

relatarem conceitos considerados significativos para os arquitetos. Isto faz com que os profissionais contem com sua própria experiência (aprendendo fazendo) para a realização de análises ambientais, sendo esta a forma de resolução de problemas de projeto (TUCKER e SOUZA, 2013).

Quando as simulações de desempenho são realizadas por profissionais consultores, apontam-se as dificuldades da equipe de arquitetura na análise dos dados obtidos. E surgem as principais razões para a baixa aplicabilidade dos programas durante o processo de projeto: a maioria das ferramentas foram desenvolvidas por especialistas que dispõe de métodos de apresentação de resultados que não consideram a relevância destas informações para o arquiteto; se os projetistas esperam obter conselhos com base nos resultados obtidos na execução de simulações de desempenho, faz-se importante discutir os métodos e métricas usadas para descrever e analisar o desempenho do edifício, especificar somente o desempenho global do edifício dificulta a compreensão das causas dos dados extraídos; a integração entre as ferramentas de simulação e o processo de projeto tende a ser um “malabarismo” entre dois diferentes pontos de vista (arquiteto *versus* consultor) ao invés de ser visto uma estrutura de trabalho única; indicadores de energia que quantificam o desempenho de sistemas apresentam dados que não são compreendidos por arquitetos (SOUZA e KNIGHT, 2007).

Hensen (2004) propôs que profissionais de arquitetura assumissem o papel de simulador e observas as dificuldades apontadas por projetistas. Os profissionais relataram que o problema está em especificar os aspectos de desempenho do edifício e ressaltaram a necessidade da utilização de diversos programas, comprometendo o rápido desenvolvimento do projeto e fazendo com que essas ferramentas deixem de ser utilizadas na concepção dos edifícios. Uma simulação “aberta” seria a solução para os problemas, onde diversos profissionais, como arquitetos e consultores, alimentam a mesma simulação ao mesmo tempo.

Para disseminar o uso da simulação nos escritórios de arquitetura é imprescindível a elaboração de interfaces simplificadas, que reduzam o tempo gasto na modelagem e análise de diferentes alternativas ainda na etapa conceitual de projeto (MAHDAVI et al., 2003). A integração entre os programas de simulação e os de projeto torna-se o meio para alcançar propostas que apliquem os conceitos de eficiência energética.

Nos últimos anos a concepção de ferramentas de simulação concentrou esforços com o propósito de alcançar o público de arquitetos e tornar as simulações instrumentos de projeto. Os programas passaram a

abordar simplificações no processo de simulação e adoção de interfaces gráficas amigáveis aos projetistas. Estas ferramentas possibilitaram integrar o processo inicial de projeto aos programas de desempenho e foram classificadas por Souza e Knight (2007), de acordo com quatro metodologias distintas de funcionamento: níveis crescentes de complexidade; “brincando com uma ideia”; formas generativas simples e algoritmos generativos. Uma descrição de cada metodologia é apresentada abaixo:

- a) “Níveis crescentes de complexidade” refere-se à concepção e aprimoramento de programas de simulação para atender todos os estágios do projeto. Desde os anos 2000, acreditava-se que cada fase de projeto iria aumentar seus níveis de complexidade e de informações e por isso as ferramentas deveriam seguir a mesma lógica. Mourshed et al. (2003, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007) propõem uma metodologia ArDot (*Architectural Design Optimisation Tool*) para investigar a complexa relação entre as variáveis de projeto e o conflito de objetivos. Wilde et al. (2002) desenvolvem a DAI (*Design Analysis Interface*), integrando as fases de projeto com teorias de suporte de decisão. Matrizes de desempenho de múltiplos cenários são elaboradas e os resultados são avaliados conforme os parâmetros especificados nestas matrizes, permitindo que os projetistas utilizem esta ferramenta desde os estágios iniciais de projeto. Além disso, alguns programas existentes foram refinados para abranger os estágios iniciais do processo de projeto. Um exemplo foi o ESP-r (HAND, 1998, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007), no qual foram adicionadas novas interfaces, proporcionando a capacidade de utilizá-la desde as fases iniciais;
- b) “Brincando com uma ideia”: a partir do desenvolvimento do Ecotect, Marsh (1996, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007) possibilitou que os projetistas brinquem com suas ideias e avaliem o desempenho de projetos por meio de uma interface interativa que fornece resultados para alcançar a tomada de decisão. A ferramenta foi elaborada com o objetivo de ser aplicada durante as fases iniciais. É durante a concepção que as ideias aparecem e devem ser avaliadas e testadas rapidamente;
- c) O conceito de “formas generativas simples” surge com a derivação da pesquisa de Marsh (1996, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007) sobre integração de ferramentas de simulação em estágios iniciais de projeto. A ideia é otimizar as fases finais do processo de projeto e auxiliar os projetistas a predeterminarem possíveis ideias de projeto para o futuro. As análises referem-se a dados específicos de desempenho dos edifícios a partir da forma (geometria) verificada;

d) Algoritmos generativos correspondem a pesquisas produzidas para otimizar as decisões de projeto. As ferramentas são mais sofisticadas do que os programas de “formas generativas simples”, pois usam algoritmos mais abrangentes. Operadores genéticos controlam a evolução de soluções de diferentes problemas de projeto e possibilitam selecionar uma solução em função dos objetivos de desempenho. Caldas e Norford (2002, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007) e Caldas et al. (2003, Apud SOUZA e KNIGHT, 2007) demonstram exemplos de aplicação de algoritmos genéticos para alcançar o projeto sustentável. Em um primeiro caso os autores apresentam a otimização de dimensões de janelas para iluminação e aquecimento de ambientes, e em um segundo caso, demonstram o uso de algoritmos genéticos para otimizar fachadas seguindo as regras de composição de arquitetura e minimizando o consumo global de energia. Este método é recomendado para fases intermediárias e finais de projeto.

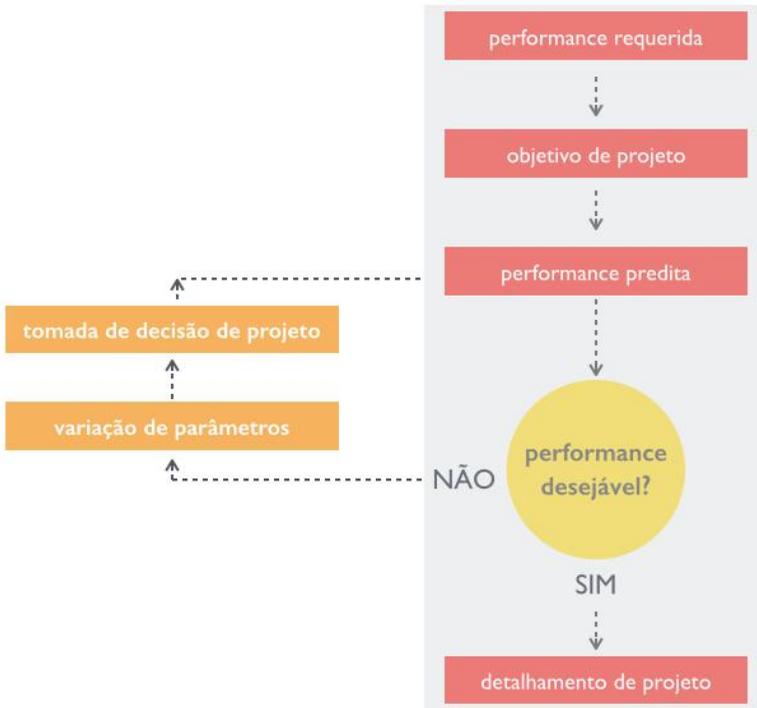
A concepção de novas ferramentas é decorrente das complexas interfaces dos programas existentes. O método de representação dos dados extraídos adotados nos programas torna-se um desafio para os consultores apresentarem esses registros aos arquitetos. Muitos programas acabam sendo descartados por não apresentarem: interfaces visuais agradáveis; tempo de execução compatível com o disponível; inúmeros requisitos para inserção de dados de entrada; entre outros (ATTIA et al., 2009). Hestnes (1997) afirma que essas razões levam à falta de utilização de instrumentos de simulação durante o processo de projeto.

Radford e Gero (1980) notaram que as informações providas das ferramentas de simulação são muitas vezes avaliativas, ao invés de prescritivas. Os autores argumentam que os programas são ineficientes para investigar alternativas de arquitetura no estágio inicial do processo de projeto. Wilde e Voorden (2004) identificaram diversas barreiras apontadas pelos arquitetos para a integração das ferramentas de simulação ao processo de projeto e apontaram: a indisponibilidade de ferramentas de computação apropriadas para cada fase do projeto; a falta de confiança dos projetistas nos resultados simulados; o alto nível de conhecimento necessário para utilizar as ferramentas de simulação; os custos (tempo e dinheiro) agregados aos esforços necessários para a realização do processo de simulação de edifícios e a baixa interoperabilidade entre os programas de desenho e os de simulação.

Tupper e Fluhrer (2010) defendem que a dificuldade no emprego da simulação nos estágios iniciais de projeto ocorre quando a decisão que foi tomada necessita ser modificada, implicando no dever de refazer o

modelo energético. Isso tende a ocorrer quando a proposta não alcança as metas de desempenho energético determinadas, levando o arquiteto a recomeçar o processo de projeto e ao maior consumo de tempo dos projetistas à conclusão das atividades de desenho e de simulação. Esse processo acarreta em uma abordagem contínua e tediosa de tentativa e erro, até que o modelo satisfaça as metas de desempenho propostas, conforme o esquema apontado na Figura 14. A fim de ampliar e melhorar a incorporação dos instrumentos de desempenho, Wilde e Voorden (2004) propõem que se deve considerar e integrar o tempo de processamento das diferentes decisões de projeto ao processo de simulação.

Figura 14- A tomada de decisão a partir da avaliação de desempenho do projeto.



Fonte: a autora, baseada em Kalay (1999).

A elevada demanda de intervenção dos usuários durante o processo de simulação (modelagem física, gerenciamento de dados de entrada e pós processamento dos resultados) também é uma dificuldade encontrada pelos profissionais da área, arquitetos e consultores. Em seu um estudo sobre 20 programas de simulação, Crawley et al. (2008) concluem que as ferramentas não são fáceis de usar pois requerem alto grau de conhecimento do usuário.

Alsaadani e Souza (2012) defendem que além dos aspectos relacionados a utilização de programas de desempenho, existe um conjunto de barreiras sócio culturais que impossibilita a integração de ferramentas de simulação ao processo de projeto. As barreiras sociais também devem ser consideradas. “Enquanto arquitetos e profissionais de simulação permanecerem cada um em seu mundo, os potenciais do uso da simulação de desempenho em projetos nunca serão explorados” (ALSAADANI e SOUZA, 2012). É indispensável que arquitetos e consultores trabalhem de forma integrada e colaborativa, em prol de um mesmo objetivo.

Introduzir as ferramentas de simulação à prática do processo de projeto arquitetônico torna-se um desafio. Faz-se necessária uma mudança sociocultural, que deve começar na formação dos cursos de arquitetura com a integração de ferramentas de simulação durante as etapas do processo de projeto do ensino de graduação. Isso possibilita que os profissionais arquitetos abordem com facilidade os instrumentos de simulação computacional em seu cotidiano, da mesma forma com que utilizam os programas de desenho, e garante a adoção de soluções ambientais aos edifícios por meio da adoção de estratégias de eficiência energética.

Os arquitetos necessitam reconhecer o potencial de suas decisões na redução do consumo de energia das edificações. Abordar ferramentas de simulação computacional de desempenho durante as etapas do processo de projeto torna-se fundamental para que os projetistas compreendam os fenômenos ambientais e consigam alcançar a tomada de decisão racional de estratégias de projeto eficientes.

2.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados conceitos e pesquisas realizadas com foco em simulação de desempenho energético de edificações e de integração de ferramentas de simulação ao projeto arquitetônico. Inicialmente, a revisão aborda as possibilidades e os potenciais de aplicações de ferramentas de simulação de desempenho de edifícios.

Também foram levantadas metodologias para a seleção de ferramentas de simulação de edifícios. Foi abordado o uso de programas de desempenho como auxílio para a definição de estratégias de eficiência energética de edificações e a investigação de componentes de projeto por meio de análises de sensibilidade e de parametrização de componentes. A segunda parte do capítulo aborda o processo de projeto de arquitetura integrado às ferramentas de simulação de desempenho energético. Definiram-se as diferentes etapas do processo projetual, como foco nas fases iniciais e o potencial de utilização de programas de desempenho durante estas fases. E por fim, foram descritos os obstáculos e soluções para a inserção dos instrumentos de desempenho durante o processo de projeto de arquitetura.

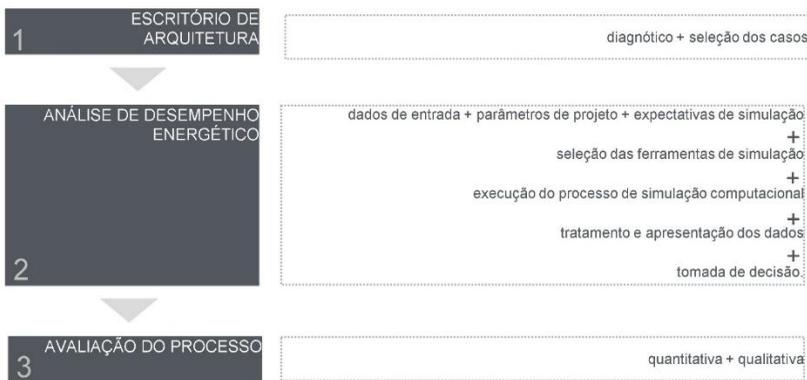
3 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

3.1 INTRODUÇÃO

O método desenvolvido nesta pesquisa surgiu da demanda de um escritório de arquitetura, que buscou aproximação com o LabCon, Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC. O objetivo do contato da empresa foi buscar formas de inserir a simulação de desempenho nas etapas iniciais de projeto arquitetônico. Estabelecida esta parceria, desenvolveu-se uma metodologia de pesquisa, fundamentada na revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior.

A metodologia foi elaborada devido a demanda do escritório mas pode ser reaplicada em outras empresas de arquitetura. Para isto, a primeira fase do método consiste no diagnóstico do escritório de arquitetura com o objetivo de adaptar a atividade de simulação à metodologia de trabalho abordada no escritório. No diagnóstico, foram levantados dados sobre a empresa e realizada a seleção de projetos, estudos de caso, para a aplicação do processo de simulação de desempenho. Em segundo plano, foram desenvolvidas fases que abrangem a análise de desempenho energético integrada ao processo inicial de projeto do escritório. Por último, foi realizada a avaliação da introdução de ferramentas de simulação computacional de desempenho nos projetos da empresa. As etapas da metodologia desenvolvida são apresentadas na Figura 15.

Figura 15- Etapas do método desenvolvido.



Fonte: a autora.

Cada fase da metodologia proposta aborda diretrizes e objetivos diferentes que juntas compõe o método desta pesquisa. Na etapa referente ao escritório de arquitetura foi realizado o diagnóstico, considerando aspectos de estrutura de trabalho, como também a seleção de estudos de caso em caráter inicial de projeto, consistindo na escolha de projetos para a aplicação das análises de desempenho por simulação.

Com os estudos de caso definidos, foi iniciada a etapa de análise de desempenho energético integrada ao processo inicial de projeto, a qual abrange: a definição dos dados de entrada; a definição das variáveis de projeto; o levantamento das expectativas de simulação; a seleção da ferramenta de simulação; a execução do processo de simulação de desempenho; o tratamento e apresentação dos dados e a tomada de decisão de estratégias de projeto. O objetivo desta etapa é auxiliar os projetistas na incorporação de estratégias de eficiência energética aos projetos de arquitetura.

Por último foi realizada a avaliação da inserção das ferramentas de simulação no início do processo de projeto arquitetônico abordado no escritório. Com estas etapas finalizadas, pode-se dizer que o processo metodológico proposto foi concluído.

3.2 O ESCRITÓRIO DE ARQUITETURA

O escritório já abordava em sua estrutura de trabalho ferramentas de simulação de desempenho. Entretanto, a equipe possuía dificuldades para encontrar um meio de aplicação de indicadores de energia ao contexto inicial de projeto de arquitetura. Os projetistas não compreendiam as causas e os porquês dos dados energéticos extraídos no processo de simulação. Demonstrando interesse em solucionar estas questões, os arquitetos entraram em contato com o LabCon e sugeriram uma parceria. Foi identificada, então, a necessidade da elaboração de uma metodologia para aplicar análises de desempenho nas etapas iniciais de projetos desenvolvidos pelo escritório de arquitetura.

O potencial do escritório para o desenvolvimento da metodologia de pesquisa foi reconhecido, considerando os seguintes aspectos:

- a) O escritório localizava-se em Florianópolis-SC, cidade onde se desenvolveu este estudo;
- b) Apresentava interesse na adoção de componentes de eficiência energética durante as etapas iniciais dos projetos;
- c) Apresentava em seu pacote de dados programas de simulação ambiental;
- d) Abordava o processo de simulação durante o desenvolvimento de propostas de arquitetura;
- e) Apresentava disponibilidade de tempo e boa aceitabilidade da equipe de projeto em trabalhar junto a pesquisadora.

O escritório de arquitetura estava localizado em Florianópolis, facilitando o deslocamento entre a empresa e o laboratório de conforto, considerando que o LabCon (UFSC) situa-se na mesma cidade. Para a aplicação do processo de simulação de desempenho, a equipe de arquitetos, além de apresentar interesse em agregar estratégias de baixo impacto ambiental às propostas realizadas no escritório, precisava ter disponibilidade de tempo para a introdução de análises energéticas nos projetos arquitetônicos, juntamente à autora desta pesquisa. Para tornar possível a realização das simulações, também se fez necessário que o escritório apresentasse no seu próprio pacote de dados programas de simulação de desempenho e que já possuísse experiências na incorporação de ferramentas de simulação aos projetos, facilitando a compreensão do processo de análise de desempenho.

A parceria entre este estudo e o escritório foi fixada a partir da apresentação de uma proposta de colaboração voluntária entre as duas partes. Por meio de contato pessoal, foi apresentado aos responsáveis pela empresa um breve projeto de pesquisa, contendo um método preliminar

para atendimento da demanda apontada pelos projetistas, o qual está no Apêndice 1. A metodologia visa o auxílio a prática projetual dos arquitetos, por meio da incorporação de análises de desempenho em etapas iniciais de projetos elaborados pelo escritório.

Explicou-se as responsabilidades dos arquitetos e da pesquisadora durante as diferentes etapas do método. Os projetistas deveriam selecionar estudos de caso, conforme interesse da equipe, e disponibilizar os dados de projeto necessários para identificação e levantamento de informações necessárias para a aplicação do processo de simulação nos casos. A pesquisadora foi responsável por realizar o diagnóstico do escritório, introduzir as etapas de análise de desempenho aos projetos selecionados e avaliar o processo realizado.

Foi planejada a presença da autora desta pesquisa no escritório de arquitetura durante o período da manhã, nos dias de semana, de março a julho de 2015. O acompanhamento diário foi fundamental para compreender simultaneamente à realização das simulações as questões de projeto e os objetivos de simulação dos projetistas, bem como, auxiliar os arquitetos na compreensão dos indicadores de desempenho energético das edificações analisadas.

Com a colaboração da equipe do escritório em aplicar a metodologia de pesquisa apresentada, prosseguiu-se para a etapa de diagnóstico.

3.2.1 Diagnóstico

A fase de diagnóstico constitui-se em levantar dados referentes ao escritório para caracterizar e reconhecer a estrutura de trabalho adotada no local. Para isso, foram elaboradas entrevistas semiestruturadas e aplicadas pela pesquisadora deste estudo aos responsáveis pelo escritório. O modelo de entrevistas semiestruturada encontra-se no Apêndice 2.

O levantamento de dados referentes ao escritório foi realizado por meio da seleção de diretrizes consideradas fundamentais para a aplicação do método de pesquisa desenvolvido. Tornou-se essencial o reconhecimento do perfil do escritório e dados da rotina de trabalho da equipe. Assim, as entrevistas abordaram as seguintes diretrizes:

- a) O perfil dos responsáveis pelo escritório e da equipe de projetistas;
- b) O foco e a prioridade das propostas realizadas pelo escritório;
- c) As diferentes etapas de projeto desenvolvidas no escritório – com foco nas fases iniciais;
- d) As ferramentas de simulação disponíveis no escritório;

e) As ferramentas de projeto utilizadas durante as primeiras etapas do processo de projeto.

Para melhor comunicação e relacionamento entre a pesquisadora e a equipe, levantou-se quem são os responsáveis pela coordenação do escritório e o conhecimento da equipe de projetistas. A ciência do foco e da prioridade das propostas arquitetônicas objetivaram o reconhecimento de quais tipologias de projeto são concebidas pelo escritório.

Dados de metodologia de projeto (itens “c”, “d” e “e” acima) identificaram a estrutura de trabalho e as ferramentas de projeto e de simulação adotadas pelos projetistas durante as fases iniciais. As diferentes etapas de projeto desenvolvidas foram levantadas para compreensão da estrutura de trabalho dos projetistas, possibilitando a integração da metodologia às etapas iniciais abordadas no escritório. O reconhecimento dos programas de simulação apresentou como propósito identificar as ferramentas de análise de desempenho energético disponíveis no escritório e para aplicação desta pesquisa. A identificação dos programas de projeto utilizados nas etapas iniciais objetivou o levantamento da existência de interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e as de simulação.

Levantou-se como os instrumentos de desenho e de simulação de desempenho são utilizados e aplicados pelos arquitetos durante as etapas iniciais do processo de projeto, bem como as dificuldades de utilização dos programas de simulação disponíveis. Com a definição e o conhecimento prévio acerca do escritório, parte-se para a seleção dos estudos de caso.

3.2.2 Seleção dos casos

A definição de uma metodologia para um escritório de arquitetura permitiu a seleção de casos reais à aplicação de análises de desempenho energético. Os casos selecionados correspondem a projetos em fases iniciais com potencial para aplicação do processo de simulação computacional. Salienta-se que a escolha dos projetos não ocorreu de forma simultânea, e sim ao longo do período desta pesquisa, conforme a necessidade e o interesse dos projetistas em realizar análises de desempenho nas propostas elaboradas pelo escritório.

A seleção dos casos foi efetuada por meio da aplicação de entrevistas com a equipe de trabalho do escritório, que estão reproduzidas no Apêndice 3. Os projetistas apontaram quais projetos apresentavam potencial para a aplicação do processo de simulação, conforme os

requisitos estabelecidos para a seleção dos casos. A fim de aplicar a metodologia proposta nesta pesquisa, os projetos arquitetônicos deveriam contemplar: interesse na adoção de estratégias de eficiência energética e encontrar-se em fase inicial de projeto.

O estudo de caso deveria apresentar como propósito a inserção de componentes de baixo impacto ambiental. Sendo o foco desta pesquisa as fases iniciais de projeto, o estudo de caso necessitava encontrar-se na etapa de concepção, apresentando maior facilidade para a introdução de mudanças de projeto. Tendo em vista esses aspectos, os arquitetos foram questionados a respeito dos projetos que apresentavam estas características, e assim, os estudos de caso foram definidos e apontados pela equipe.

Após a identificação destas propostas, foi realizado o reconhecimento de cada caso por meio do levantamentos de dados gerais sobre os projetos. Os dados visam obter informações sobre cada proposta, tais como: tipologia de projeto; programa de necessidades; localização do projeto; área projetada e etapa do projeto. Esses registros possibilitam direcionar as análises de desempenho para avaliar cada estudo conforme o perfil do projeto. Com o reconhecimento das propostas e de suas características, segue-se para a segunda etapa do método, a análise de desempenho energético integrada ao processo de projeto.

3.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO

Nesta etapa foi proposta a realização de análises de desempenho energético aos estudos de caso selecionados. A aplicação de simulação de desempenho objetivou auxiliar o amadurecimento das propostas arquitetônicas, por meio da introdução de estratégias de baixo impacto ambiental aos casos. Para isso, o processo de simulação computacional foi integrado às fases iniciais de projeto abordadas no escritório.

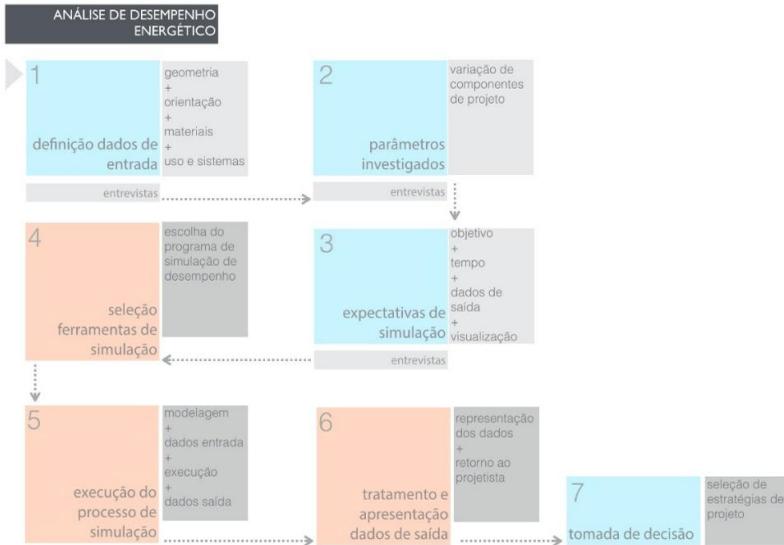
A fim de realizar esta pesquisa, elaborou-se uma metodologia de análise de desempenho energético, a qual foi desenvolvida em diferentes etapas que estão descritas em ordem consecutiva:

a) Definição de dados de entrada: com os casos selecionados, levantaram-se os dados de entrada necessários para a execução da simulação de desempenho. Foram reconhecidos os registros referentes ao projeto arquitetônico e a informações que influenciam no comportamento energético das propostas;

- b) Definição de parâmetros de projeto investigados: nesta fase foram definidas as alternativas de projeto que correspondem a variáveis arquitetônicas a serem investigadas ao longo do processo de simulação;
- c) Expectativas de simulação: foram identificados os requerimentos e expectativas dos projetistas referentes ao processo de simulação. Esses dados correspondem aos objetivos dos projetistas à aplicação da atividade de simulação, o tempo ideal para concluir o processo de simulação, os dados de saída requeridos e a forma desejada para a representação dos registros extraídos;
- d) Seleção de ferramentas de simulação: consistiu na escolha do programa de simulação, para isso a ferramenta deveria fazer parte do pacote de dados do escritório, apresentar boa interoperabilidade com o programa de projeto e permitir o alcance das necessidades e expectativas levantadas pela equipe de projeto;
- e) Execução do processo de simulação de desempenho: a execução da simulação foi realizada por meio de diferentes fases: modelagem geométrica; inserção dos dados de entrada; execução da simulação e extração dos dados de saída;
- f) Tratamento e apresentação de dados de saída: consistiu em representar graficamente ou analiticamente os indicadores de energia obtidos por meio da execução da simulação de desempenho. A apresentação destes dados representa o retorno das informações aos projetistas, que posteriormente foram aplicadas ao projeto de arquitetura;
- g) Tomada de decisão: correspondeu à última etapa do processo de análise de desempenho. A tomada de decisão consistiu na seleção de estratégias de eficiência energética para os projetos analisados.

Após o desenvolvimento dessas etapas para cada estudo de caso, foi realizada a síntese do processo de análise de desempenho energético. Para melhor compreensão da análise de desempenho, elaborou-se um diagrama com as etapas e suas características, o qual é apontado na Figura 16. No diagrama, estão apresentadas as fases definidas pelos arquitetos, identificadas pela cor azul, e pela pesquisadora, indicados em rosa.

Figura 16- As etapas de análise de desempenho energético.



Fonte: a autora.

3.3.1 Definição de dados de entrada

Os dados de entrada são necessários para a execução da simulação de desempenho e correspondem a registros de projeto e a informações que representem o comportamento energético da edificação. Esses dados alimentam as ferramentas de simulação e compõem o modelo energético.

Assim que o estudo de caso era selecionado, uma reunião com os responsáveis pelo projeto era realizada a fim de compreender a proposta arquitetônica e levantar os dados de entrada. Os registros necessários para a realização de simulação de desempenho são similares, independentemente da ferramenta selecionada. Isso possibilitou que estes dados fossem levantados por meio da aplicação de entrevistas padronizadas ao responsável por cada projeto. A entrevista encontra-se reproduzida no Apêndice 4.

Inicialmente, as entrevistas abordavam os dados de projeto. Esses registros estão relacionados com a concepção arquitetônica e correspondem à: dimensões; orientação solar e materiais construtivos

empregados na proposta. As principais fontes de informações foram os apontamentos elaborados pela equipe de projeto, como: desenhos de plantas baixas; elevações; modelagens tridimensionais e croquis. Como os projetos encontravam-se em fase inicial, algumas informações ainda não se encontravam bem definidas e por isso foram estimadas pela equipe de projeto e repassadas à pesquisadora.

Em segundo plano, foram discriminados os registros que caracterizam o comportamento energético da edificação. Esses dados correspondem às propriedades físicas dos materiais construtivos, ao padrão de uso e ocupação da edificação e as características dos sistemas a serem instalados: como iluminação; equipamentos e climatização de ar. As propriedades físicas dos materiais construtivos foram especificadas conforme Anexo Geral V da Portaria nº 50 do INMETRO (BRASIL, 2013). O padrão de uso e a taxa de ocupação dizem respeito aos dias e aos horários que o edifício será ocupado e foram definidos conforme a indicação da tipologia de projeto, seguindo a NBR 16401 (ABNT, 2008).

A definição dos sistemas de iluminação normalmente ocorre em fases mais avançadas da proposta de arquitetura, juntamente ao projeto luminotécnico. A especificação e o projeto de condicionamento de ar possui a interferência de uma equipe multidisciplinar e não faz parte das atividades desenvolvidas pelos arquitetos, bem como, o reconhecimento dos equipamentos a serem instalados na edificação. Dessa forma, os dados de equipamentos (*plug loads*) e iluminação foram estabelecidos segundo a tipologia de projeto, seguindo a NBR 16401 (ABNT, 2008). O tipo de sistema de climatização de ar foi indicado pelos projetistas segundo uma previsão realizada pela equipe. Os demais parâmetros do sistema foram especificados considerando a adoção de equipamentos de condicionamento de ar nível A, segundo classificação do INMETRO.

O arquivo climático foi selecionado conforme a identificação da cidade onde será implantada a edificação. Os registros obtidos em arquivos climáticos correspondem a dados de estações meteorológicas que definem as condições climáticas do local (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos). O tipo de arquivo climático varia de acordo com a ferramenta de simulação de desempenho.

A partir do levantamento de todas essas informações, pode-se dizer que os dados de entrada foram coletados e correspondem a:

- a) Geometria de projeto;
- b) Orientação solar de projeto;
- c) Materiais construtivos empregados;

- d) Propriedades físicas dos materiais construtivos;
- e) Padrão de uso e ocupação;
- f) Potência dos sistemas utilizados (iluminação, equipamentos e condicionamento de ar);
- g) Arquivo climático.

3.3.2 Definição de parâmetros de projeto investigados

A definição de parâmetros de arquitetura investigados no processo de simulação correspondem aos componentes de projeto avaliados nas análises de desempenho. Os elementos investigados em cada proposta foram apontados pelos projetistas por meio da aplicação de entrevistas semiestruturadas pela autora desta pesquisa. A entrevista encontra-se no Apêndice 4.

A investigação de elementos arquitetônicos compreendeu a elaboração de diferentes alternativas de projeto para o mesmo elemento. Estas propostas de variação foram realizadas pelos arquitetos por meio de desenhos 2D e 3D e disponibilizadas à autora desta pesquisa. Estes registros também compuseram os dados de entrada da simulação. Por exemplo, quando se pretendia avaliar a influência de área de janela da envoltória no desempenho do projeto, a dimensão da altura de janela era variada. Esta variação era realizada conforme os desenhos elaborados pelo escritório de arquitetura e as informações eram introduzidas no programa de simulação. Quando diferentes componentes de arquitetura eram verificados em uma única proposta, as variáveis eram parametrizadas, otimizando o processo de simulação.

Com a análise de parâmetros de arquitetura foi possível verificar a influência de componentes de projeto no desempenho energético das propostas e apontar a alternativa mais benéfica para a eficiência do projeto analisado.

3.3.3 Expectativas de simulação

Nesta etapa foram levantadas as expectativas e requerimentos dos projetistas em relação à execução da atividade de simulação. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas e aplicadas pela autora desta pesquisa aos arquitetos responsáveis pelo projeto. As entrevistas encontram-se no Apêndice 4 e os dados fornecidos nos questionamentos definiram: o tempo estimado pelo arquiteto como sendo o ideal para o retorno das informações dos parâmetros investigados; os indicadores de energia que os arquitetos pretendiam obter com a investigação dos

componentes arquitetônicos e como estes dados deveriam ser apresentados à equipe de projetistas.

Estes aspectos revelaram os desejos dos projetistas e compuseram os objetivos a serem alcançados pela atividade de simulação. Procurou-se realizar o processo de simulação considerando o tempo para o retorno das informações, fazendo com que a equipe de projeto pudesse contar com o auxílio da simulação de desempenho para a evolução do processo de projeto. Os indicadores de energia requeridos pelos projetistas revelaram os conceitos de eficiência energética que eram mais familiares aos projetistas e que facilitavam a compreensão do desempenho do edifício para a seleção de estratégias de projeto. A forma de representação dos dados era definitiva pelos arquitetos, objetivando facilitar a compreensão dos indicadores de energia, seja por meio de desenhos e imagens, ou por meio de gráficos que representam os dados analíticos obtidos no processo de simulação. Elaborou-se o Quadro 3, que corresponde a organização das informações coletadas nesta etapa.

Quadro 3-Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho.

Objetivo de simulação	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
-----------------------	---	--------------------------	--

Fonte: a autora.

Com a indicação das expectativas dos projetistas frente ao processo de simulação de desempenho, possibilita-se a aplicação da próxima etapa, a seleção da ferramenta de simulação.

3.3.4 Seleção de ferramenta de simulação

A seleção da ferramenta de simulação de desempenho foi determinada pela autora desta pesquisa, considerando os seguintes requisitos:

- a)O programa deve fazer parte do pacote de dados do escritório;
- b)Possuir boa interoperabilidade com a ferramenta de projeto utilizada na elaboração da proposta;
- c)Auxiliar nas expectativas dos projetistas em relação aos indicadores energéticos requeridos e a forma de representação dos dados de saída.

O programa de simulação deveria fazer parte do pacote de dados do escritório, a fim de disponibilizar a ferramenta para uso nesta pesquisa. Além disso, possuir boa interoperabilidade com a ferramenta utilizada durante o processo de projeto, facilitando a transferência de dados de entrada para o programa de simulação e evitando a necessidade de grande quantidade de tempo para a edição do modelo energético. A verificação de interoperabilidade ocorreu por meio do levantamento da capacidade das ferramentas de simulação em exportar e importar arquivos dos programas de projeto com os dados necessários para a simulação.

Os indicadores energéticos que os arquitetos desejavam obter por meio do processo de simulação foram levantados anteriormente e determinantes para a seleção da ferramenta de desempenho. Priorizou-se aquela ferramenta que era capaz de extrair a maioria das informações requeridas, dispensando a utilização de mais de um programa para a análise de desempenho.

A definição da ferramenta de simulação também levou em consideração o atendimento a forma de representação dos dados de saída desejados pelos projetistas. Consideraram-se as possibilidades de representação dos dados de saída das ferramentas disponíveis para uso. Algumas ferramentas fornecem somente a solução analítica dos fenômenos simulados, enquanto outros programas geram também a visualização gráfica dos resultados, facilitando a integração com a etapa de projeto.

A partir da seleção da ferramenta de desempenho conforme os critérios estabelecidos, parte-se para a etapa de execução da simulação propriamente dita.

3.3.5 Execução de simulação de desempenho

O processo de execução da simulação de desempenho foi realizado pela autora desta pesquisa, por meio de quatro diferentes etapas:

- a) Modelagem geométrica;
- b) Inserção de dados de entrada;
- c) Execução da simulação;
- d) Extração dos dados de saída.

O processo de simulação é similar entre as ferramentas de desempenho, abrangendo as mesmas etapas de: modelagem geométrica; inserção dos dados de entrada; execução da simulação e extração dos

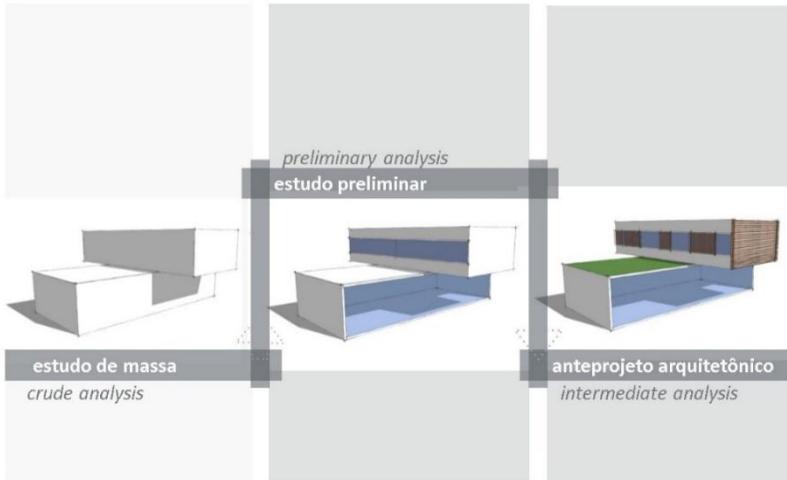
dados de saída. Para a realização da etapa de execução do processo de simulação, foram introduzidos e considerados todos os dados levantados anteriormente: os registros de entrada; os parâmetros a serem investigados; as expectativas de simulação e a seleção da ferramenta à execução do processo.

Inicialmente, para a concepção da modelagem geométrica, o volume de projeto foi transferido da ferramenta de desenho para a de simulação, por meio da existência de boa interoperabilidade entre os programas. Quando não havia a existência de boa interoperabilidade entre a ferramenta de projeto e as de simulação a volumetria de projeto foi desenhada no programa de desempenho. A modelagem consistiu no zoneamento da proposta, correspondendo a divisão do projeto em zonas térmicas. Essas zonas foram determinadas por ambientes que apresentavam características térmicas semelhantes, como: orientação solar; materiais construtivos; sistemas de iluminação; equipamentos; condicionamento de ar e padrão de uso e ocupação.

O nível de detalhe da modelagem energética depende da fase em que o projeto se encontra. Como os projetos verificados encontravam-se em etapas iniciais, foram estabelecidos graus de informações da modelagem térmica que correspondem à diferentes fases iniciais de projeto (Figura 17):

- a) *Crude analysis*: corresponde ao estudo de massa. Nesta fase pode ocorrer a modelagem de apenas uma única zona térmica, que corresponde ao volume de projeto. O objetivo é analisar a carga térmica do volume para possibilitar a tomada de decisões referentes à geometria e à posição solar do projeto;
- b) *Preliminary analysis*: corresponde ao estudo preliminar. Nesta etapa, as questões de geometria já foram previamente definidas e a modelagem das zonas térmicas consiste na subdivisão do volume projetado, conforme a orientação solar do layout de projeto. Normalmente, o projeto é modelado conforme um pavimento tipo e dividido em quatro zonas que correspondem as principais orientações solares;
- c) *Intermediate analysis*: corresponde ao anteprojeto arquitetônico. Com o projeto refinado, as zonas térmicas são modeladas conforme a planta baixa e a geometria do projeto.

Figura 17- As etapas iniciais de projeto e a modelagem térmica.



Fonte: a autora.

Alguns parâmetros de entrada foram simplificados e estimados pelos projetistas, como o tipo de sistema de condicionamento de ar, devido ao projeto encontrar-se em caráter inicial. Outros dados foram determinados pela autora desta pesquisa, como as propriedades físicas dos materiais construtivos e a densidade de cargas de iluminação e equipamentos. Esses dados foram especificados baseados em normativas devido à falta de conhecimento dos projetistas para seleção dos dados requeridos. A simplificação dos dados requeridos pelas ferramentas de simulação otimizou o processo de análise de desempenho tanto para questões de tempo de inserção dos dados quanto para facilitar a execução da simulação.

Por fim, com a inserção de dados concluída, o arquivo climático era selecionado conforme a especificação da ferramenta de desempenho selecionado. A simulação era então executada e eram extraídos os indicadores energéticos, correspondendo ao resultado de execução da simulação de desempenho.

Após a extração dos dados de energia, era realizada a apresentação dos registros obtidos à equipe de arquitetura.

3.3.6 Tratamento e apresentação de dados de saída

O tratamento e a interpretação dos dados de saída da simulação foram realizados pela autora desta pesquisa. O objetivo desta etapa foi a representação dos indicadores de energia extraídos no processo de simulação e o alcance da tomada de decisão da equipe de projeto

Nesta fase, o diagnóstico energético do edifício era representado por meio de dados analíticos ou gráficos, dependendo das expectativas dos arquitetos. Os dados obtidos nas ferramentas de desempenho eram tratados facilitando a compreensão dos projetistas frente aos indicadores de energia. Posteriormente, estes registros eram apresentados. Alguns programas de simulação permitiram a visualização automática dos registros de saída de forma gráfica, não necessitando do tratamento de dados. Outras ferramentas necessitaram de programas auxiliares para realizar o tratamento dos dados, exigindo mais tempo na manipulação dos resultados.

A apresentação e a interpretação dos dados extraídos no processo de simulação foi fundamental para que o arquiteto selecionasse a estratégia de melhor desempenho referente ao projeto analisado. A apresentação dos dados de saída condiz ao retorno das informações obtidas ao longo do processo de simulação ao projetista. Reuniões com a equipe de projeto eram realizadas para discutir o porquê dos dados obtidos por meio de análises de arquitetura. Esses debates possibilitavam que a equipe compreendesse as relações entre os fenômenos físicos e a arquitetura. A apresentação dos dados de saída possibilitava que a equipe de projeto prosseguisse para a etapa de tomada de decisão.

3.3.7 Tomada de decisão

Com os dados de saída tratados e apresentados para a equipe de projeto, possibilitava-se a tomada de decisão. Nesta etapa, os arquitetos selecionavam a estratégia de arquitetura que era incorporada ao projeto, tendo em vista os indicadores energéticos obtidos no processo de simulação.

Quando a tomada de decisão ocorria e a estratégia era incorporada ao projeto, realizava-se também a evolução do partido arquitetônico e da simulação. Dessa forma, com a tomada de decisão se prosseguia para a próxima fase de projeto, onde outros parâmetros eram investigados. Aumentava-se o nível de detalhe tanto do projeto de arquitetura quanto do modelo energético. Por exemplo, se o projeto simulado encontrava-se na fase de estudo preliminar, com a simulação correspondendo a

modelagem energética *preliminary analysis*, com a tomada de decisão, a proposta evoluía para o anteprojeto arquitetônico, que condiz com a etapa de modelagem *intermediate analysis*.

Pode-se dizer que a partir da tomada de decisão de estratégias de projeto conclui-se a atividade de simulação e que o processo de análise de desempenho alcançou o propósito da aplicação das ferramentas de simulação ao início do processo de projeto.

3.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

A partir da conclusão do processo de análise de desempenho energético, realizou-se a avaliação da inserção das ferramentas de desempenho nas etapas iniciais de projeto de arquitetura abordadas no escritório. Registros extraídos durante o processo de simulação de desempenho e que compõem as principais características de cada caso simulado foram organizados pela autora desta pesquisa.

As análises realizadas foram aquelas observadas ao longo da integração da atividade de simulação ao processo de projeto. Foi apontado o nível de interferência do arquiteto e da pesquisadora durante a realização das diferentes etapas de análise de desempenho desenvolvidas. Relatou-se quando e em quais situações os projetistas necessitaram do auxílio da pesquisadora para especificar: dados de entrada; variáveis de projeto; expectativas de simulação e alcançar a tomada de decisão. Também foram descritas as dificuldades encontradas pelos arquitetos em determinar os dados nas etapas desenvolvidas.

Foi realizada a avaliação quanto ao atendimento das expectativas de simulação requeridas pelos arquitetos, levantou-se o que o arquiteto desejava conhecer por meio do processo de simulação e se as informações solicitadas foram atendidas. As expectativas compreenderam os requerimentos dos arquitetos e correspondem à: objetivos de simulação; o tempo ideal para apresentar os dados de saída; os indicadores de energia requeridos e a forma de representação dos dados de saída.

A boa aceitabilidade dos projetistas durante as etapas do processo de análise de desempenho foi avaliada em relação ao auxílio dos dados obtidos no processo de simulação (indicadores de energia) em alcançar a tomada de decisão de estratégias de projeto. A aceitação quanto a forma de representação dos indicadores energéticos e as dificuldades de compreensão dos dados extraídos foram relatadas. Esses aspectos foram analisados pela pesquisadora no decorrer da pesquisa. A dificuldade de compreensão dos arquitetos frente aos dados apresentados foi analisada

por meio do número de encontros e reuniões necessárias para que os arquitetos entendessem os dados apresentados e assim alcançassem a tomada de decisão. A forma com que os arquitetos reagem frente à apresentação dos dados de saída também foi verificada, observando as dificuldades e facilidades relatadas pela equipe com os conceitos energéticos apresentados. Foi analisada como a equipe correspondia à forma de representação dos indicadores energéticos. Se os arquitetos conseguiam alcançar a tomada de decisão logo que os dados eram apresentados demonstravam também boa aceitabilidade na forma de representação dos registros. Quando houve dificuldade dos projetistas, manifestando que a forma de representação não auxiliou na compreensão dos dados extraídos, sendo necessária grande intervenção da pesquisadora para alcançar a tomada de decisão, a aceitabilidade da forma de representação era baixa e identificou-se a possibilidade de outra forma mais adequada.

Ao longo do processo de simulação foram realizadas verificações de tempo referentes as ferramentas de simulação utilizadas na análise de desempenho de cada projeto. Avaliou-se o dispêndio de tempo para a realização de: modelagem energética, inserção dos dados de entrada e tratamento dos dados de saída. Também foram relatadas as dificuldades e facilidades encontradas pela autora desta pesquisa na aplicação das ferramentas de simulação computacional aos estudos de caso.

Analysaram-se as variáveis de arquitetura investigadas em cada fase do processo inicial de projeto abordado no escritório, levantando os parâmetros de eficiência energética com potencial para serem investigados durante estas etapas. Foram especificados também os dados de entrada alterados para investigar os componentes de projeto.

Os parâmetros de projeto investigados foram relacionados com os determinados indicadores energéticos e as estratégias de projeto alcançadas. Essas verificações possibilitaram o levantamento de quais variáveis de projeto foram mais requeridas pelos arquitetos, bem como, os indicadores energéticos mais relevantes para a análise destes parâmetros e as estratégias de projeto selecionadas pela equipe de arquitetura. Elaborou-se o Quadro 4 para organização e cruzamento destas informações.

Quadro 4- Variáveis de projeto, indicadores energéticos e estratégias de projeto analisadas nos casos.

	Indicadores energéticos	
Variáveis de projeto		Estratégias de projeto

Fonte: a autora.

Em síntese, o procedimento de inserção dos programas de simulação ao processo inicial de projeto foi avaliado quanto:

- a) Ao nível de intervenção da pesquisadora e dos arquitetos durante a execução das fases de análise de desempenho;
- b) Ao atendimento das expectativas de simulação dos arquitetos;
- c) A aceitabilidade dos indicadores de energia extraídos: dificuldade de compreensão; forma de representação dos dados e o auxílio para alcançar a tomada de decisão dos projetistas;
- d) As variáveis de projeto investigadas durante as diferentes etapas iniciais de projeto do escritório;
- e) Tempo dispensado nas ferramentas de desempenho para a realização de: modelagem energética; inserção dos dados de entrada e tratamento de dados de saída.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1 ESCRITÓRIO DE ARQUITETURA

4.1.1 Diagnóstico

O escritório de arquitetura surgiu da união de duas empresas, que já atuavam há 20 anos no mercado. Desde a sua criação, em 2009, o escritório teve como foco agregar tecnologia nas diversas fases de projeto, adotando o BIM como principal ferramenta. Recentemente, a empresa tem investido na coordenação de suas propostas arquitetônicas, onde as disciplinas envolvidas são avaliadas em todas as fases do processo de projeto (Engenharia Simultânea).

Atualmente, o escritório é composto por 30 profissionais, entre arquitetos e engenheiros. As equipes de projeto são coordenadas por dois arquitetos sócios. A empresa apresenta como foco principal a elaboração de projetos de arquitetura na plataforma BIM, apresentando em seu portfólio mais de 30 edificações BIM e que correspondem a produção de propostas multidisciplinares integradas. Entre os projetos realizados pelo grupo encontram-se edifícios de caráter: comercial; residencial; hotel; franquias e edificações voltadas a saúde.

As diferentes etapas projetuais adotadas na estrutura de trabalho do escritório são diferenciadas por fases iniciais e finais de projeto. As etapas iniciais são caracterizadas por: estudo de massa; estudo preliminar e anteprojeto arquitetônico. As fases finais correspondem por: projeto legal; projeto executivo; detalhamento de projeto e compatibilização de projeto. A fase inicial e final de projeto abordada pelo escritório são apontadas na Figura 18.

Figura 18- Diagrama das fases de projeto abordadas no escritório.



Fonte: a autora.

Sendo as fases iniciais de projeto o foco desta pesquisa, verificaram-se as principais características e diretrizes de cada estágio de projeto que correspondem à descrição abaixo:

a) Estudo de massa: corresponde à definição da volumetria e à implantação da edificação no terreno de projeto. Nesta etapa são concebidas questões de volume, as quais estão relacionadas ao conceito do projeto definido pela equipe de arquitetos. A etapa de estudo de massa ocorre somente quando há a intenção de criar e construir um novo edifício e não se aplica à reforma de edificações;

b) Estudo preliminar: ocorre após a etapa de estudo de massa e corresponde ao tratamento do entorno próximo ao edifício (implantação), zoneamento das plantas baixas e tratamento preliminar da envoltória. Essas decisões dependem diretamente do programa de necessidades e dos requisitos estabelecidos pelo cliente;

c) Anteprojeto arquitetônico: é uma evolução da etapa anterior e normalmente seu desenvolvimento ocorre mediante a apresentação da proposta de estudo preliminar para o cliente. Frente a aprovação do estudo anterior é realizado o refinamento das ideias de projeto anteriormente lançadas. Esta etapa aborda diversos conteúdos de projeto, como: refinamento do layout da planta baixa; refinamento da envoltória e lançamento dos materiais construtivos a serem empregados no volume projetado. Caso a proposta apresentada anteriormente não seja aprovada pelo cliente, o estudo volta para a etapa preliminar. Com a conclusão do anteprojeto arquitetônico são finalizadas as etapas iniciais de projeto do escritório.

As ferramentas de projeto utilizadas pela equipe de arquitetos do escritório na concepção dos estudos iniciais, correspondem aos programas: Autodesk Revit Architecture 2015 e Trimble SketchUp 2015.

Autodesk Revit Architecture é uma ferramenta de desenho computacional que funciona de forma intuitiva. Sendo um programa utilizado para a modelagem de informações de construção (BIM), qualquer alteração – a qualquer momento, em qualquer lugar – reflete-se automaticamente em todo o projeto. Os recursos apresentados pelo Revit são: componentes paramétricos; quantitativo de material; vistas 3D e sombreamento instantâneo; verificação de interferências; renderização integrada e opções para importação/exportação de diferentes tipos de arquivos (AUTODESK, 2015).

Trimble SketchUp é uma ferramenta de desenho 3D fácil de ser aplicada. Pode ser utilizada para: diagramar; gerar volumetria e desenvolver desenhos 2D. Possui as seguintes características: possibilita a geração de documentos para apresentações; cria visualizações e passeios virtuais pelo modelo; prepara estudos de sombra em tempo real; importa e exporta CAD e outros tipos de dados; apresenta uma grande biblioteca de modelos 3D; modela em contexto com Google Earth e constrói modelos a partir de fotografias (TRIMBLE, 2015).

O Revit Architecture é utilizado no escritório há cerca de sete anos. A aplicação do programa nos projetos vem sendo aprimorada ao longo do tempo com a contratação de especialistas na área BIM. Atualmente, está em fase de implementação a plataforma 4D do Revit, a qual possibilita a

integração do projeto ao cronograma de execução da construção. Devido à alta complexidade de elaboração dos desenhos na plataforma Revit, o programa é utilizado à medida em que os projetos vão sendo alimentados com informações mais detalhadas. Pela necessidade de conhecimento avançado a respeito do projeto, a utilização da plataforma Revit condiz com as etapas mais evoluídas do desenho arquitetônico.

O SketchUp é adotado como ferramenta de projeto pela equipe de arquitetos por apresentar uma interface rápida e amigável, proporcionando agilidade na elaboração de desenhos esquemáticos. O foco do programa é a concepção de modelos 3D. Os desenhos em duas dimensões são gerados a partir do modelo tridimensional. A ferramenta é amplamente utilizada pois permite a compatibilização de arquivos com outros programas também utilizados no escritório.

No escritório, as etapas de projeto estão relacionadas com o uso de diferentes ferramentas de desenho. Verificou-se que durante a fase inicial do desenvolvimento do partido arquitetônico o uso dos programas de projeto ocorre da seguinte forma:

- a) Estudo de massa: nesta etapa a ferramenta de projeto mais utilizada é o SketchUp. A utilização do programa facilita a elaboração dos estudos de desenhos esquemáticos 2D e 3D, por meio da possibilidade de gerar rápidas modificações no modelo de projeto estudado. Em alguns casos, devido a necessidade de compatibilização de arquivos de projeto, utiliza-se o Revit;
- b) Estudo preliminar: as ferramentas normalmente utilizadas para a elaboração dos estudos preliminares são o SketchUp, a fim de dar continuidade a etapa anterior, e o Revit Architecture, aplicado como ferramenta secundária para o desenho dos requisitos de projeto definidos. O uso do Revit é ampliado à medida em que o projeto evolui, enquanto o emprego do SketchUp é abandonado com o avanço das etapas de projeto, as quais exigem o uso de ferramentas que permitam a inserção de detalhes com precisão;
- c) Anteprojeto arquitetônico: por possuir um nível de conhecimento mais avançado acerca do projeto arquitetônico, a principal ferramenta empregada nesta etapa é o Revit. Ainda se mantém o emprego do SketchUp, mas como ferramenta secundária de projeto. Nesta etapa, o SketchUp é normalmente utilizado a fim de realizar pequenos testes de composição dos elementos arquitetônicos.

Levantaram-se as ferramentas de simulação de desempenho disponíveis no escritório. Os programas correspondem ao: Autodesk Solar Tool; Autodesk Ecotect Analysis 2011; Autodesk Vasari Beta 3 e EnergyPlus 8.0.

Autodesk Ecotect Analysis 2011 é uma ferramenta da Autodesk desenvolvida para as etapas iniciais de projeto e objetiva a análise de desempenho da edificação. O software é disponível para teste durante o período de trinta dias. Para uso contínuo é necessária a aquisição do programa. A modelagem de zonas térmicas é realizada em formato 3D por meio do zoneamento térmico da proposta. O programa apresenta a própria biblioteca de materiais construtivos com dados de propriedades físicas, que podem ser editados. A ferramenta permite a análise de estratégias de projeto relacionadas à eficiência energética dos edifícios. Também podem ser realizadas análises de radiação e sombras e de ventos. Os relatórios de saída são analíticos e também podem ser verificados de forma gráfica no modelo de projeto. As análises térmicas realizadas pelo programa podem abordar dados de cálculo de: ganho e perda de calor, temperatura interna das zonas térmicas, consumo de condicionamento de ar e conforto térmico. Pode ainda ser efetuado cálculo de fator de luz natural e nível de iluminância. Dados de reverberação acústica também podem ser extraídos. A ferramenta importa arquivos DXF, IDF, gbXML, 3D CAD e exporta DXF, IDF, gbXML. Atualmente, a Autodesk está desenvolvendo uma plataforma de simulação do Ecotect dentro da família de produtos do Revit. Esta mudança permitirá o desenvolvimento de rápidas análises de desempenho por meio de uma nuvem dentro da própria plataforma do Revit (AUTODESK, 2015a).

Autodesk Solar Tool é uma ferramenta que auxilia arquitetos e engenheiros a estudar a incidência de radiação solar nas edificações. A modelagem é realizada em formato 3D, de forma paramétrica onde se pode inserir qualquer quantidade de elementos de sombreamento, verticais ou horizontais. É selecionada a localização, data e hora da análise. O programa permite o estudo de radiação solar para qualquer data, hora e local, por meio da análise de sombras. Os dados de saída são apresentados de forma gráfica por meio da carta solar com diagrama e trajetória solar em 2D do modelo de sombreamento analisado. Também podem ser visualizados dados analíticos. São dados e projeções ortográficas e estereográficas. O Solar Tool não possui integração direta com outras ferramentas (AUTODESK, 2015b).

Autodesk Vasari Beta 3 é um instrumento de simulação BIM desenvolvido pela Autodesk. Trata-se de um programa comercial, com versão gratuita para teste e uso limitado. Atualmente o programa

encontra-se em estudo pela Autodesk e está indisponível para uso. O processo de modelagem energética é realizado em uma interface 3D. A geometria do modelo é desenhada por meio da plataforma BIM adotada no programa. Após a inserção da geometria de projeto, o modelo é subdividido em zonas térmicas. As zonas são geradas automaticamente e o usuário possui a capacidade de editar a configuração das mesmas. O arquivo climático é inserido por meio da localização da cidade requerida, com dados de latitude e longitude. O Vasari possui uma biblioteca própria de materiais construtivos com dados de propriedades físicas dos materiais. Também apresenta registros de padrão de uso e ocupação e de cargas instaladas conforme a tipologia do projeto analisado. Estes dados são definidos segundo os padrões de norma ASHRAE. A ferramenta permite a verificação de análises energéticas, de ventilação e de radiação solar por meio da visualização das sombras e da incidência de radiação solar no modelo. As análises de ventilação ocorrem por meio da verificação de um túnel de vento. As análises energéticas apresentam os indicadores: consumo energético total (kWh); consumo energético por uso final (kWh); emissões de carbono (MT/yr); custo de energia (US\$) e potencial de uso de energia renovável (kWh/yr). Os relatórios de saída são gerados automaticamente pela ferramenta por meio de uma análise gráfica e analítica do modelo simulado. Também podem ser efetuadas comparações simultâneas a respeito do desempenho energético de diferentes projetos. Modelos conceituais podem ser elaborados no Vasari e posteriormente integrados ao Revit, a fim de desenvolver modelos mais detalhados. Os projetos também podem ser concebidos no Revit e exportados para o Vasari. O programa importa arquivo do tipo CAD e exporta arquivos do tipo CAD, DWF, FBX, e gbXML. (AUTODESK, 2015c).

EnergyPlus é um simulador gratuito criado pelo DOE (U.S. Department of Energy) e utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores para modelar o uso da energia e de água nos edifícios. A modelagem no EnergyPlus é feita por meio do sistema de coordenadas cartesianas. A modelagem energética consiste na concepção de diferentes zonas térmicas. O programa realiza análises térmicas, energéticas e de uso da água nas edificações. As análises são de consumo de energia, transferência de calor, conforto térmico e de radiação solar. Os resultados são apresentados de forma analítica em relatórios de saída, que contêm os indicadores de desempenho solicitados pelo usuário, também são gerados arquivos do tipo DXF. O usuário pode importar arquivos do tipo IDF. O EnergyPlus apresenta integração com SketchUp (Trimble, 2015) por meio do plug-in OpenStudio. O plug-in permite aos usuários criar

rapidamente a geometria do modelo para o EnergyPlus mediante a funcionalidade do SketchUp. O EnergyPlus apresenta diferentes interfaces que permitem ao usuário: criar e editar sistemas de HVAC (*heating, ventilating, and air conditioning*); gerenciar várias simulações e esquemas de trabalho e comparar diferentes dados de saída do programa em um formato gráfico. (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2015).

Estes programas fazem parte do pacote de dados da empresa, mas eventualmente são utilizados. Por meio de uma conversa informal, os arquitetos relatam que as ferramentas de simulação são incorporadas ao processo de projeto durante o desenvolvimento das fases iniciais de projeto (estudo de massa, estudo preliminar e anteprojeto arquitetônico). Quando as análises de desempenho são realizadas é com o intuito de verificar a influência de sombreamento das edificações do entorno nas propostas de projeto. As simulações são empregadas para determinar as fachadas que recebem maior incidência de radiação solar durante o dia, e a partir destes dados, os arquitetos propõem soluções de projeto, como elementos de sombreamento nas janelas.

Dentre as ferramentas disponíveis, os programas utilizados pelos arquitetos são o Vasari e o Ecotect, em razão de possuírem uma interface gráfica amigável e apresentarem análises de incidência de radiação solar diretamente no modelo geométrico de projeto. Os arquitetos relatam que estes programas são mais fáceis de serem aplicados, quando comparados aos outros disponíveis, pois alguns dados de entrada são predeterminados pela própria ferramenta, não necessitando da especificação de todos registros para execução de simulação. Em contraponto, os projetistas afirmam ter pouca segurança em identificar o que exatamente está sendo simulado e quais dados de entrada a ferramenta considera para realizar a simulação, por isso apontam grande dificuldade para interpretar e entender as causas dos resultados obtidos. A simulação segundo eles é uma caixa preta.

A aplicabilidade dos programas de simulação é baixa no escritório devido à dificuldade relatada à inserção dos dados de entrada requeridos pelas ferramentas, os quais são muito complexos e exigem conhecimento específicos em áreas que não compõem o cotidiano dos arquitetos. Outro problema encontrado é na compreensão dos indicadores de energia extraídos nas ferramentas de simulação. Os projetistas não entendem o significado das unidades dos dados de saída, como kWh, e conseqüentemente, não sabem de que forma transpor estes registros para o contexto do projeto de arquitetura. Devido à dificuldade na compreensão dos dados de entrada e de saída, as análises de incidência de radiação solar normalmente são realizadas no SketchUp e eventualmente

são utilizadas outras ferramentas de simulação. O programa permite elaborar estudos de sombra sem grande necessidade de intervenção do usuário sobre o projeto arquitetônico em desenvolvimento.

Dessa forma, foram levantadas as dificuldades na aplicação do processo de simulação pelos projetistas que justificam a falta de utilização das ferramentas de desempenho no escritório de arquitetura.

Com a conclusão da etapa de diagnóstico do escritório, parte-se para a próxima fase, que consiste na seleção dos estudos de caso para a aplicação das análises de desempenho.

4.1.2 Seleção dos estudos de caso

Os estudos de caso para realização de análises de desempenho energético foram indicados pela equipe do escritório de arquitetura. Os casos compreendem diferentes propostas que se encontravam em estágio inicial de projeto e que os arquitetos apresentavam interesse em aplicar verificações de desempenho. A partir da seleção de cada proposta, os desenhos de projeto foram disponibilizados para a autora desta pesquisa.

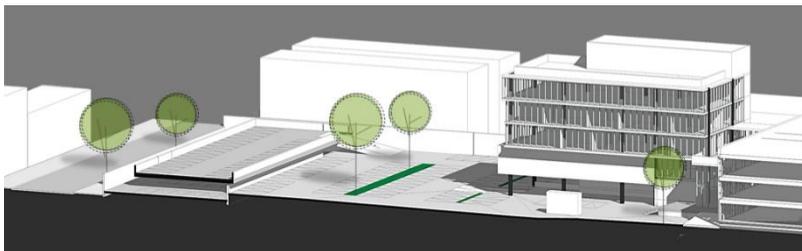
A seleção dos projetos ocorreu ao longo deste estudo. Quando se finalizava o processo de análise e simulação de desempenho de um estudo, iniciava-se o segundo. Ao todo foram simulados três casos diferentes. Os casos correspondem:

- a) Caso 1: Projeto de edificação institucional de escritórios, em Curitiba (PR);
- b) Caso 2: Projeto de hotel, em Florianópolis (SC);
- c) Caso 3: *Retrofit* de um edifício institucional de escritórios, em Florianópolis (SC).

A disposição de ordem dos projetos 1,2 e 3 corresponde a mesma sequência em que ocorreram as análises de desempenho dos casos.

O caso 1 consiste no projeto de uma sede administrativa de uso institucional, localizada em Curitiba-PR. O programa de necessidades conta com os seguintes espaços: estacionamento coberto; estacionamento aberto; circulação; auditório; lanchonete; espaço para rádio/tv; gabinete do secretário; gabinete da diretoria; hall de acesso; restaurante; área de apoio e serviços. O pavimento térreo apresenta uma ligação com a antiga sede administrativa da empresa, a qual será mantida na nova proposta. O projeto desenvolvido pelo escritório está representado na Figura 19

Figura 19- Caso 1, projeto de edificação institucional de escritórios, em Curitiba (PR).



Fonte: o escritório de arquitetura.

O caso 2 consiste no projeto de um hotel a ser implementado na cidade de Florianópolis- SC. O programa arquitetônico conta com aproximadamente 140 dormitórios e uma área comercial destinada a um centro comercial já existente na área de projeto. A Figura 20 corresponde a uma perspectiva do complexo arquitetônico. Foram previstas as seguintes áreas no projeto: hall de acesso, restaurante, circulação (escadas e elevadores), dormitórios, auditório, administração, área de apoio e serviços. Também estão idealizados no entorno do projeto espaços abertos voltados para paisagismo e contemplação. O projeto possui área total de 8.397m², dividido em sete pavimentos.

Figura 20- Caso 2, projeto de hotel, em Florianópolis (SC).



Fonte: o escritório de arquitetura.

O caso 3 corresponde ao projeto de reforma de um edifício de escritórios, localizado no centro de Florianópolis (SC). Foram concebidas mudanças de layout nas plantas baixas e proposto um *retrofit* (reforma e modernização) das fachadas, conforme a Figura 21. Manteve-se o programa de necessidades existente. A edificação possui área total de 2.842m² dividido em oito pavimentos.

Figura 21- Caso 3, *retrofit* de edifício institucional de escritórios, em Florianópolis (SC).



Fonte: o escritório de arquitetura.

A partir do conhecimento e da descrição das propostas selecionadas pela equipe de arquitetura, parte-se para a próxima etapa, o processo de análise de desempenho energético.

4.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO

A aplicação do processo de análise de desempenho energético restringiu-se as etapas iniciais de projeto abordadas no escritório (estudo

de massa, estudo preliminar e anteprojeto arquitetônico). No caso 1, realizaram-se análises referentes às etapas de estudo de massa e estudo preliminar. Não foi abordada a etapa de anteprojeto arquitetônico devido a proposta estar sob processo de aprovação dos clientes. No caso 2, as fases de projeto verificadas foram o estudo preliminar e o anteprojeto arquitetônico. O estudo de massa já estava concluído quando iniciaram-se as análises de desempenho. No caso 3, realizou-se somente análises de desempenho na etapa de estudo preliminar, devido ao projeto corresponder à reforma de uma edificação existente. Desta forma, não foi realizado o estudo de massa. A fase de anteprojeto arquitetônico não foi verificada no caso 3 devido ao projeto não ter apresentado evolução na proposta de arquitetura.

As análises de desempenho das propostas ocorreram em diferentes épocas: caso 1, março de 2015, estudo de massa; caso 2, abril de 2015, estudo preliminar e caso 3, julho de 2015, estudo preliminar. As análises de desempenho foram organizadas por estudo de caso, abordando as diferentes etapas desenvolvidas em cada projeto.

4.2.1 Caso 1

Os dados de gerais do caso 1, levantados durante a etapa de seleção dos estudos de caso, foram resumidos no Quadro 5. As análises do caso 1, referem-se a etapa de estudo de massa do projeto.

Quadro 5- Ficha técnica do caso 1.

Tipologia: Institucional de escritórios.
Cidade: Curitiba (PR).
Área: 4.340 m ² .
Etapa de projeto: estudo de massa.
Início da análise de desempenho: março de 2015.

Fonte: a autora.

4.2.1.1 Definição de dados de entrada

Nesta etapa foram levantados os dados de entrada necessários para a aplicação do processo de simulação. Os registros são referentes a

características arquitetônicas e a informações que interferem no comportamento energético das propostas. Estes dados foram levantados por meio da aplicação de entrevista com o arquiteto responsável pelo projeto.

O projetista especificou: dados de geometria da proposta arquitetônica; o azimute da fachada principal; materiais construtivos empregados na envoltória e o tipo do sistema de condicionamento de ar previsto para o projeto. A geometria do projeto e o azimute foram analisados pela autora a partir de plantas baixas cedidas pelo arquiteto. Devido ao projeto encontrar-se na etapa de estudo de massa, os dados referentes ao sistema e aos materiais construtivos foram estimados pelo projetista. As propriedades térmicas dos materiais foram obtidas no Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO (BRASIL, 2013) e encontram-se no Anexo 2. Os sistemas de iluminação e os equipamentos (*plug loads*) ainda não estavam definidos. Esses registros foram estimados pela pesquisadora conforme a NBR 16401 (ABNT, 2008), seguindo a tipologia de projeto.

Os dados de entrada do caso 1 estão especificados no Quadro 6. Encontram-se distinguidos por registros definidos pelo arquiteto, por meio de aplicação de entrevista, e os determinados pela pesquisadora.

Quadro 6- Dados de entrada do caso 1.



Fonte: o escritório de arquitetura.

Azimute da fachada principal: 243°.

Materiais construtivos empregados:

Alvenaria de blocos cerâmicos;

Piso cerâmico;

Vidro incolor 6mm.

Sistema construtivo:

Laje de concreto armado;

Pilares e vigas de concreto armado.

Sistema de condicionamento de ar: tipo Split.

Dados definidos pela pesquisadora

Padrão de uso: dias de semana (de segunda-feira à sexta-feira), das 9h às 19h.

Carga instalada de equipamentos: 15W/m².

Carga instalada de iluminação: 10W/m².

Taxa de ocupação: 15m²/pes.

COP do sistema de ar condicionado: 3,0.

Fonte: a autora.

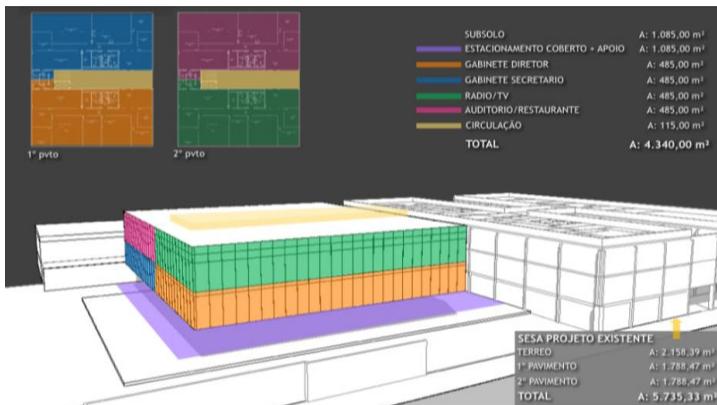
A complexidade e a quantidade de dados de entrada requeridos pelas ferramentas de desempenho tornou-se um problema para a realização de simulação nas etapas iniciais do projeto de arquitetura. Os arquitetos desconheciam alguns dos registros necessários, pois ainda não encontravam-se especificados e definidos devido ao caráter inicial do projeto. Esses registros foram, então, estimados, a fim de possibilitar a execução da simulação de desempenho, gerando incertezas nos resultados extraídos. Outros dados que não faziam parte do conhecimento dos arquitetos foram especificados pela pesquisadora.

A próxima etapa, corresponde a variação de parâmetros de projeto e representam os componentes que serão investigados no processo de simulação de desempenho.

4.2.1.2 Definição de parâmetros de projeto investigados

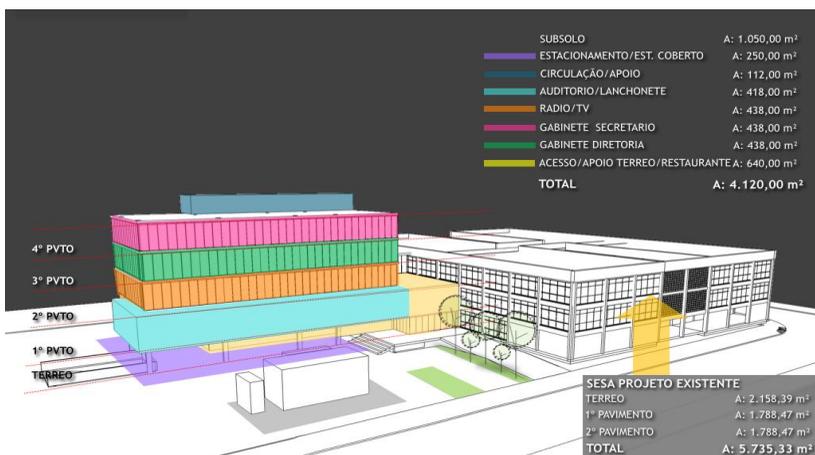
A variável de projeto a ser avaliada no processo de simulação foi determinada pelo arquiteto responsável pelo caso. O parâmetro investigado correspondeu ao volume de projeto. A primeira volumetria elaborada pela equipe de arquitetura está representada na Figura 22 e corresponde a geometria discriminada na etapa anterior, definição dos dados de entrada. Foi elaborada uma segunda proposta de volumetria para o caso 1, a qual foi dividida em quatro pavimentos mais o térreo e possui área total edificada de 4.120m², conforme Figura 23.

Figura 22- Proposta de volume 1.



Fonte: o escritório de arquitetura

Figura 23- Proposta de volume 2.



Fonte: o escritório de arquitetura.

As duas propostas possuem iguais: programa de necessidades; cidade de implantação; azimuth da fachada principal; materiais construtivos; padrão de uso e ocupação e cargas instaladas. O parâmetro alterado corresponde a geometria de projeto, possibilitando a análise da influência da volumetria no desempenho energético da proposta.

Com a seleção dos parâmetros a serem investigados, parte-se para a próxima etapa, a definição das expectativas do projetista quanto à realização das análises de desempenho do caso 1.

4.2.1.3 Expectativas em relação ao processo de simulação

Por meio de aplicação de entrevista, levantou-se as expectativas do projetista frente à incorporação do processo de simulação ao projeto. O objetivo da aplicação do processo de simulação do caso 1 foi determinar a volumetria de projeto mais eficiente, ou seja, que resultasse no menor consumo de energia. Devido a demanda do escritório, o arquiteto desejava que a simulação ocorresse rapidamente, durante o período de uma semana, possibilitando também a rápida evolução da proposta e a apresentação do projeto para o cliente ao final deste período.

Os dados que os arquitetos gostariam de extrair por meio da incorporação do processo de simulação ao projeto correspondem à: incidência de radiação solar nas superfícies externas e ao consumo de energia das duas propostas de volumetria elaboradas. Explicou-se que os dados referentes à quantidade de radiação solar incidente na envoltória, não possibilitava a tomada de decisão de estratégias de eficiência energética ao projeto. Estes registros não representam qualidade dos ambientes internos das propostas. Porém, mesmo assim o projetista demonstrou interesse no reconhecimento da quantidade de radiação incidente em cada face da envoltória do projeto. A representação dos dados de saída deveria ser por meio de gráficos, possibilitando a fácil comparação dos dados das duas propostas. As expectativas do arquiteto estão resumidas no Quadro 7.

Quadro 7- Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho da etapa de estudo de massa.

Objetivo de simulação	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
Determinar a volumetria de projeto	1 semana.	Consumo de energia, Incidência de radiação solar nas fachadas.	Gráficos numéricos.

Fonte: a autora.

Com o levantamento das expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, parte-se para a realização da próxima etapa do processo de análise de desempenho, a seleção da ferramenta de simulação.

4.2.1.4 Seleção de ferramenta de simulação

A seleção da ferramenta de simulação foi realizada pela autora desta pesquisa. Foram consideradas as expectativas do projetista frente à incorporação da ferramenta de simulação, levantadas anteriormente, e a boa interoperabilidade entre o programa de projeto e as ferramentas de simulação disponíveis no escritório. Para determinação de interoperabilidade foram analisadas as possibilidades de importar e exportar arquivos das ferramentas. A análise de interoperabilidade encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8- Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação e o programa de projeto do caso 1.

Programa de projeto utilizado	Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação disponíveis e o programa de projeto			
	Vasari Beta 3	Ecotect Analysis 2011	Solar Tool	EnergyPlus
Autodesk Revit Architecture	SIM	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: a autora.

Foi selecionado o programa de simulação Autodesk Vasari Beta 3. A escolha considerou o curto tempo para extração dos dados de saída. A boa interoperabilidade da ferramenta com o programa de projeto permite otimizar o processo de modelagem energética e a especificação de dados de entrada. O programa de simulação ainda permite a análise dos dados requeridos, incidência de radiação solar no modelo do projeto e a extração de registros de consumo de energia em gráficos numéricos.

Com o programa de simulação de desempenho selecionado, inicia-se a próxima etapa, a execução do processo de simulação.

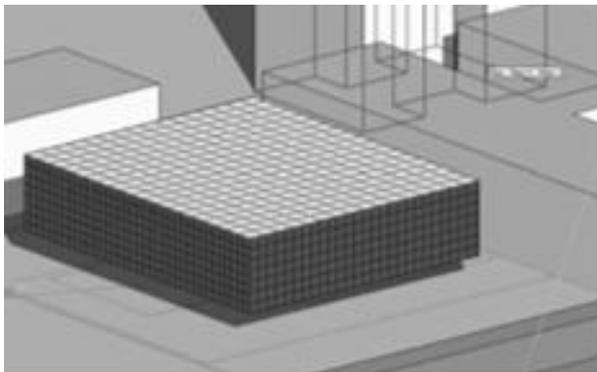
4.2.1.5 Execução de simulação de desempenho

Para a execução de simulação de desempenho foram realizadas diferentes atividades: modelagem energética; inserção dos dados de entrada; execução da simulação e extração dos dados de saída. Inicialmente, o nível de detalhe do modelo energético e dos dados de entrada foi determinado pela fase em que o projeto se encontrava. O estudo de massa corresponde à modelagem *crude analysis*. O nível de modelagem é simples e caracterizado pela análise de zonas que representem diferentes volumes de projeto.

A realização da modelagem energética das propostas analisadas ocorreu por meio da exportação dos arquivos de projeto Revit para o programa de simulação Vasari. Com os arquivos das duas propostas arquitetônicas exportados, o Vasari automaticamente subdividiu o

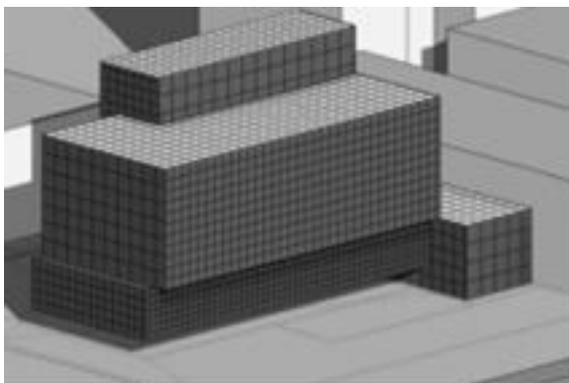
modelo em zonas térmicas. A Figura 24 e a Figura 25 representam a modelagem térmica no Vasari a partir do projeto exportado.

Figura 24- Caso 1, proposta 1, divisão do volume em 2 zonas térmicas (sem escala).



Fonte: a autora.

Figura 25- Caso 1, proposta 2, divisão do volume em 6 zonas térmicas (sem escala).

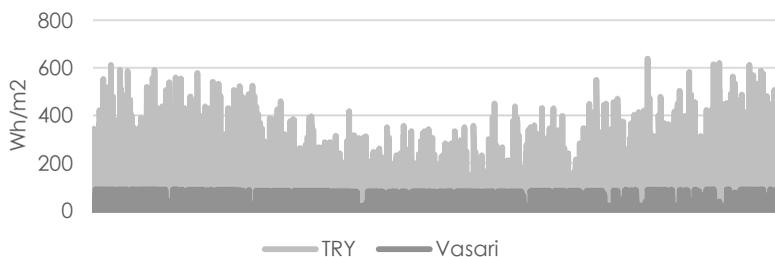


Fonte: a autora.

Após a verificação das zonas térmicas, ocorreu a inserção dos demais dados de entrada. O Vasari adota padrões de materiais construtivos, uso e ocupação do edifício e de cargas internas instaladas, conforme normativas da ASHRAE. Estes dados foram editados e inseridos correspondendo aos dados de entrada especificados pelo projetista e pela pesquisadora. O arquivo climático foi automaticamente carregado pela ferramenta por meio da inserção da localização do projeto (Curitiba-PR) no GoogleMaps.

Em seguida, a simulação de desempenho foi executada e o programa gerou de forma automática os relatórios de desempenho de energia para as duas propostas de volumetria. Quando analisados os dados de incidência de radiação solar nas superfícies externas para as diversas épocas do ano, verificou-se homogeneidade nos dados de radiação para o ano inteiro. Levantou-se que o arquivo climático adotado pela ferramenta apontava registros lineares de radiação direta para o período anual em comparação a um arquivo de formato TRY (Figura 26). Devido a incapacidade do programa em adotar outros formatos de arquivos climáticos, os dados de saída obtidos no Vasari foram desconsiderados.

Figura 26- Comparação de dados de radiação difusa no plano horizontal.



Fonte: a autora.

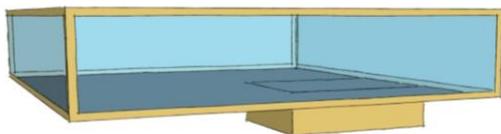
A fim de realizar as análises de consumo de energia e de incidência de radiação solar nas superfícies, selecionou-se outra ferramenta de simulação. Adotou-se então o EnergyPlus, pois a pesquisadora

apresentava conhecimento prévio do programa, facilitando a execução do processo de simulação e possibilitando que os resultados fossem apresentados no tempo desejado pelos arquitetos.

Devido à falta de interoperabilidade entre o programa de projeto (Revit) e o de simulação (Energyplus), utilizou-se o esquema gbXML para exportar a geometria de projeto das duas propostas de volumetria. Para efetuar o processo de conversão do formato dos arquivos foi necessária a intervenção da ferramenta Ecotect. Os arquivos em formato RVT (Revit Architecture) foram transformados em gbXML (Ecotect Analysis) e posteriormente em IDF (EnergyPlus).

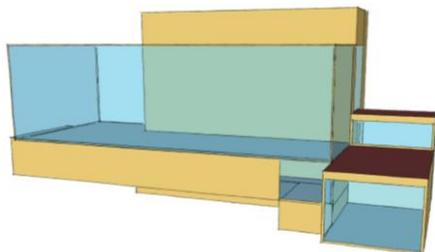
Verificaram-se os modelos exportados por meio do esquema gbXML e foram identificados erros de geometria dos projetos, sendo necessária a remodelagem manual dos volumes no EnergyPlus. Utilizou-se o plug-in OpenStudio para a modelagem no SketchUp. As duas propostas volumétricas do caso 1 foram modeladas conforme a *crude analysis* e correspondem a Figura 27 e Figura 28.

Figura 27- Caso 1, proposta 1, modelagem de duas zonas térmicas, sem escala.



Fonte: a autora.

Figura 28- Caso 1, proposta 2, modelagem de seis zonas térmicas, sem escala.



Fonte: a autora.

Com o zoneamento das propostas concluído, os demais dados de entrada foram inseridos na ferramenta de simulação. Foram introduzidos os dados dos materiais construtivos, especificação das propriedades físicas dos materiais, registros de uso e ocupação, cargas dos sistemas de iluminação, equipamentos e condicionamento de ar, conforme especificados na etapa de determinação dos dados de entrada. Selecionouse o arquivo climático da cidade de Curitiba-PR, em formato TRY, disponibilizado pelo DOE (<http://www.energy.gov/>). Por fim, a simulação foi executada.

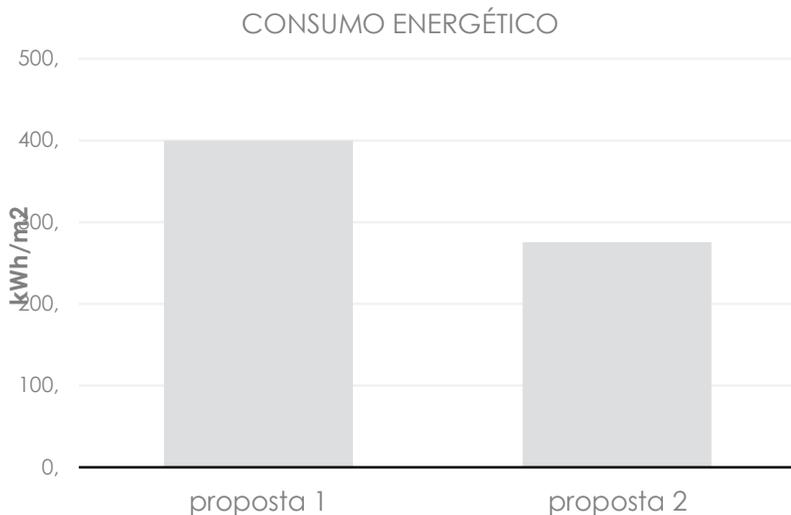
Obtiveram-se os indicadores de energia de forma analítica, que correspondem a dados de consumo de energia e de incidência de radiação solar nas superfícies da envoltória. A próxima etapa do processo de análise de desempenho condiz com o tratamento dos registros analíticos obtidos no processo de simulação de desempenho, possibilitando representar de forma gráfica estes dados e apresentá-los ao arquiteto.

4.2.1.6 Tratamento e apresentação de dados de saída

Os dados de saída, obtidos de forma analítica, foram tratados pela autora desta pesquisa com o auxílio do Microsoft Excel. Os registros foram apresentados em reuniões com a equipe de projeto onde explicaram-se os conceitos e as causas dos dados obtidos, objetivando alcançar a tomada de decisão da equipe por meio da seleção de uma das volumetrias investigadas.

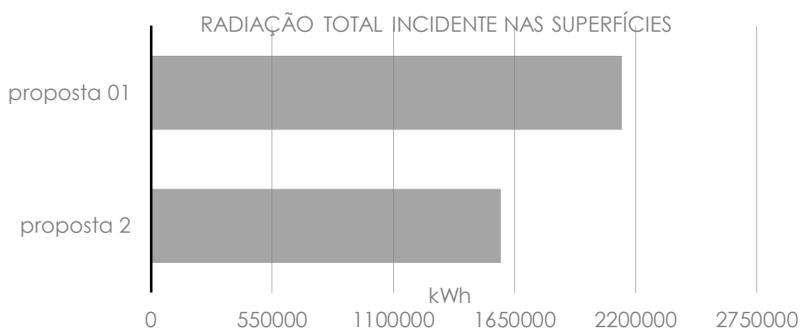
Os dados obtidos foram comparados devido as propostas possuírem iguais padrão de uso e ocupação, cargas instaladas, materiais construtivos, cidade de implantação e orientação solar, permitindo a análise da influência do volume de projeto no consumo de energia das propostas.

A análise energética aponta que a proposta 1 apresenta maior consumo energético por m^2 do que a proposta 2, pois a mesma é marcada por grandes superfícies externas em relação a proposta 2, como apontado na Figura 29. A proposta 2 distribui a área do programa de necessidades em maior número de pavimentos, enquanto a proposta 1 concentra os ambientes em menos pavimentos. Isto gera na proposta 1 superfícies mais horizontais, com grande área de exposição da cobertura, a qual recebe quantidade significativa de radiação solar direta. Sendo assim, a radiação solar incidente nas superfícies também é maior no caso da proposta 1, conforme Figura 30. As figuras foram dispostas no texto conforme apresentadas à equipe do escritório de arquitetura.

Figura 29- Caso 1, consumo energético por m².

Fonte: a autora.

Figura 30- Caso 1, radiação solar total incidente nas superfícies da envoltória



Fonte: a autora.

Análises referentes a aceitabilidade dos resultados extraídos e apresentados aos projetistas serão tratadas posteriormente, no item de avaliação das análises de desempenho desenvolvidas. A próxima etapa do

processo de análise de desempenho consiste na tomada de decisão da equipe.

4.2.1.7 Tomada de decisão

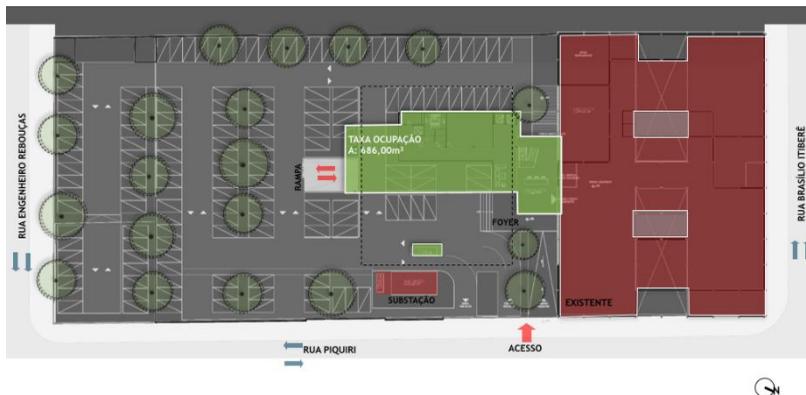
A tomada de decisão ocorreu a partir da apresentação dos indicadores de energia levantados e tratados pela autora desta pesquisa para a equipe de arquitetura e corresponde ao final do processo de simulação de desempenho.

No caso 1, apresentaram-se os dados extraídos por meio dos gráficos que indicaram o consumo energético por m^2 e a radiação solar incidente nas superfícies. Os arquitetos optaram pela geometria da proposta 2, devido ao potencial de redução de consumo de energia da mesma. Com a tomada de decisão do estudo de massa, correspondente à volumetria de projeto, o processo arquitetônico evolui para a próxima etapa, o estudo preliminar, onde foram realizadas outras simulações. A análise de desempenho da etapa de estudo preliminar é tratada a seguir.

4.2.1.8 Estudo preliminar

A partir da tomada de decisão da equipe de arquitetos em relação a volumetria de projeto, definiu-se que os dados de entrada do estudo preliminar correspondem aos registros da proposta selecionada, o volume 2. A geometria da proposta 2, verificada por meio de desenhos cedidos pelo escritório, Figura 31, foi incorporada aos dados de entrada conforme a decisão dos arquitetos. Mantiveram-se os dados referentes a: orientação solar da proposta; materiais construtivos; cidade de implantação; padrão de ocupação e uso e cargas instaladas, especificados na etapa de estudo de massa.

Figura 31- Implantação de projeto da proposta 2, sem escala.



Fonte: o escritório de arquitetura.

Os parâmetros de projeto investigados por meio do processo de simulação, foram selecionados pelo arquiteto. Investigou-se a razão de área de abertura (*window to wall ratio*, *WWR*) da fachada principal, nordeste. Foram comparadas duas diferentes áreas de abertura, definidas e desenhadas pela equipe de arquitetura. Inicialmente o projeto de arquitetura foi especificado com área de abertura igual a 84% da área da fachada. Como alternativa, os projetistas propuseram aberturas correspondente a 43% da área da fachada. Na investigação, mantiveram-se os mesmos dados de entrada para as duas propostas, variando somente a área de janela. Foi possível verificar a influência deste parâmetro por meio da extração de dados de energia.

Para prosseguir as análises de desempenho, levantaram-se as expectativas do projetista frente à incorporação do processo de simulação na etapa de estudo preliminar, que estão resumidas no Quadro 9. O objetivo apontado pelos projetistas foi a seleção de uma das áreas de janela propostas, por meio de análise de dados de desempenho energético. O tempo desejado para a apresentação dos dados correspondeu ao período de duas semanas. O arquiteto apontou inicialmente o interesse em analisar dados de consumo de energia frente as duas opções do parâmetro investigado, sugeriu-se que dados de ganho de calor nas janelas fossem extraídos também. A forma de representação desejada dos dados de saída

correspondeu à gráficos numéricos, facilitando a comparação das duas opções de aberturas propostas.

Quadro 9- Expectativas do arquiteto no processo de análise de desempenho da etapa de estudo preliminar.

Objetivo de simulação	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
Selecionar uma proposta de área de janela frente a extração de dados de desempenho.	2 semanas.	Ganho de calor nas janelas e consumo de energia.	Gráficos numéricos.

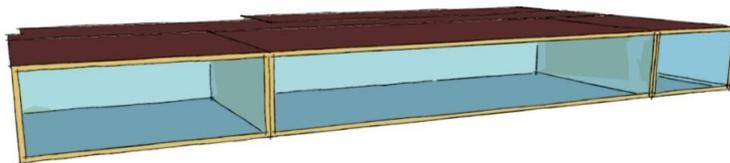
Fonte: a autora.

Após a verificação das expectativas do projetista, selecionou-se a ferramenta de simulação de desempenho frente as disponíveis no escritório. Além de considerar aspectos de interoperabilidade entre o programa de desenho e o de simulação e os desejos dos arquitetos, priorizou-se a adoção da ferramenta utilizada na etapa anterior, estudo de massa, mantendo o uso do EnergyPlus. A utilização da mesma ferramenta possibilitou a edição dos dados de entrada especificados na etapa de estudo de massa, contribuindo para a redução do tempo gasto na execução do processo de simulação de desempenho.

Com a ferramenta de simulação selecionada, partiu-se para a execução do processo de simulação de desempenho. O projeto foi concebido no Revit e remodelado no plug-in OpenStudio do Sketchup devido à falta de interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e de simulação. A modelagem energética considerou as características da etapa *preliminary analysis*, ocorrendo o zoneamento de um pavimento tipo do projeto. Foram modeladas cinco zonas térmicas.

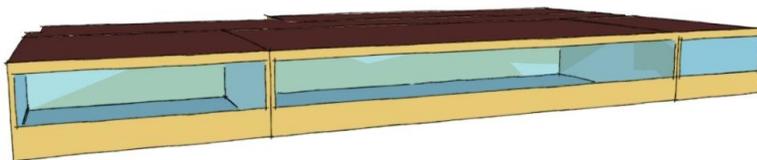
A partir de uma única modelagem energética, variou-se a altura de janela na fachada nordeste, conforme as propostas elaboradas pelo projetista, correspondendo a área de abertura de 84% (Figura 32) e 43% da área total da fachada (Figura 33).

Figura 32- Caso 1, modelo energético com WWR de 84% (sem escala).



Fonte: a autora.

Figura 33- Caso 1, modelo energético com WWR de 43% (sem escala).



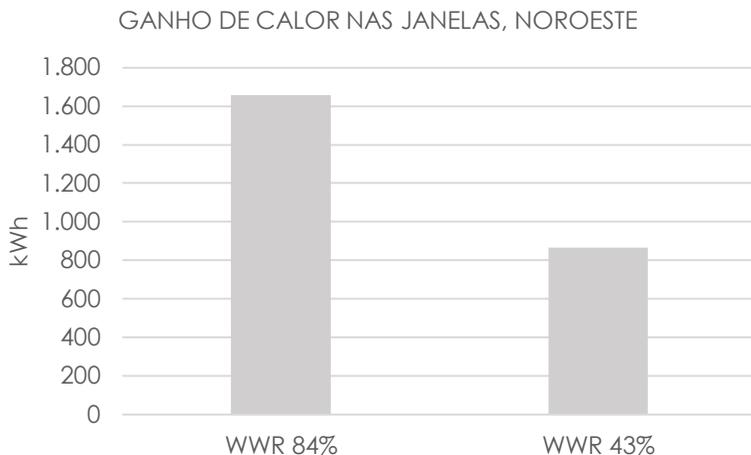
Fonte: a autora.

Os registros referentes a orientação solar da proposta, materiais construtivos, cidade de implantação, padrão de ocupação de uso, cargas instaladas, propriedades físicas dos materiais e propriedades ópticas do vidro foram mantidos. O arquivo climático da cidade de Curitiba-PR, em formato TRY, foi selecionado no site do DOE e incorporado à ferramenta de simulação. Em seguida, a simulação de desempenho foi executada e os dados de saída de consumo de energia e ganho de calor na janela foram obtidos de forma analítica para os dois modelos investigados.

O tratamento dos dados obtidos no processo de simulação foi realizado pela autora da pesquisa e posteriormente apresentado ao arquiteto. Frente às duas diferentes porcentagens de área de abertura na fachada principal propostas, os dados de ganho de calor obtidos permitiram comparar e analisar a influência da variável investigada no desempenho energético do projeto. Os dados obtidos foram representados na Figura 34, e apontam que o maior percentual de abertura na fachada

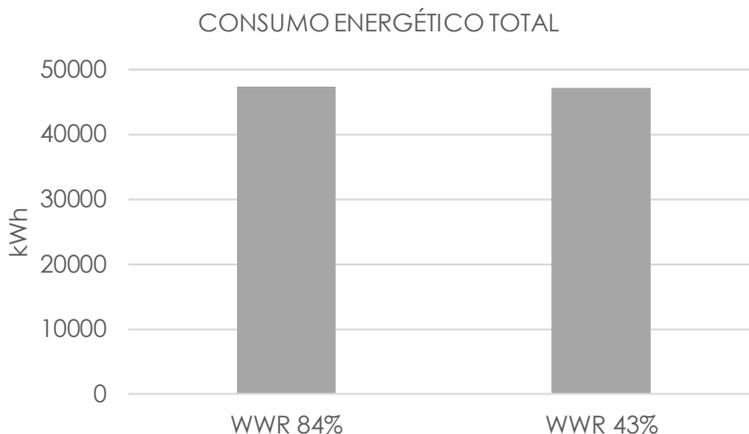
(84%), corresponde ao maior ganho de calor nas janelas da face noroeste, conforme esperado. Porém, ao verificar o consumo de energia, apontado na Figura 35, observa-se pequena alteração de uma proposta para outra. Os registros não apresentaram diferença significativa entre os valores obtidos. Conclui-se que para a análise de consumo de energia, a diferença de percentual de área de janela proposta não apresenta grande relevância, pois a fachada recebe maior insolação no período da manhã, e grande parte do consumo de energia do edifício é afetado pelas cargas internas.

Figura 34- Caso 1, ganho de calor nas janelas noroeste.



Fonte: a autora.

Figura 35- Caso 1, consumo energético total.



Fonte: a autora.

A partir da investigação de duas áreas de abertura para um mesmo projeto, embora não haja grande diferença no consumo de energia, a equipe de arquitetura optou pela área de janela de 43%, devido à redução significativa de ganho de calor pelas janelas. Com a tomada de decisão da equipe de projeto frente as estratégias simuladas, conclui-se a atividade de simulação da etapa de estudo preliminar. Não foram realizadas demais simulações no caso 1, pois o projeto encontra-se sob aprovação dos clientes, não apresentando evolução no partido arquitetônico para a etapa de anteprojeto arquitetônico.

4.2.2 Caso 2

Os dados gerais do caso 2, levantados durante a etapa de seleção dos estudos de caso, estão resumidos no Quadro 10. A análise de desempenho abrange, inicialmente, a etapa de estudo preliminar.

Quadro 10- Ficha técnica do caso 2.

Tipologia: Hotel.
Cidade: Florianópolis (SC).
Área: 8.397 m ² .
Etapa de projeto: estudo preliminar.
Início da análise de desempenho: abril de 2015.

Fonte: a autora.

4.2.2.1 Definição de dados de entrada

O projetista levantou registros referentes à: geometria, azimute da fachada principal, sistema construtivo, materiais construtivos e sistema de condicionamento de ar. Os dados referentes as propriedades térmicas dos materiais foram especificados conforme o Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO (BRASIL, 2013) e encontram-se no Anexo 2. Os sistemas de iluminação e os equipamentos (*plug loads*) ainda não estavam definidos. Esses registros foram estimados pela pesquisadora conforme a NBR 16401 (ABNT, 2008), seguindo a tipologia de projeto.

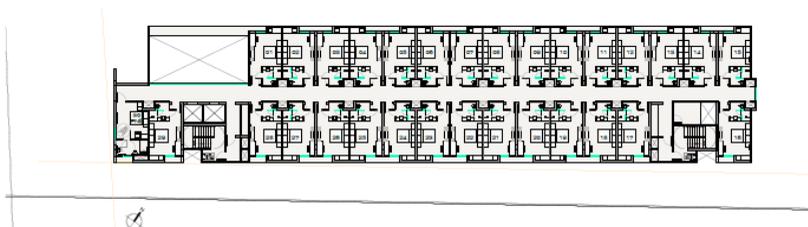
As vedações verticais corresponderam ao uso de alvenaria de blocos cerâmicos e nas aberturas, vidro incolor de 6mm. Utilizou-se laje de concreto armado entre pavimentos com piso cerâmico. O sistema de condicionamento de ar é VRF e consiste no padrão adotado pela rede do hotel, a caracterização do sistema considerou um modelo de eficiência A. Os dados definidos pelo projetista e pela pesquisadora estão discriminados no Quadro 11.

Quadro 11- Dados de entrada do caso 2.

Dados definidos pelo arquiteto

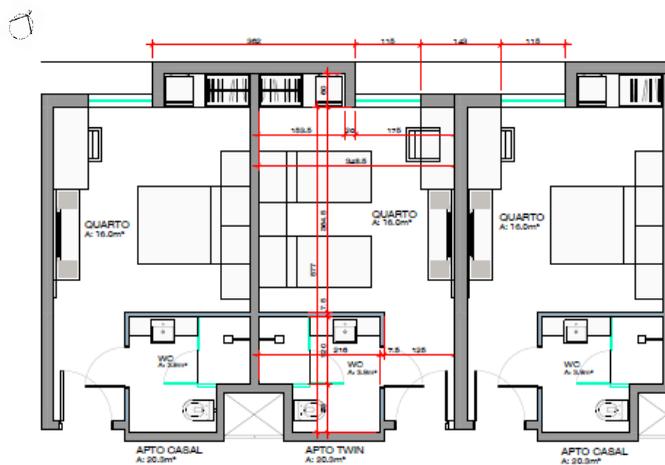
Geometria

Figura 36- Planta baixa do pavimento tipo (sem escala).



Fonte: o escritório de arquitetura.

Figura 37- Planta baixa dormitórios (sem escala).



Fonte: o escritório de arquitetura.

Azimute da fachada principal: 328°.

Materiais construtivos empregados:

Alvenaria de blocos cerâmicos;

Parede de gesso acartonado entre dormitórios com isolante acústico;

Piso cerâmico;

Vidro incolor 6mm.
Sistema construtivo: Laje de concreto armado; Pilares e vigas de concreto armado.
Sistema de condicionamento de ar: tipo VRF.
Dados definidos pela pesquisadora
Padrão de uso: todos os dias, 24h.
Carga instalada de equipamentos: 3W/m ² .
Carga instalada de iluminação: 5W/m ² .
Taxa de ocupação: 15m ² /pes.
COP do sistema de ar condicionado: 4,5.

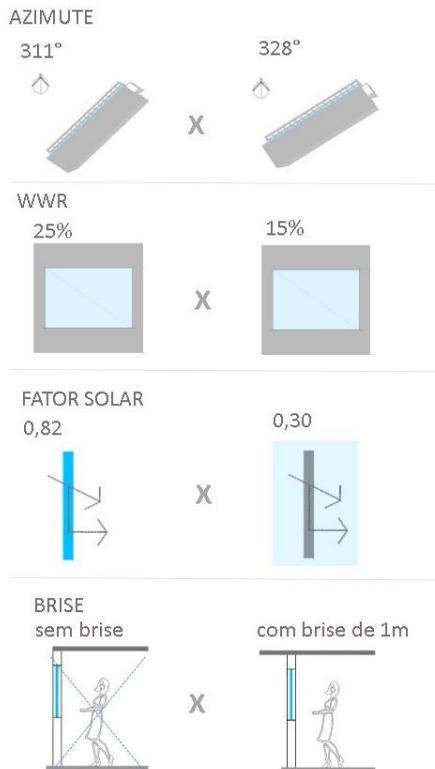
Fonte: a autora.

Com os dados de entrada especificados, a próxima etapa abrange a definição dos parâmetros de projeto que serão investigados no processo de simulação de desempenho.

4.2.2.2 Definição de parâmetros de projeto investigados

Por meio da aplicação das entrevistas, verificou-se que os arquitetos desejavam investigar diversos componentes de projeto de forma simultânea. Foram elaborados desenhos e especificações dos elementos investigados que correspondem à Figura 38.

Figura 38- Variáveis investigadas no caso 2 (sem escala).



Fonte: a autora.

Os parâmetros variados correspondem à:

- Posição solar do edifício, por meio de variação do azimute da fachada principal, 311° *versus* 328°;
- Razão de área de abertura (WWR) na fachada principal, 15% *versus* 25%;
- Fator solar dos vidros nas aberturas da face principal, 0,82 (vidro incolor) *versus* 0,30 (vidro de controle solar);
- Adoção ou não de elementos de sombreamento na fachada principal, brise de 1m de profundidade *versus* opção sem brise.

4.2.2.3 Expectativas em relação ao processo de simulação

O arquiteto responsável pelo caso 2, apontou quais as expectativas em relação a execução do processo de simulação. O objetivo do projetista era extrair dados de energia que possibilitassem selecionar as variáveis de projeto investigadas. O tempo para a extração dos dados de energia correspondia ao período de duas semanas, e os dados de saída desejados eram o ganho de calor da envoltória e consumo de energia. A forma de representação dos dados deveria ser por meio de gráficos numéricos que permitissem a comparação dos dados dos parâmetros investigados. O resumo dos desejos do arquiteto estão no Quadro 12.

Quadro 12- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, do estudo preliminar, no caso 2.

Objetivo	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
Definir os parâmetros de azimute de projeto, área de abertura na fachada principal, fator solar dos vidros e utilização ou não de brises.	2 semanas.	Consumo de energia, ganho de calor da envoltória.	Gráficos numéricos.

Fonte: a autora.

Com as expectativas levantadas, partiu-se para a etapa de seleção da ferramenta de simulação de desempenho.

4.2.2.4 Seleção de ferramenta de simulação

Para a seleção da ferramenta de simulação de desempenho consideraram-se às expectativas do projetista e a boa interoperabilidade entre o programa de simulação e do de desenho. Neste caso a ferramenta

de desenho corresponde ao SketchUp e a verificação de interoperabilidade com os programas de simulação disponíveis foi realizada por meio da possibilidade de exportar e importar arquivos entre as ferramentas. O Quadro 13 aponta que o SketchUp não apresenta boa interoperabilidade com os instrumentos de simulação disponíveis.

Quadro 13- Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação e o programa de projeto do caso 2.

Programa de projeto utilizado	Interoperabilidade entre as ferramentas de simulação disponíveis e o programa de projeto			
	Vasari Beta 3	Ecotect Analysis 2011	Solar Tool	EnergyPlus
SketchUp	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: a autora.

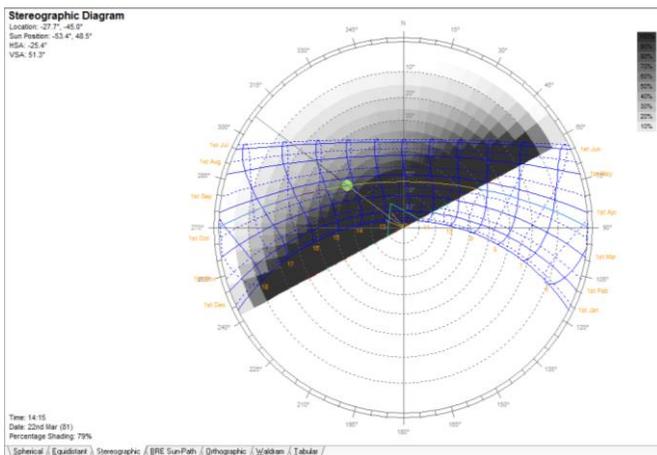
Devido à grande quantidade de variáveis investigadas no caso 2, priorizou-se a ferramenta que possibilitaria parametrizar os dados e avaliar de forma simultânea os parâmetros, otimizando o dispêndio de tempo. Dessa forma, o programa selecionado condiz com o EnergyPlus. A ferramenta também possibilita a extração dos dados de saída requeridos pelo arquiteto e a representação gráfica, por meio do tratamento dos registros.

O programa de simulação de radiação solar, Solar Tool, foi selecionado para aplicação complementar de análises de desempenho. A ferramenta permitiu a análise de máscara de sombreado do brise proposto pelo arquiteto.

4.2.2.5 Execução do processo de simulação de desempenho

O programa de análise de radiação solar, SolarTool, foi utilizado de forma complementar para a análise da proposta do brise de projeto. Foi inserido no programa o elemento horizontal com projeção de sombreado igual a 1m em uma face, representando a fachada do projeto. Selecionou-se o clima de Florianópolis-SC no SolarTool e foram escolhidos períodos do ano para a verificação das análises de sombra. Os dados de saída corresponde a máscara de sombreado do brise sobre a carta solar, conforme a Figura 39.

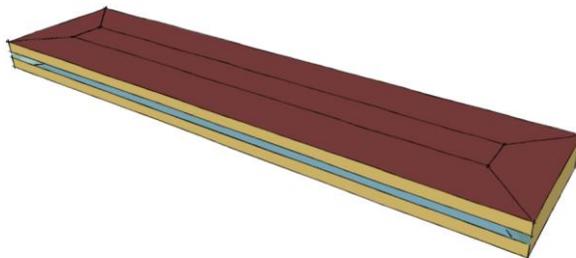
Figura 39- Máscara de sombreamento sobre carta solar de brise horizontal de 1m na fachada noroeste, 21mar, 15h.



Fonte: Solar Tool.

Após as análises do SolarTool foi realizada a modelagem térmica no EnergyPlus, conforme a etapa de projeto, *preliminary analysis*, correspondendo a modelagem de um pavimento tipo zoneado conforme as orientações solares. O modelo de projeto foi desenhado no SketchUp e o volume foi remodelado no EnergyPlus por meio do plug-in OpenStudio. O zoneamento ocorreu por meio de um pavimento tipo do projeto que foi dividido em cinco zonas térmicas diferentes, correspondendo às quatro principais orientações solares e ao espaço interno central do pavimento (Figura 40).

Figura 40- Caso 2, cinco zonas térmicas de um pavimento tipo (sem escala).



Fonte: a autora.

Em seguida, inseriram-se os demais dados de entrada: arquivo climático de Florianópolis-SC em formato EPW, disponibilizado pelo DOE; materiais construtivos; geometria de projeto; padrão de uso e ocupação e cargas instaladas.

Posteriormente, ocorreu a parametrização das variáveis de projeto investigadas. Foram simuladas: duas orientações solares com azimutes 311° e 328° ; dois percentuais de área de abertura nas fachadas (WWR), correspondendo a 15% e 25%, fator solar dos vidros de 0,30 e 0,82. As propriedades ópticas dos vidros encontram-se no Anexo 2. Estudou-se a adoção ou não de elementos de sombreamento horizontais de 1m nas janelas.

A combinação dos parâmetros variados resultou na análise de dezesseis casos diferentes. Os casos simulados estão especificados no Quadro 14.

Quadro 14- Simulações executadas no caso 2.

Nº	AZIMUTE DA FACHADA NOROESTE	RAZÃO DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA NOROESTE	FATOR SOLAR DO VIDRO	ELEMENTO DE SOMBREAMENTO
1	311°	15%	0,82	-
2				Brise horizontal de 1m de profundidade.
3			0,30	-
4				Brise horizontal de 1m de profundidade
5		25%	0,82	-
6				Brise horizontal de 1m de profundidade
7			0,30	-
8				Brise horizontal de 1m de profundidade
9	328°	15%	0,82	-
10				Brise horizontal de 1m de profundidade
11			0,30	-
12				Brise horizontal de 1m de profundidade
13		25%	0,82	-
14				Brise horizontal de 1m de profundidade
15			0,30	-
16				Brise horizontal de 1m de profundidade

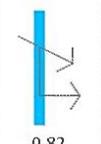
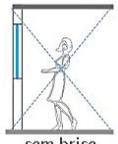
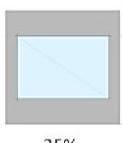
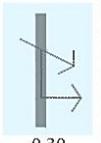
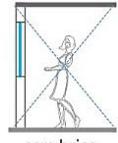
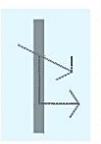
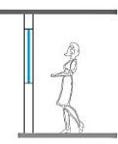
Fonte: a autora.

O processo de simulação foi executado para os dezesseis casos, e obtiveram-se os dados de saída referentes ao consumo de energia e a ao ganho de calor da envoltória de forma analítica. A próxima etapa condiz com o tratamento dos indicadores energéticos e apresentação dos registros extraídos.

4.2.2.6 Tratamento e apresentação de dados de saída

Por meio das simulações de desempenho realizadas no EnergyPlus foram extraídos dados analíticos de ganho de calor na fachada principal, noroeste, e registros de redução do consumo de energia total (%). Das dezesseis simulações realizadas, selecionaram-se três (denominadas modelo 1, 2 e 3), onde as diferentes variáveis de projeto investigadas foram comparadas e analisadas, os dados obtidos dos demais casos simulados encontram-se no Apêndice 5. A descrição das variáveis abordadas em cada modelo encontra-se na Figura 41

Figura 41- Modelos investigados.

	azimute	área de abertura na fachada	fator solar	brise horizontal
1	 311°	 25%	 0,82	 sem brise
2	 328°	 25%	 0,30	 sem brise
3	 328°	 25%	 0,30	 com brise=1m.

Fonte: a autora.

A descrição dos modelos 1, 2 e 3 com as variáveis de projeto abordadas em cada caso, correspondem:

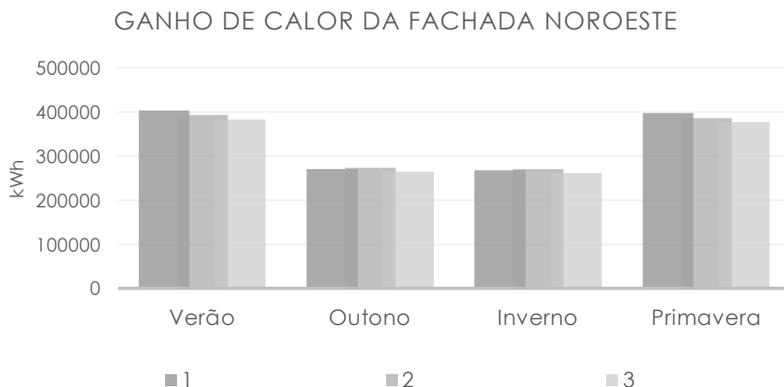
a) Modelo 1: corresponde ao caso com azimute da fachada principal a 311°, área de abertura na fachada noroeste de 25%, fator solar do vidro de 0,82 e sem utilização de brise horizontal.

b) Modelo 2: corresponde ao caso com azimute da fachada principal a 328°, área de abertura na fachada noroeste de 25%, fator solar do vidro de 0,30 e sem utilização de brise horizontal.

c) Modelo 3: corresponde ao caso com azimute da fachada principal a 328°, área de abertura na fachada noroeste de 25%, fator solar do vidro de 0,30 e com utilização de brise horizontal de 1m de profundidade.

A Figura 42 aponta que o modelo 3 com azimute de projeto 328°, 25% de área de abertura na fachada noroeste, vidro com fator solar igual a 0,30 e com brise de 1m de profundidade, apresenta redução do ganho de calor da envoltória principal (noroeste) em todas épocas do ano. Isto tende a ocorrer devido a cidade de implantação de projeto, Florianópolis-SC, possuir grande quantidade de radiação solar durante o ano. Desta forma, a incorporação do vidro de menor fator solar demonstrou redução de ganho de calor da envoltória e possibilitou o aumento da área de abertura na fachada para 25%. A utilização de elementos de sombreamento horizontais também foi determinante para redução do ganho de calor na envoltória nas épocas de verão e primavera.

Figura 42- Caso 2, ganho de calor da fachada noroeste.

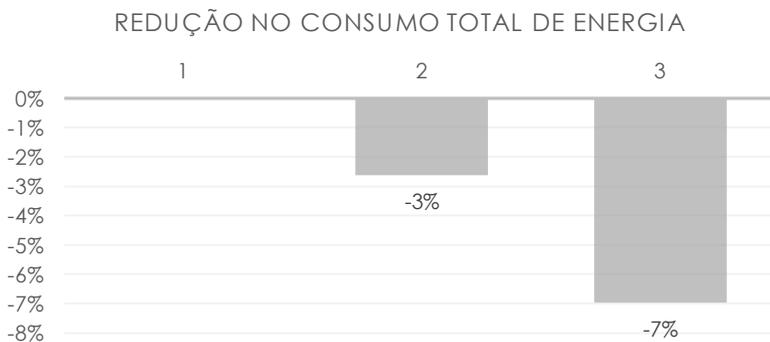


Fonte: a autora.

A redução do ganho de calor na envoltória por meio destas estratégias adotadas no modelo 3 também possibilitou a redução no consumo de energia da proposta. As três propostas foram analisadas tendo

como caso base o modelo 1. Então, a redução de consumo de energia para o modelo 1 é igual a 0 (zero), para o segundo caso é de 3% e para a terceira proposta é de 7%. Sendo assim, a redução no consumo de energia também é maior para o modelo 3 como aponta a Figura 43.

Figura 43- Redução no consumo total de energia (%), no caso 2.



Fonte: a autora.

Estes dados extraídos por meio do processo de simulação de desempenho foram apresentados e explicados a equipe de projeto a fim de determinar a tomada de decisão das variáveis analisadas.

4.2.2.7 Tomada de decisão

A equipe de projeto selecionou o modelo 3, o qual apresenta azimute de projeto 328° , 25% de área de abertura na fachada noroeste, vidro com fator solar igual a 0,30 e adoção de brise de 1m de profundidade, devido a redução do consumo de energia apresentado e ao menor ganho de calor da fachada principal em relação aos outros modelos simulados.

Com a tomada de decisão, deu-se continuidade ao projeto de arquitetura, prosseguindo para o anteprojeto arquitetônico.

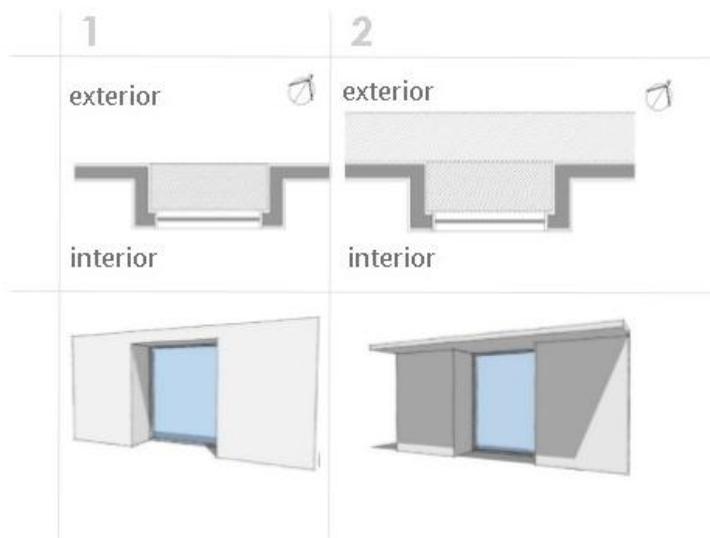
4.2.2.8 Anteprojeto arquitetônico

Com a tomada de decisão realizada na etapa de estudo preliminar o projeto passa para a fase de anteprojeto arquitetônico. As simulações referente a esta fase estão descritas de forma contínua, conforme as etapas consecutivas de análise de desempenho.

A tomada de decisão da fase de estudo preliminar definiu dados de orientação solar do edifício, área de abertura na fachada, fator solar dos vidros e adoção de brises horizontais de 1m de profundidade na face principal. Os outros dados de entrada, já especificados na etapa de estudo preliminar, referentes à: geometria de projeto; padrão de uso e ocupação; sistemas de condicionamento de ar, iluminação e equipamentos; sistema construtivo e materiais construtivos foram mantidos.

A investigação de parâmetros de projeto da etapa de anteprojeto arquitetônico do caso 2 consistiu no refinamento das dimensões do brise previsto na fachada principal, noroeste. Foram elaborados dois diferentes desenhos de brises para a fachada principal pela equipe de arquitetura e que correspondem à: janelas recuadas a 1m (modelo 1) e janelas recuadas a 1m com brises horizontais de 1m (modelo 2), conforme Figura 44.

Figura 44- Modelo de brises, 1 e 2.



Foram levantadas as expectativas do projetista na realização do processo de simulação de desempenho. O objetivo de simulação apontado pelo arquiteto é o auxílio à seleção do brise de projeto. O tempo ideal estimado para apresentação dos dados de saída foi de 2 semanas. Para determinar os dados de saída desejados, o projetista relatou que gostaria de obter dados de consumo de energia e de visualizar uma curva que representasse o comportamento do brise no verão e no inverno. A curva deveria representar o bloqueio da incidência de radiação solar, nos períodos de verão, e no inverno, a possibilidade de incidência dos raios solares nos ambientes. Para isso, a autora da pesquisa sugeriu que fossem investigados dados de ganho de calor mensal na envoltória. A representação dos dados deveria ser de forma gráfica, possibilitando a comparação dos modelos e a representação da curva.

Quadro 15- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, estudo preliminar, caso 2.

Objetivo	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
Determinar as dimensões do brise de projeto.	2 semanas.	Consumo de energia, ganho de calor da envoltória, mensal.	Gráficos numéricos.

Fonte: a autora.

Devido à falta de interoperabilidade entre o programa de projeto, SketchUp, e as ferramentas de simulação disponíveis, priorizou-se manter o programa utilizado nas simulações da etapa anterior, estudo preliminar. O programa selecionado foi o EnergyPlus. A seleção da mesma ferramenta dispensou a necessidade de remodelagem da geometria do projeto, por meio do aproveitamento do modelo já simulado na etapa de estudo preliminar, contribuindo para a redução do tempo necessário à realização do processo de simulação. Verificou-se que a ferramenta também atendia as expectativas dos projetistas.

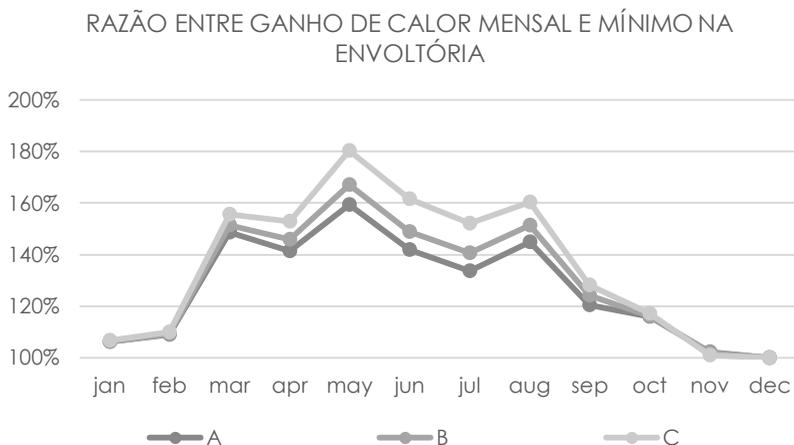
Com a seleção do programa de simulação, iniciou-se o processo de execução de simulação de desempenho. A modelagem energética e o zoneamento da proposta, realizados na etapa de estudo preliminar foram

mantidas. Em seguida, foram editados os demais dados de entrada conforme a tomada de decisão da etapa de estudo preliminar. As variáveis de sombreamento investigadas foram parametrizadas. O arquivo climático, em formato TRY, da cidade de Florianópolis-SC foi selecionado na ferramenta de simulação. Por fim, os dados de saída foram extraídos de forma analítica, e correspondem à registros de ganho de calor mensal na fachada noroeste e dados de consumo de energia para os dois modelos investigados.

O tratamento e apresentação dos registros de saída em gráficos analíticos, foi possível por meio do Excel. Analisou-se a influência do sombreamento de dois diferentes modelos de brises, projetados pela equipe de arquitetura. Os registros obtidos a partir da investigação dos modelos de brises 1 e 2 consideraram como caso base o modelo no qual não foi incorporado nenhum elemento de sombreamento ao projeto, representando a janela totalmente exposta à radiação solar.

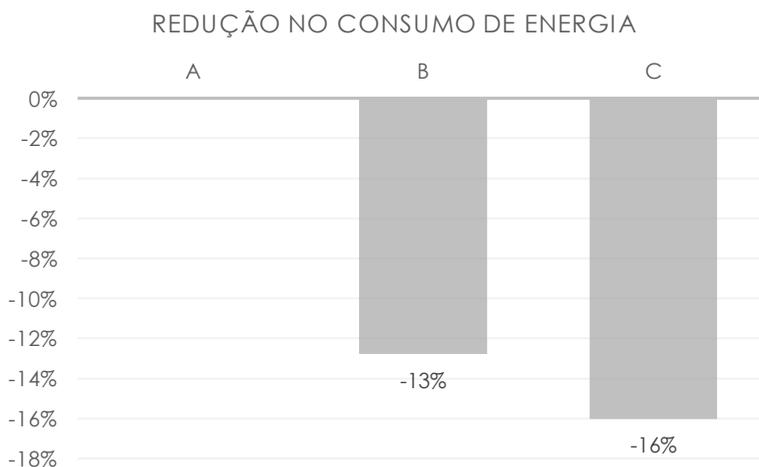
As curvas apresentadas na Figura 45 apontam os registros referentes ao ganho de calor mensal na envoltória principal, noroeste. O modelo 2 (janelas recuadas a 1m e com brises horizontais de 1m) possui sua curva mais acentuada quando comparado ao modelo 1 e ao caso base, demonstrando que o ganho de calor é menor para os meses de verão e a maior nos meses de inverno quando comparado aos outros modelos.

Figura 45- Razão entre ganho de calor mensal e mínimo na envoltória noroeste.



Devido ao ganho de calor para o período de inverno e a perda de calor no período de verão serem maiores para o modelo de brise 2, o qual apresenta maior fator de sombreamento em relação ao modelo 1, verificou-se também a maior redução do percentual de energia para o modelo 2 como demonstra a Figura 46.

Figura 46- Redução no consumo de energia (%).



Fonte: a autora.

A partir da apresentação dos dados, a tomada de decisão foi realizada pela equipe de projeto. Selecionou-se o segundo modelo de brise, janelas recuadas a 1m e com brises horizontais de 1m. O modelo de brise foi considerado ideal para os projetistas, devido que no inverno permite o ganho de calor dos dormitórios e no verão bloqueia parte da radiação incidente nos ambientes. Sendo o anteprojeto arquitetônico a última etapa das atividades iniciais de projeto, com a tomada de decisão concluída nesta fase, os projetistas finalizam o processo inicial de projeto do caso 2 e encerram-se as simulações deste caso.

4.2.3 Caso 3

O levantamento dos dados gerais do caso 3, foram resumidos no Quadro 16. A análise de desempenho do caso 3 corresponde ao estudo preliminar.

Quadro 16- Ficha técnica do caso 3.

Tipologia: Institucional de escritórios.
Cidade: Florianópolis (SC).
Área: 2.842 m ² .
Etapa de projeto: estudo preliminar.
Início da análise de desempenho: julho de 2015.

Fonte: a autora.

4.2.3.1 Definição de dados de entrada

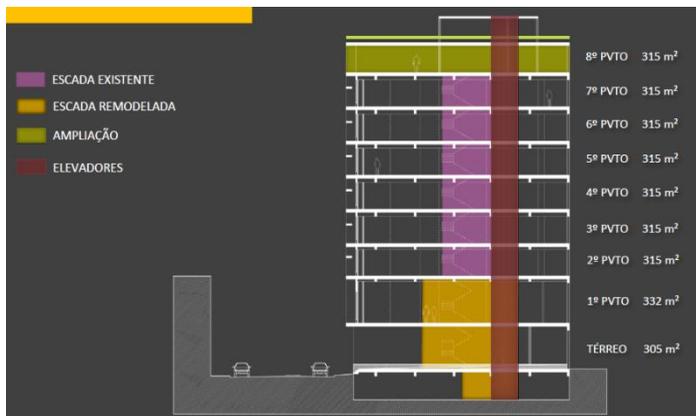
Os dados de entrada foram definidos pelo arquiteto responsável pelo caso 3 e pela autora desta pesquisa, e encontram-se organizados no Quadro 17. A geometria foi indicada pelo projetista por meio de desenhos do projeto. Os materiais construtivos foram apontados pelo projetista e correspondem aos existentes na edificação: vidro incolor de 6mm nas fachadas, elementos de concreto armado que funcionam como brises e alvenaria de tijolos cerâmicos. O sistema construtivo corresponde à laje de concreto armado entre pavimentos. As propriedades físicas dos materiais construtivos estão no Anexo 2 e foram especificadas conforme o Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO (BRASIL, 2013). O condicionamento de ar foi especificado conforme o existente no local e corresponde ao tipo Split e a caracterização do sistema considerou um modelo de eficiência A. Apesar do edifício encontrar-se em funcionamento, o projetista não possuía dados referentes ao padrão de uso e ocupação e dos sistemas de equipamentos e iluminação abordados na proposta. Estes registros foram estimados pela pesquisadora, conforme a NBR 16401 (ABNT, 2008).

Quadro 17- Dados de entrada do caso 3.

Dados definidos pelo arquiteto

Geometria

Figura 47- Zoneamento da proposta, sem escala.



Fonte: o escritório de arquitetura.

Azimute da fachada principal: 48°.

Materiais construtivos empregados:

Alvenaria de blocos cerâmicos;

Piso cerâmico;

Vidro incolor 6mm.

Sistema construtivo:

Laje de concreto armado;

Pilares e vigas de concreto armado.

Sistema de condicionamento de ar: tipo Split.

Dados definidos pela pesquisadora

Padrão de uso: dias de semana (de segunda-feira à sexta-feira), das 9h às 19h.

Carga instalada de equipamentos: 15W/m².Carga instalada de iluminação: 10W/m².Taxa de ocupação: 15m²/pes.

COP do sistema de ar condicionado: 3,0.

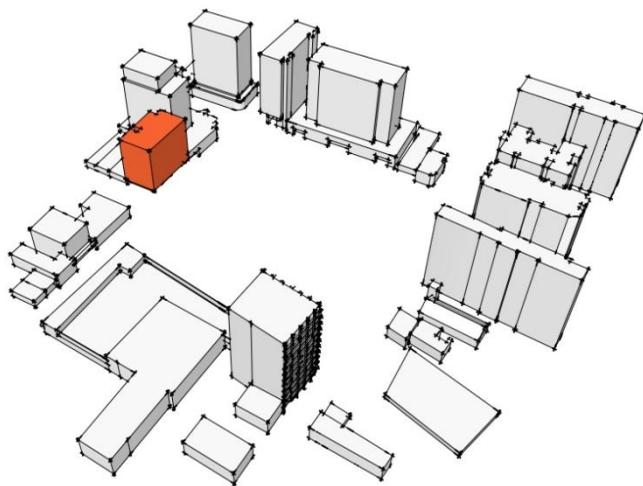
Fonte: a autora.

4.2.3.2 Definição de parâmetros de projeto investigados

No caso 3, não foram variados parâmetros de projeto. O arquiteto desejava investigar a incidência de radiação solar nas superfícies externas da edificação, por meio do levantamento das áreas sombreadas pelo entorno próximo do edifício. A intenção da equipe de projeto era visualizar os pontos que recebem maior incidência de raios solares, durante as diferentes estações do ano, no contexto da proposta. Os arquitetos acreditavam que a indicação destes pontos seria definitiva para a adoção de estratégias de sombreamento na fachada. Foi explicado que estes dados não permitiram a seleção de estratégias de eficiência energética.

Os projetistas insistiram na realização destas análises e realizaram o levantamento das edificações do entorno para mapear as áreas sombreadas. Percebe-se que o entorno da área é denso e é dominado por edificações baixas, devido a localizar-se no centro da cidade. Estes edifícios possuem caráter comercial e institucional. A Figura 48 demonstra a área próxima ao edifício em branco e a edificação analisada em laranja.

Figura 48- Levantamento do entorno da edificação analisada, sem escala.



Fonte: o escritório de arquitetura.

4.2.3.3 Expectativas em relação ao processo de simulação

O objetivo da atividade de simulação foi possibilitar a justificativa de estratégias de projeto propostas pela equipe ao cliente. As soluções projetais já estavam definidas pelo arquitetos quando a simulação foi requisitada. O objetivo não foi a tomada de decisão. As expectativas do projetista frente à realização das análises de desempenho demonstram que, os arquitetos muitas vezes não exploram o potencial das ferramentas de simulação. E mesmo após a conclusão das simulações do caso 1 e 2, os projetistas ainda apresentam dificuldade para compreender a influência dos indicadores de saída no auxílio à seleção de estratégias de projeto. A incidência de radiação nas superfícies externas não determina e não justifica a escolha de estratégias de projeto, pois não quantifica a qualidade do ambiente interno.

O arquiteto desejava a visualização destes dados de forma gráfica analítica e no contexto de projeto, facilitando o entendimento dos registros. As simulações deveriam ser realizadas em um dia para apresentação dos resultados ao cliente. O resumo dos dados desejados pelo projetista estão apontados no Quadro 18.

Quadro 18- Expectativas do arquiteto frente ao processo de simulação, estudo preliminar, caso 3.

Objetivo	Tempo desejado para a apresentação dos dados de saída	Dados de saída desejados	Forma desejada de representação dos dados de saída
Justificar a seleção de estratégias de arquitetura.	1 dia	Incidência de radiação solar na fachada	Gráficos numéricos e imagens no contexto do projeto.

Fonte: a autora.

4.2.3.4 Seleção de ferramenta de simulação

A seleção do programa de simulação considerou as expectativas dos projetistas. Levantou-se a falta de interoperabilidade entre a

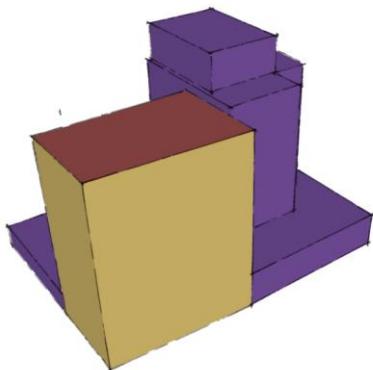
ferramenta de projeto utilizada para elaborar a proposta, SketchUp, e os programas de desempenho.

Devido ao curto tempo para a apresentação dos dados ao projetista, priorizou-se uma ferramenta que não necessitasse de grande intervenção do usuário para o tratamento dos dados de saída em imagens no contexto do projeto. Para isso, selecionou-se o Ecotect, o qual permite a visualização de dados de incidência de radiação solar no modelo energético. Para obtenção de dados quantitativos, utilizou-se o EnergyPlus. Os dados analíticos extraídos na EnergyPlus foram posteriormente tratados para representação de forma gráfica.

4.2.3.5 Execução do processo de simulação de desempenho

Foram executadas simulações referentes ao estudo. As simulações realizaram-se no Ecotect e EnergyPlus. Verificou-se que o Ecotect importava arquivos DXF. O processo de simulação foi iniciado no EnergyPlus com o intuito de posteriormente exportar a modelagem energética em DXF para o Ecotect. Foram modeladas quatro diferentes zonas térmicas no plug-in OpenStudio, uma zona condizente com o volume do caso 3 e as outras referentes aos edifícios do entorno próximo. Devido ao tempo para realizar as simulações, modelou-se somente os edifícios mais próximos da edificação analisada. Na Figura 49 o modelo nas cores amarela e vermelha é o edifício do caso 3, enquanto a cor roxa representa os edifícios do entorno.

Figura 49- Modelagem térmica no OpenStudio, sem escala.

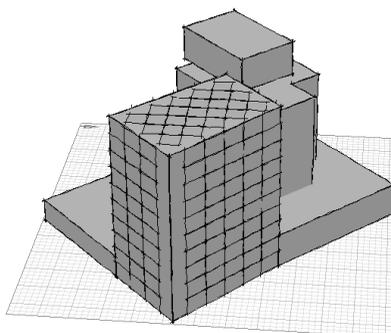


Fonte: a autora.

Em seguida, no EnergyPlus, selecionou-se o clima de Florianópolis-SC por meio do arquivo TRY. Como as análises realizadas referem-se a incidência de radiação solar nas superfícies externas, não foram detalhados os materiais construtivos conforme os existentes. Por questões de simplificação, consideraram-se os volumes modelados de alvenaria de blocos cerâmicos com reboco nas faces internas e externas. Para a execução da simulação no EnergyPlus, foi necessária a especificação das propriedades físicas dos materiais, a densidade de carga dos sistemas de iluminação, equipamentos e condicionamento de ar. Dados de padrão de uso e ocupação também foram inseridos no modelo. Em seguida a simulação foi executada e obtiveram-se os indicadores de energia de forma analítica, que correspondem à dados de radiação solar incidente nas superfícies durante as diferentes estações do ano foram extraídos.

Para a visualização do contexto do projeto, o volume de projeto e o entorno próximo foram exportados para o Ecotect por meio do arquivo DXF concebido pelo EnergyPlus. O arquivo exportado subdividiu as superfícies externas em triângulos, impossibilitando a análise das faces inteiras do modelo. O volume em estudo e o entorno foram redesenhados no Ecotect, por meio da modelagem de quatro diferentes zonas térmicas. Cada zona corresponde a um volume diferente. Foi introduzido um grid nas superfícies externas para analisar a incidência de radiação solar sobre as faces desejadas, conforme Figura 50.

Figura 50- Caso 3, modelagem térmica e aplicação do grid no Ecotect, sem escala.



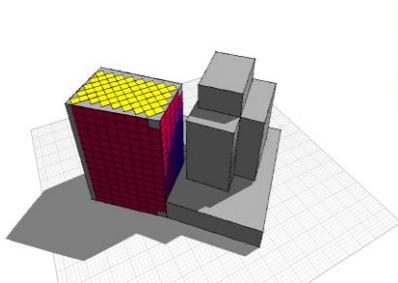
Fonte: a autora.

Em seguida, o arquivo climático TRY foi inserido na ferramenta e a simulação foi executada. Devido a análise requerida pelos projetistas, radiação incidente na envoltória, não foi necessária a introdução de dados de entrada relacionados à: materiais construtivos; padrão de uso e ocupação e cargas internas instaladas dos volumes. O Ecotect adota o padrão da ASHRAE para estes dados de entrada, os quais não foram alterados. Com a simulação executada, os dados de saída foram obtidos e os registros de radiação solar incidente nas superfícies foram representados no contexto do projeto.

4.2.3.6 Tratamento e apresentação de dados de saída

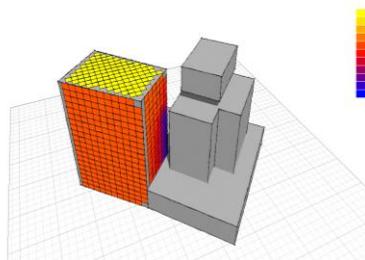
Os dados obtidos no Ecotect demonstram a incidência de radiação nas superfícies do modelo analisado. Verificou-se a incidência de radiação solar nas superfícies, com foco na fachada principal, noroeste, em kWh. Os dados foram analisados durante o período de verão, conforme a Figura 51 e no inverno conforme a Figura 52. O valor mínimo adotado na escala é 1,1 kWh/m², equivalente a cor azul, e o valor máximo é 4,9 kWh/m², correspondente a cor amarela.

Figura 51- Caso 3, radiação solar incidente na envoltória, período de verão.



Fonte: a autora.

Figura 52- Caso 3, radiação solar incidente na envoltória, período de inverno.

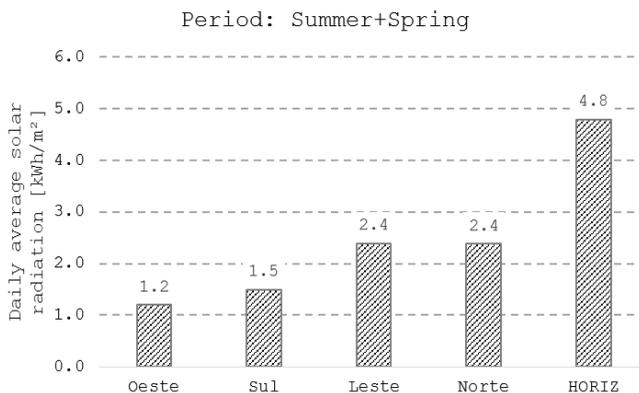


Fonte: a autora.

A partir das análises foi possível determinar as fachadas que recebem maior quantidade de radiação nas diferentes épocas do ano. Nota-se que no verão as faces norte e oeste são sombreadas pela edificação vizinha e concentram menor radiação solar se comparadas as mesmas orientações solares no período de inverno.

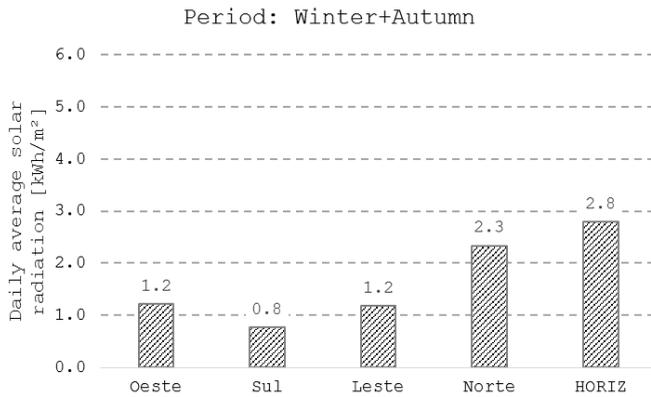
Dados analíticos de radiação solar incidente nas superfícies durante as diferentes estações do ano foram extraídos do EnergyPlus e tratados no Excel para a visualização gráfica. A legenda dos dados e os títulos dos gráficos foram escritos em inglês com o intuito de que os projetistas valorizassem mais o trabalho realizado. A Figura 53 refere-se ao período de verão e primavera enquanto a Figura 54 aborda o inverno e outono. A Figura 55 apresenta o total anual. Por fim, foi elaborada pela autora da pesquisa a representação de forma esquemática dos dados anuais, conforme a Figura 56. Essa imagem foi elaborada a partir de um croqui do modelo do edifício cedido pelo escritório.

Figura 53- Caso 3, radiação incidente nas superfícies durante o verão e a primavera.



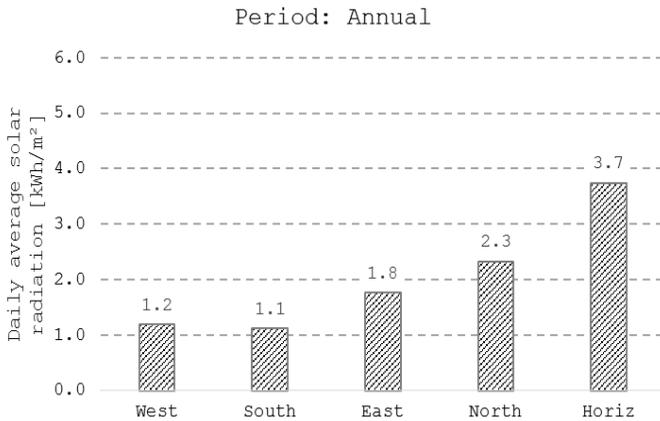
Fonte: a autora.

Figura 54- Caso 3, radiação incidente nas superfícies durante o inverno e o outono.



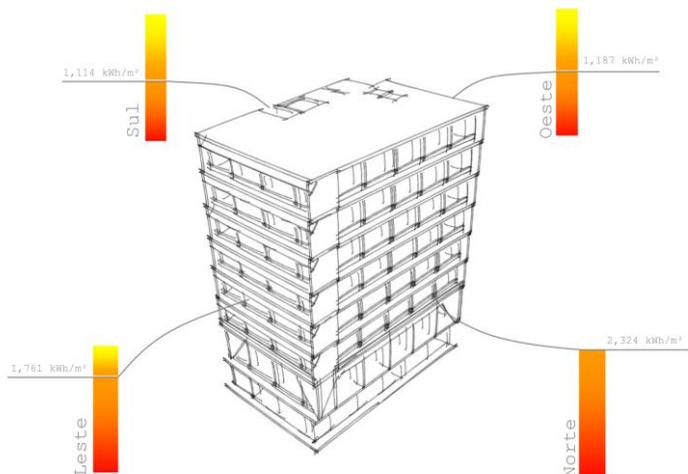
Fonte: a autora.

Figura 55- Caso 3, radiação incidente nas superfícies, período anual.



Fonte: a autora.

Figura 56- Caso 3, radiação incidente nas superfícies no período anual.



Fonte: a autora.

Nota-se que a maior concentração da radiação solar ocorre na cobertura e nas fachadas norte e leste. No período de verão e primavera as faces norte e oeste são parcialmente sombreadas pelos edifícios do entorno. No inverno e no outono, as faces norte e oeste não recebem sombra das edificações do entorno. A radiação incidente na cobertura continua elevada em todas épocas do ano devido ao recebimento de radiação direta. A face norte também apresenta maior quantidade de radiação solar se comparada as outras fachadas em todas épocas do ano.

Estes dados obtidos por meio do processo de simulação de desempenho foram apresentados para os projetistas e objetivaram a confirmação das estratégias de projeto determinadas pela equipe.

4.2.3.7 Tomada de decisão

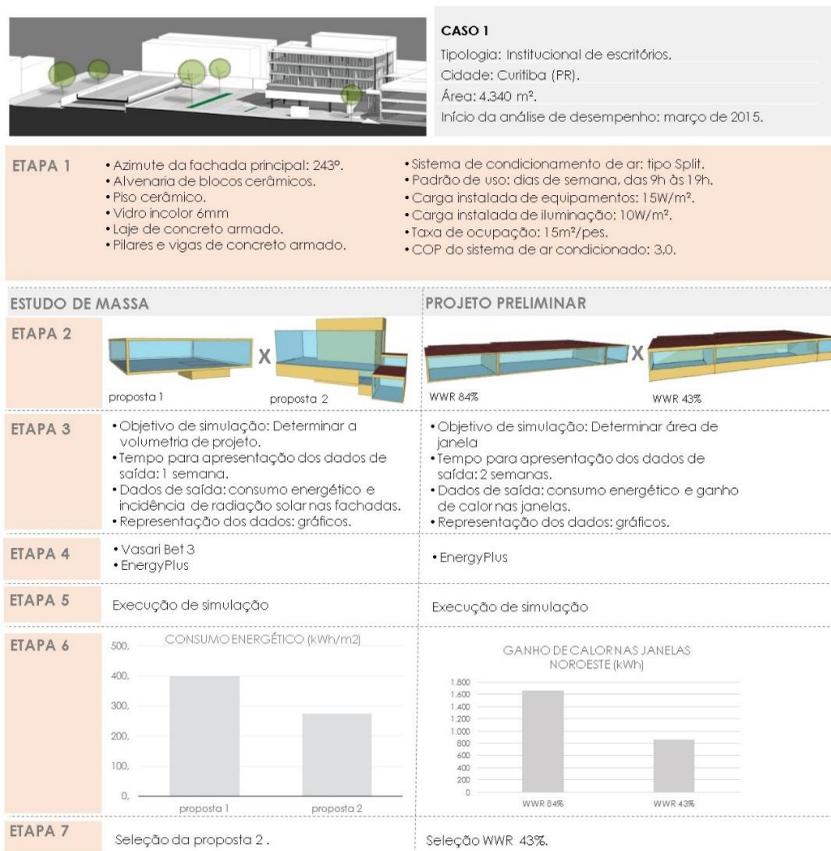
Os dados obtidos não auxiliaram a tomada de decisão da equipe, devido as estratégias de arquitetura já estarem definidas. A simulação teve o propósito de apontar dados que apoiassem os arquitetos na explicação do porquê das decisões tomadas, que eram referentes a: telhado verde na cobertura, adoção de brises nas fachadas e aplicação de placas fotovoltaicas na cobertura e na fachada norte. O caso 3, não investigou

variáveis de projeto e as decisões tomadas pela equipe correspondem a questões definidas por experiência e por intuição dos arquitetos.

4.3 RESUMO DA ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS CASOS

O processo de análise de desempenho dos estudos de caso simulados foi resumido em forma de diagrama pela autora desta pesquisa. A Figura 57 corresponde ao processo desenvolvido no estudo de caso 1. A Figura 58 é referente ao caso 2 e a Figura 59 aborda o caso 3. Nas imagens, a etapa 1 refere-se à definição de dados de entrada, a etapa 2 à definição de parâmetros de projeto investigados, a etapa 3 às expectativas dos projetistas frente ao processo de simulação, a etapa 4 à seleção de ferramentas de desempenho, a etapa 5 à execução do processo de simulação, a etapa 6 ao tratamento e apresentação de dados de saída e a etapa 7 à tomada de decisão dos arquitetos. As diferentes etapas foram descritas em cada caso conforme a fase inicial de projeto desenvolvida.

Figura 57- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 1.



Fonte: a autora.

Figura 58- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 2.



Fonte: a autora.

Figura 59- Resumo do processo de análise de desempenho do caso 3.



Fonte: a autora.

4.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

Para avaliar o uso da simulação computacional durante as etapas iniciais do processo de projeto arquitetônico dos três casos, verificaram-se aspectos quantitativos e qualitativos. As questões qualitativas foram observadas no decorrer das etapas do processo de simulação de desempenho.

A primeira análise realizada refere-se ao nível intervenção dos envolvidos na pesquisa no desenvolvimento das etapas de análise de desempenho, conforme o Quadro 19. A cooperação entre os arquitetos e a pesquisadora tornou-se essencial para o sucesso da incorporação das ferramentas de simulação no processo de projeto.

Quadro 19- Intervenção dos arquitetos e da pesquisadora durante as fases do processo de análise de desempenho.

ETAPAS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO	ARQUITETOS			PESQUISADORA		
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
definição dos dados de entrada						
definição das variáveis de projeto						
expectativas de simulação						
seleção da ferramenta de simulação						
execução do processo de simulação de desempenho						
tratamento e apresentação dos dados de saída						
tomada de decisão						

Fonte: a autora.

A seleção dos dados de entrada para a realização de simulação de desempenho apresentou alta interferência dos arquitetos e da pesquisadora. A definição dos registros de entrada ocorreu de forma colaborativa. A especificação de alguns dados não fazia parte do

conhecimento dos arquitetos, por isso, necessitou do auxílio da pesquisadora. A escolha das variáveis de projeto, a serem investigadas no processo de simulação de desempenho, foi realizada pelos arquitetos e a interferência da pesquisadora foi baixa, ocorrendo somente para a transformação destes registros requeridos em dados de entrada. As expectativas de simulação exprimiam o que o arquiteto gostaria de obter a partir da incorporação das ferramentas de simulação ao processo de projeto. Muitas vezes, a pesquisadora teve que interpretar estes dados a fim de transpor os desejos do projetista para o contexto de análise de desempenho. A seleção das ferramentas de simulação foi realizada pela pesquisadora e não houve intervenção dos arquitetos. A execução do processo de simulação de desempenho, o tratamento e a apresentação dos dados de saída, foram realizados pela autora desta pesquisa. A tomada de decisão foi realizada pelos projetistas a partir dos dados apresentados. Para alcançar a seleção de estratégias de eficiência energética foi necessária a intervenção da pesquisadora para a interpretação dos dados simulados, explicando as causas dos resultados obtidos e possibilitando alcançar a tomada de decisão.

Nota-se que a maior colaboração entre as partes envolvidas ocorre na definição dos dados de entrada. Levantaram-se quais os registros de entrada que os projetistas definiram para cada caso simulado e os que a pesquisadora determinou. Esses dados estão discriminados no Quadro 20. Os registros selecionados pelos arquitetos correspondem à dados que eram definidos logo nas fases iniciais e que fazem parte do cotidiano de projeto, representados na cor laranja, e os definidos pela pesquisadora, representados na cor azul, compõem os registros que os projetistas não apresentavam conhecimento para especificar ou ainda não haviam definido.

Quadro 20- Dados de entrada definidos por projetistas e pela pesquisadora.

DADOS DE ENTRADA CASO 1	DADOS DE ENTRADA CASO 2	DADOS DE ENTRADA CASO 3
Geometria	Geometria	Geometria
Orientação solar	Orientação solar	Orientação solar
Materiais construtivos	Materiais construtivos	Materiais construtivos
Tipo de sistema de condicionamento de ar	Tipo de sistema de condicionamento de ar	Tipo de sistema de condicionamento de ar
Padrão de uso e ocupação	Padrão de uso e ocupação	Padrão de uso e ocupação
Carga instalada do sistema de iluminação	Carga instalada do sistema de iluminação	Carga instalada do sistema de iluminação
Carga instalada dos equipamentos (<i>plug loads</i>)	Carga instalada dos equipamentos (<i>plug loads</i>)	Carga instalada dos equipamentos (<i>plug loads</i>)
COP sistema de condicionamento de ar	COP do sistema de condicionamento de ar	COP do sistema de condicionamento de ar

Fonte: a autora.

Nas primeiras etapas do processo de projeto, os projetistas ainda não haviam definido dados referentes ao sistema de iluminação e aos equipamentos. Estes registros fazem parte de etapas mais avançadas do processo de projeto. Os dados de padrão de uso e ocupação e COP do sistema de condicionamento de ar não são dados familiares aos arquitetos e eles não souberam especificar nos três casos. Ressalta-se que os materiais construtivos foram especificados pelos projetistas de forma estimada, conforme os padrões das construções realizadas pelo escritório. A falta de conhecimento sobre todos os dados de entrada necessários para a realização do processo de simulação, fez com que os projetistas não conseguissem realizar sozinhos esta etapa, necessitando do auxílio da pesquisadora. É importante salientar que a definição de forma estimada

de registros de entrada pode comprometer os resultados extraídos das ferramentas.

O reconhecimento das expectativas dos projetistas em relação ao processo de simulação permitiu o levantamento de desejos e objetivos dos arquitetos quanto ao processo de simulação. O atendimento destes propósitos confirma que o processo de análise de desempenho auxiliou no alcance do objetivo desejado. Os dados foram organizados no Quadro 21 e correspondem aos casos simulados e as fases iniciais que os projetos se encontravam, aos objetivos de simulação dos projetistas e o auxílio da simulação de desempenho no alcance do propósito.

Quadro 21- Objetivos de simulação em cada caso.

CASO	ETAPA DE PROJETO	OBJETIVO	A SIMULAÇÃO AUXILIOU NO OBJETIVO PROPOSTO
CASO 1	Estudo de massa	Definir o volume do projeto.	SIM
	Estudo preliminar	Definir as dimensões das janelas.	SIM
CASO 2	Estudo preliminar	Definir se será utilizado brise na fachada, o tipo de vidro, a orientação solar do projeto e as dimensões da janela.	SIM
	Anteprojeto arquitetônico	Definir as dimensões dos brises da envoltória.	SIM
CASO 3	Estudo preliminar	Confirmar estratégias de projeto propostas.	NÃO

Fonte: a autora.

Nos casos 1 e 2, a simulação auxiliou os projetistas a definirem os componentes de arquitetura investigados por meio da extração de dados energéticos, possibilitando o alcance da tomada de decisão de estratégias de projeto. No caso 3, devido aos dados de saída requeridos pelos projetistas, o processo de simulação não auxiliou no alcance do objetivo proposto.

Os objetivos de simulação de cada caso correspondem à parâmetros de projeto a serem definidos a partir da investigação de componentes de arquitetura. As análises dos casos 1 e 2 permitiram observar a eficiência de algumas variáveis de projeto do envelope da edificação que podem ser definidas ainda nas etapas iniciais, por meio da incorporação das ferramentas de simulação ao processo projetual. O caso 3 não investigou componentes de arquitetura. Os parâmetros verificados estão apontados no Quadro 22.

Quadro 22- Variáveis de projeto definidas nas etapas iniciais do processo de projeto.

ETAPA DE PROJETO	VARIÁVEIS DE PROJETO INVESTIGADAS
Estudo de massa	volumetria
Estudo preliminar	área de janela
	orientação solar
	vidro
Estudo preliminar	brises
Anteprojeto arquitetônico	

Fonte: a autora.

Cada parâmetro de projeto investigado resultou na especificação de diferentes dados de entrada na ferramenta de simulação de desempenho, conforme apontado no Quadro 23. A cor laranja representa a etapa de estudo de massa de projeto de arquitetura e a amarela o estudo preliminar.

Quadro 23- Os parâmetros de projeto e os dados de entrada de cada componente.

PARÂMETROS DE PROJETO INVESTIGADOS	CASO 1 DADOS DE ENTRADA	CASO 2 DADOS DE ENTRADA
Volumetria	Variação de dimensões/geometria de projeto.	
Área de janela	Variação de dimensões de altura da janela.	Variação de dimensões de altura da janela.
Orientação solar		Variação de azimute de projeto.
Vidro		Variação de fator solar dos vidros.
Brises		Variação de dimensões de profundidade do brise (horizontal).

Fonte: a autora.

Os parâmetros de projeto investigados foram cruzados com os indicadores de energia extraídos e com as estratégias de projeto definidas pela equipe de arquitetura a partir da variação dos componentes analisados. Esses dados foram relacionados às etapas iniciais abordadas no escritório e à possibilidade de investigar e definir componentes de projeto ainda nestas fases por meio da obtenção de diferentes dados de saída. Essas informações estão organizadas no Quadro 24.

Quadro 24- As variáveis investigadas, os indicadores energéticos extraídos e as estratégias de projeto definidas em cada etapa do início do processo de projeto.

INDICADOR ES ENERGÉTICOS	Consumo energético global	Consumo energético por m ²	Ganho de calor janela	Ganho de calor da envoltória	Economia de energia	
VARIÁVEIS DE PROJETO					ESTRATÉGIAS DE PROJETO	
Orientação solar						Azimute de projeto
Volumetria						Geometria de projeto
Vidro						Fator solar
Área de abertura na fachada (WWR)						Dimensão das janelas.
Brise						Dimensão dos elementos de proteção solar.
LEGENDA	Estudo de massa	Estudo preliminar	Anteprojeto arquitetônico			

Fonte: a autora

Percebe-se que o componente mais investigado durante as simulações realizadas corresponde a área de abertura na fachada principal durante a etapa de estudo preliminar de projeto e analisado por meio de dados de consumo de energia e de ganho de calor. Nota-se também que grande parte dos parâmetros investigados ocorreu durante a etapa de estudo preliminar. As outras etapas do processo de projeto possuem menos variáveis de projeto investigadas devido as características das mesmas. Na etapa de estudo de massa, por exemplo, são determinadas questões de volumetria, demonstrando que nesta fase os projetistas ainda não se preocupam em definir os demais componentes de projeto. Na fase de anteprojeto arquitetônico ocorre o refinamento das variáveis propostas na etapa anterior de projeto, e por isso, se comparada ao estudo preliminar, menos elementos foram investigados.

Os dados de saída extraídos no processo de simulação dos três casos foram os requeridos pelos projetistas. Foi necessário o auxílio da pesquisadora para transformar os dados desejados em indicadores de energia. Levantou-se a dificuldade dos projetistas em especificar e compreender os indicadores de desempenho energético obtidos nas simulações. Verificou-se a existência de falta de conhecimento prévio das unidades de energia simuladas, sendo preciso explicar os conteúdos para que os arquitetos conseguissem transpor os dados de saída das simulações nos projetos. Quando os dados de saída foram expostos por meio de diagramas gráficos, representados por desenhos esquemáticos, a equipe demonstrou maior facilidade na compreensão dos registros extraídos. Ainda assim, os projetistas não se sentiam aptos e seguros para explicar ao cliente os dados obtidos no processo de simulação, necessitando sempre da presença da pesquisadora.

Análises referentes à compreensão dos projetistas frente aos dados extraídos, o auxílio à tomada de decisão de projeto por meio dos registros de energia apresentados e a aceitabilidade da equipe de projeto frente à forma de representação dos dados de saída, foram observadas pela autora e avaliadas para cada caso simulado.

No caso 1, os projetistas apresentaram dificuldade para entender os indicadores de energia apresentados, consumo de energia (kWh), incidência de radiação na envoltória (kWh) e ganho de calor (kWh). Os arquitetos não compreendiam que dados de incidência de radiação solar não auxiliariam à seleção de estratégias de arquitetura e insistiram para extração destes registros e não sabiam o significado das unidades de energia, por exemplo, o consumo energético representado em kWh. A

compreensão dos dados a partir da forma de representação, gráficos numéricos comparativos, auxiliou na tomada de decisão da equipe, pois a comparação facilitava a visualização de qual proposta era mais eficiente em relação a outra. Quando os projetistas visualizaram que a volumetria da proposta 2 apresentava melhor desempenho energético do que o mesmo parâmetro na proposta 1, ocorreu a rápida tomada de decisão da equipe. A representação dos dados apresentou boa aceitabilidade pela equipe. A avaliação do caso 1 foi representada no Quadro 25.

Quadro 25- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 1.

	Compreensão dos indicadores energéticos apresentados.	Os dados extraídos auxiliaram na tomada de decisão	Aceitabilidade da forma de representação dos dados
CASO 1	Apresentou dificuldade	sim	boa

Fonte: a autora.

No caso 2, foram analisadas muitas variáveis de forma simultânea, notou-se a dificuldade da equipe em compreender os indicadores energéticos analisados. A representação de dados de consumo de energia em porcentagem, ao invés de kWh, facilitou a compreensão do dado. Em contraponto, os dados de ganho de calor (kWh) foram difíceis de serem compreendidos, necessitando da explicação da pesquisadora sobre a unidade de energia analisada. Os gráficos numéricos auxiliaram na seleção dos componentes de projeto. Porém, foi necessária a realização de mais de uma reunião com os projetistas para alcançar a tomada de decisão da equipe. Reparou-se que a aceitabilidade da forma de representação dos dados foi baixa pois os gráficos só representavam números. Para facilitar o entendimento dos gráficos apresentados, levantou-se a possibilidade de elaborar diagramas com o desenho das variáveis analisadas. A percepção do projetista verificada pela pesquisadora frente ao processo de simulação do caso 2 está apontada no Quadro 26.

Quadro 26- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 2.

	Compreensão dos indicadores energéticos apresentados.	Os dados extraídos auxiliaram na tomada de decisão	Aceitabilidade da forma de representação dos dados
CASO 2	Apresentou dificuldade	sim	intermediária

Fonte: a autora.

No caso 3, os projetistas não compreenderam que o indicador energético requerido pela equipe, incidência de radiação solar na envoltória, não alcançaria o objetivo de justificar estratégias de projeto já definidas. Assim, notou-se que a compreensão da equipe frente ao conceito do dado de saída requerido era baixa. Não houve a tomada de decisão a partir dos dados extraídos. A seleção de componentes de arquitetura ocorreu de forma intuitiva e baseada na experiência dos arquitetos, a simulação não auxiliou na tomada de decisão, bem como, não justificou os componentes de projeto determinados pelos arquitetos. A forma de representação dos dados, imagens esquemáticas e gráficos numéricos, demonstrou grande aceitabilidade da equipe. Reparou-se que representar os dados por meio de imagens facilitou a visualização dos dados no contexto do projeto. O levantamento dos dados de percepção do projetista referente ao caso 3, estão organizados no Quadro 27.

Quadro 27- Avaliação referente a percepção do projetista para as análises de desempenho do caso 3.

	Compreensão dos indicadores energéticos apresentados.	Os dados extraídos auxiliaram na tomada de decisão	Aceitabilidade da forma de representação dos dados
CASO 3	Apresentou muita dificuldade	não	boa

Fonte: a autora.

Nota-se que em todos os casos os arquitetos apresentaram dificuldade para compreender os indicadores de energia extraídos, principalmente em entender o que as unidades de energia representavam. No último caso, que após as análises dos casos 1 e 2, os arquitetos objetivavam alcançar a justificativa da tomada de decisão por meio de dados de saída que não eram compatíveis com as estratégias de projeto definidas pela equipe. Nos casos 1 e 2 a comparação dos dados de saída entre as variáveis investigadas gerou uma boa aceitabilidade na forma de representação dos dados. No caso 3, a representação dos registros extraídos no contexto de projeto facilitou o entendimento dos indicadores analisados.

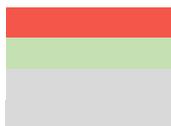
As ferramentas de simulação de desempenho utilizadas neste estudo foram avaliadas quanto ao tempo dispensado para a conclusão das etapas do processo de análise de desempenho. Avaliou-se o tempo necessário para a realização de: modelagem energética, inserção dos dados de entrada e tratamento dos dados de saída de cada programa, correspondendo ao Quadro 28.

Quadro 28- Análise de tempo das ferramentas utilizadas.

		VASARI BETA 3	ENERGYPL US	SOLA R TOOL	ECOTEC T
Modelagem energética	<i>Crude analysis</i>				
	<i>Preliminary analysis</i>				
	<i>Intermediate analysis</i>				
Inserção dados de entrada					
Tratamento dos dados de saída					

LEGENDA

Alto dispêndio de tempo
 Baixo dispêndio de tempo
 A ferramenta gerou de forma
 automática



Fonte: a autora.

No Vasari a modelagem energética não foi executada. Por meio de boa interoperabilidade, o volume foi exportado da ferramenta de projeto para o Vasari, e o programa de simulação dividiu automaticamente a volumetria em diferentes zonas térmicas. Os demais dados de entrada na ferramenta foram predeterminados por meio de padrões ASHRAE adotados de forma automática pelo programa. Os registros foram editados conforme os dados de entrada definidos, não necessitando de muito dispêndio de tempo para a edição. Não foi necessário o tratamento dos dados de saída, pois a ferramenta gera relatórios de desempenho automáticos. Ressalta-se que após a simulação do caso 1, a ferramenta foi

descartada devido a abordar arquivos climáticos com dados incertos e não permitir outros formatos de arquivo climático.

No EnergyPlus, a etapa de *crude analysis* exigiu a modelagem energética conforme o volume de projeto do caso 1. Foi necessária grande quantidade de tempo para a conclusão do zoneamento manual da proposta. A modelagem na etapa *preliminary analysis e intermediate analysis* do caso 2 ocorreu por meio de um pavimento tipo. A modelagem foi manual, porém simples e rápida. No caso 3, a modelagem foi realizada manualmente de forma rápida e ocorreu conforme os volumes de projeto e do entorno próximo. Em todos os casos, a inserção de dados de entrada no programa exigiu grande intervenção da pesquisadora e da equipe de arquitetura para a especificação dos registros. Devido à grande quantidade de registros de entrada necessários para executar a simulação no programa, utilizou-se grande quantidade de tempo nesta etapa. O tratamento dos dados de saída ocorreu por meio do Excel e necessitou de grande dispêndio de tempo da pesquisadora, a fim de possibilitar que os indicadores de energia obtidos de forma analítica fossem representados por gráficos.

No Solar Tool, a modelagem foi simples e rápida e consistiu no volume do brise analisado no caso 2. Os dados de entrada caracterizam o elemento de sombreamento verificado e foram rapidamente inseridos na ferramenta. Não foi necessário o tratamento dos dados de saída. O programa gera automaticamente a máscara de sombreamento do brise sobre a carta solar.

No Ecotect, a modelagem do caso 3 foi realizada rapidamente. Não foram inseridos dados de entrada, pois a ferramenta apresenta registros já especificados conforme os padrões da ASHRAE. Estes dados não foram editados. Não ocorreu o tratamento dos dados de saída pois os registros foram gerados automaticamente pelo programa no modelo do projeto.

Ressalta-se que durante o desenvolvimento dos estudos, necessitou-se do auxílio de mais de um programa computacional. No estudo de caso 1 utilizaram-se o Vasari e o EnergyPlus. No caso 2, Solar Tool e EnergyPlus e no caso 3, Ecotect e EnergyPlus. Os programas apresentam metodologias de simulação e formas diferentes de representação dos indicadores de saída e por isso as análises foram realizadas em mais de uma ferramenta.

A falta de boa interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e a maioria dos instrumentos de simulação fez com que a equipe de

arquitetos estivesse sempre à frente da equipe de simulação. Por exemplo, enquanto os arquitetos modificavam rapidamente a configuração do volume de projeto, a pesquisadora, necessitava realizar a modelagem energética, inserir os dados de entrada e tratar os dados de saída para obter dados referentes à volumetria, consumindo maior quantidade de tempo e fazendo com que as questões de projeto fossem selecionadas sem o auxílio de simulação, como no caso 3.

5 CONCLUSÃO

Com o propósito de incorporar a atividade de simulação computacional ao processo inicial de projeto em um escritório de arquitetura, desenvolveu-se uma metodologia de pesquisa que permitiu analisar os benefícios das ferramentas de simulação quando utilizadas durante as primeiras etapas de projeto.

Constatou-se que os programas de desempenho podem ser determinantes à prática projetual por permitirem o refinamento gradual da proposta, a partir da tomada de decisão dos arquitetos. As simulações auxiliaram a tomada de decisão da equipe de arquitetura. A comprovação e comparação da eficácia das variáveis de projeto simuladas, possibilitou que os projetistas a optassem pela alternativa que trouxe melhor desempenho energético à proposta. A análise energética de parâmetros de projeto durante as etapas conceituais do partido arquitetônico possibilitou o refinamento gradual da proposta de projeto.

Para o sucesso da incorporação das ferramentas de desempenho ao projeto de arquitetura foi necessário o trabalho conjunto e de forma colaborativa da pesquisadora e dos projetistas. As duas partes permaneceram altamente envolvidas durante todo o processo. Verificou-se que para a simulação auxiliar nas decisões de projeto, as análises de desempenho devem ocorrer de forma rápida, devido ao ritmo de trabalho dos projetistas. Para isso, muitas vezes, necessitou-se da simplificação de dados de entrada nas ferramentas de simulação, como também, da representação de dados de saída visualmente agradáveis aos arquitetos, consistindo na utilização de imagens gráficas e diagramas. Isso tornava o processo de tomada de decisão mais fácil e veloz e possibilitava que as análises de desempenho se tornassem determinantes à prática projetual.

A aplicação de entrevistas semiestruturadas pela pesquisadora possibilitou a identificação de dificuldades dos projetistas frente ao processo de simulação computacional. Percebeu-se que os arquitetos não possuem conhecimento de todos os dados de entrada necessário à realização de simulação de desempenho durante as etapas iniciais de projeto. Esse fato ocorre, principalmente, devido ao projeto não encontrar-se definido nestas fases. Os projetistas relataram que dados como a densidade de carga de equipamentos e a definição de padrões de uso e ocupação dos projetos, não fazem parte do cotidiano de arquitetura. Isso fez com que alguns registros necessitassem serem especificados por meio de normativas, possibilitando a execução do processo de simulação.

Os arquitetos demonstraram dificuldade para expressar os dados de saída requeridos nos casos simulados. Os profissionais sabiam o que queriam obter a partir da aplicação do processo de simulação, porém não apresentavam conhecimento para especificar o indicador de energia referente ao dado desejado. Esses registros, na maior parte das vezes, eram interpretados pela pesquisadora e transformados em indicadores energéticos. A constatação da falta de compreensão dos projetistas acerca dos indicadores de desempenho tornou-se uma grande dificuldade para a troca de informações entre os arquitetos e a pesquisadora. Foi verificado que os conceitos de eficiência energética não fazem parte do cotidiano de projeto.

A exposição dos registros obtidos de forma gráfica comparativa facilitava o entendimento de dados, entretanto, em todos os casos a explicação da pesquisadora sobre o conceito das unidades energéticas verificadas e das causas dos dados analisados, tornava-se fundamental para que os arquitetos compreendessem as avaliações de desempenho realizadas. Quando os indicadores energéticos eram expostos por meio de imagens e diagramas gráficos, percebeu-se que os arquitetos compreendiam com mais facilidade os porquês dos dados obtidos. Observou-se a importância da visualização gráfica da variável de projeto que está sendo avaliada e da análise de indicadores de desempenho no contexto do modelo simulado, resultando em uma melhor percepção e entendimento dos arquitetos frente as causas dos dados de saída obtidos.

A falta de conhecimento dos arquitetos sobre a execução do processo de simulação de desempenho também caracterizou-se como um problema, os projetistas desejavam que a apresentação dos dados de saída extraídos ocorresse de forma rápida, fazendo com que, não restasse muita quantidade de tempo para tratar e representar os dados de saída obtidos de forma analítica. Os arquitetos não compreendem a complexidade do processo de simulação de desempenho. Os indicadores de energia extraídos a partir do processo de simulação computacional demonstram que muitas vezes os projetistas buscavam por informações consideradas evidentes, como dados relativos à incidência de radiação solar nas superfícies da envoltória de projeto.

Ressalta-se que a necessidade de tratamento de dados de saída e o alto número de dados de entrada requeridos nos programas de simulação computacional, torna-se uma barreira para a aplicação de análises de desempenho nas primeiras etapas do processo de projeto, pois demandam

alto dispêndio de tempo, enquanto nestas fases os arquitetos tendem a tomar decisões rapidamente. Apesar de algumas ferramentas apresentarem dados de entrada predefinidos e gerarem de forma automática relatórios dos dados de saída, esses registros necessitam ser verificados e muitas vezes editados para representar os dados de projeto.

Para alcançar a tomada de decisões considerando a etapa conceitual, onde ainda não existem informações detalhadas da edificação, torna-se importante a consideração de boa interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e de simulação, como forma de dispensar grande quantidade de tempo na inserção de dados de entrada. Na análise dos estudos de caso, tornou-se nítido o problema de compatibilidade entre os programas de projeto utilizados e os de simulação computacional disponíveis para uso, levando a necessidade, na maioria das vezes, de remodelagem do volume estudado e de maior disponibilidade de tempo das partes envolvidas. Faz-se necessária a existência de uma ferramenta que aborde os diferentes níveis de informações de projeto e que de maneira fácil e compreensível se integre à prática de arquitetura como forma de avaliar a influência de parâmetros no desempenho de projeto.

Durante as etapas iniciais, percebeu-se que os parâmetros de projeto avaliados compreendem à: geometria de projeto (volume); orientação solar e características de envoltória, como área de janela, tipo de vidro e modelo de brise. Esses dados correspondem à componentes de arquitetura que os arquitetos desejavam determinar e investigar durante as primeiras fases projetuais. Na fase de estudo de massa, o componente de projeto avaliado foi a geometria de projeto, a qual caracteriza esta etapa. Na fase de estudo preliminar foi investigado o maior número de variáveis de projeto devido à esta etapa compreender a definição de maior número de parâmetros da arquitetura, como os relacionados as características de composição da envoltória. Durante a fase de anteprojeto arquitetônico, as análises correspondem ao refinamento dos parâmetros investigados na etapa de projeto anterior.

A percepção dos projetistas frente ao processo de simulação ainda impede que os potenciais da utilização de ferramentas de desempenho sejam explorados. Quando as ferramentas de simulação foram aplicadas com o objetivo de confirmar estratégias de arquitetura já predefinidas, a utilização dos programas como auxílio à tomada de decisão não foi efetivada. Notou-se que a falta de conhecimento da equipe sobre a influência de parâmetros de arquitetura no consumo de energia dos edifícios faz com que o uso de ferramentas de simulação deixasse de

avaliar as possibilidades que estratégias arquitetônicas possuem em colaborar com a diminuição do dispêndio energético dos edifícios, fazendo com que, os componentes de projeto investigados por meio de simulação computacional sejam sempre os mesmos e outros não sejam explorados.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações deste trabalho referem-se a aplicação do método desenvolvido somente em um escritório de arquitetura. As análises realizadas não representam uma amostra grande de dados. Por conta disso, as conclusões desta pesquisa referem-se ao escritório verificado. Outro fator, foi a aplicação de análises de desempenho em etapas iniciais do processo de projeto. Nesta pesquisa, não foram abordadas as fases mais avançadas de projeto arquitetônico, as quais possuem informações mais detalhadas.

O uso das ferramentas de simulação computacional disponíveis no escritório também foi um fator que limitou as análises de desempenho. Os casos foram simulados conforme as ferramentas que estavam que faziam parte do pacote de dados do escritório. O curto tempo para realização das análises de desempenho comprometeu, muitas vezes, que as potencialidades dos projetos em diminuir o dispêndio de energia dos edifícios fossem exploradas.

Os parâmetros de projeto foram avaliados de forma comparativa, objetivando apontar aquele que traria maiores benefícios quanto a eficiência energética à proposta. Porém, não consideraram-se metas de desempenho para serem alcançadas por cada parâmetro investigado.

As simulações computacionais foram realizadas pela pesquisadora deste estudo com o auxílio de dados de projeto fornecidos pelos arquitetos. Entretanto, não foi considerada a possibilidade de o projetista exercer a atividade de simulação.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho perceberam-se limitações que podem ser exploradas a fim de investigar o uso de simulação computacional nas primeiras etapas do processo de projeto. Foram propostas sugestões para estudos futuros, que compreendem:

- a) Abrangência de mais de um escritório de arquitetura para a aplicação e avaliação de análises de desempenho em projetos, representando uma amostra de dados mais expressiva;
- b) Utilização de maior número de ferramentas de simulação de desempenho, além das disponíveis nos escritórios de arquitetura, possibilitando que sejam abordados aqueles programas de simulação indicados para as etapas iniciais de projeto;
- c) Consideração do alcance de metas de desempenho para os projetos avaliados;
- d) Aplicação do processo de desempenho em fases finais de projeto, as quais apresentam maior detalhamento e acuracidade de informações;
- e) Analisar métodos de representação de dados de saída que facilite a compreensão de projetistas frente à indicadores energéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSAADANI, S.; SOUZA, C. B. de. **The social component of building performance simulation: Understanding architects.** In: First Building Simulation and Optimization Conference. **Proceedings.** Loughborough: set. 2012 , p.332-339.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar condicionado.** 1 ed. ABNT, 2008.
- ATTIA, S.; BELTRAN, L.; DE HERDE; A. AND HENSEN, J. **“Architect Friendly:”** A comparison of ten different building performance simulation tools. In: Eleventh International IBPSA Conference. **Proceedings.** Glasgow, 2009, Scotland.
- ATTIA, S.; HENSEN, J. L. M.; BERTRAN, L.; HARDE, A., de. Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects and Engineers Needs. **Journal of Building Performance Simulation**, IBPSA, v. 5, 12 abr. 2011, p.155-169.
- AUGENBROE, G. **ICT tools for design and engineering of buildings: A design analysis view.** In: International Building Physics Conference . **Proceedings.** Eindhoven: 2000.
- AUGENBROE, G. **Building simulation trends going into the new millennium.** In: Seventh International IBPSA Conference. **Proceedings.** Rio de Janeiro: IBPSA, agosto 2001, 14 p.
- AUGENBROE, G. Trends in building simulation. **Advanced Building Simulation.** London: Spon Press, 2003. Cap. 1.
- BACHMAN, L. **Integrated Buildings: The Systems Basis of Architecture.** New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2003. 475 p.
- BAMBARDEKAR, S.; POERSHKE, U. **The Architect as Performer of Energy Simulation In The Early Design Stage.** In: Eleventh International IBPSA Conference. **Proceedings.** Glasgow, IBPSA, 2009. 07 p.

BHATLA, S. **Tall Communities: passive urban housing for the tropics**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Environmental and Energy Programme, Architectural Association School of Architecture, London, 2011 apud GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 591 p.

BRAGANÇA, L.; VIEIRA, S. M.; ANDRADE, J. B. Early Stage Design Decisions: The Way to Achieve Sustainable Buildings at Lower Costs. **The Scientific World Journal**, [s.l.], v. 2014, p.1-8, 2014. Hindawi Publishing Corporation. DOI: 10.1155/2014/365364. Disponível em: <<http://downloads.hindawi.com/journals/tswj/2014/365364.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2015.

BRON, M. **Energy efficient design: Comparing an energy efficient house designed with and without using a building energy simulation program**. 2015. 39 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master Tracks Physics And Architecture, Building Performance Group And Digital Architecture Studio, Eindhoven University Of Technology, Eindhoven, 2014. Cap. 7.

BRUNSGAARD, C.; DVORÁKOVÁ P.; WYCKMANS, A.; STUTTERECKER, W.; LASKARI, M.; ALMEIDA, M.; KABELLE, K.; MAGYAR Z.; BARTKIEWICZ, P.; OP 'T V., P. Integrated energy design – Education and training in cross-disciplinary teams implementing energy performance of buildings directive (EPBD) **Building and Environment**, [s.l.], v. 72, p.1-14, fev. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.10.011. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0360132313003028?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 01 set. 2015.

BURBERRY, P. **Mitchell's Practical thermal design in buildings**. London: Batsford Academic and Educational, 1983, 191 p.

CALDAS, L. G.; NORFORD, L. K. A design optimization tool based on a genetic algorithm. **Automation in construction**, v. 11. Elsevier Science Ltd. Holland, 2002. p. 173 – 184 apud SOUZA, C., B., de; KNIGHT, I. **Thermal Performance Simulation from an**

Architectural Design Viewpoint. In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Beijing: IBPSA, 2007, p.87-94.

CALDAS, L. G.; NORFORD, L. K.; ROCHA, J. An evolutionary model for sustainable design. **Management of Environmental Quality: An international Journal** Volume 14, Number 3, pp. 383-397(15) apud SOUZA, C., B., de; KNIGHT, I. **Thermal Performance Simulation from an Architectural Design Viewpoint.** In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Beijing: IBPSA, 2007, p.87-94.

CIB- International Council for Research and Innovation in Building and Construction. **Working with the performance approach in building.** Rotterdam: CIB, 1982.

CLARKE, J.A. **Energy simulation in building design.** 2 ed. Oxford: Butterworth- Heinemann, 2001.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K. **What next for building energy simulation: a glimpse of the future.** In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Prague: IBPSA, september 8-10 1997, volume II, 395-402.

CRAWLEY, D., B; HAND, J. W.; KUMMERT, M.; GRIFFITH, B., T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and Environment**, [s.l.], v. 43, n. 4, p.661-673, abr. 2008. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.027. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0360132306003234?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 02 set. 2015.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico: proposta de metodologia.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. DesignBuilder 2000-2005 apud RODRIGUES, C. O. de Medeiros. **Integração de simulação termoenergética com o processo de projeto: A análise de 6 casos.**

2015. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

DOE. **Building energy software tools directory**. 2010. Disponível em: <<http://www.energy.gov/>>. Acesso em: 3 set. 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 648 p.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional: Relatório síntese, ano base 2014**. 2015. Disponível em: <http://lopesmachado.com/downloads/balanco_energetico_nacional.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil. **Balanco energético nacional 2006: Relatório síntese, ano base 2005**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 188p.

FABRÍCIO, Marcio; BAÍA, Josapath; MELHADO, Silvio. **Estudo da sequência de etapas de projeto na construção de edifícios: cenário e perspectivas**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A Engenharia de Produção e o Futuro do Trabalho, 1998, São Paulo. **Proceedings**. São Paulo: ABEPRO, 1998, 10 p.

FERRERO, A.; LANTA, E.; MONETTI, V.; FABRIZIO, E.; FILIPPI, M. **How to apply building energy performance simulation at the various design stages: a recipes approach**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Hyderabad: IBPSA, , dez. 2015, p.2286-2293.

GIDS, W. de. **Hybrid ventilation concepts classification and challenges**. In: Fourth International Conference Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. **Proceedings**. China: IAQVEC, 2001.

GONÇALVES, J., C., S.; DUARTE, D., H., S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de

pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p.51-81, 22 ago. 2006.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 591 p.

HAMEDANI, M., N.; SMITH, R., E. Evaluation of Performance Modelling: Optimizing Simulation Tools to Stages of Architectural Design. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 118, p.774-780, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.513>.

HAND, J.W. **Removing barriers to the use of simulation in the building design professions**. 1998. Tese (PhD) - University of Strathclyde, Department of Mechanical Engineering, Energy Systems Research Unit, Glasgow, UK, 1998.

HARTOG, J. P. D. **Designing indoor climate**: A thesis on the integration of indoor climate analysis in the architectural design. 2004. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering Department, Delft University, Delf, 2004.

HEMSATH, T. L. **Conceptual Energy Modeling for Architecture, Planning and Design**: Impact of using building performance simulation in early design stages. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Chambery: IBPSA, ago. 2013, p.376-384.

HENSEN, H. L. M.; LAMBERTS, R. **Introduction to building performance simulation**. In: Building Performance Simulation for Design and Operation. 1. New York: Spon Press, 2011. cap. 1, p.12.

HENSEN, J.L.M. **Towards more effective use of building performance simulation in design**. In: International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning. **Proceeding**. Eindhoven: DDSS, 2004. 16 p.

HENSEN, J.L.M.; CLARKE, J.A. **Building simulation**: state of art and the role of IBPSA. In: Symposium Modellen Voor Gebouw. **Proceedings**. Nederland: out. 1999, 8 p.

HESTNES, A.G. **Advanced Solar Low Energy Dwellings: the Experiences os IEA task 13.** In: PLEA. **Proceedings.** Kushiro: PLEA, 1997, p. 467-472.

HONG, T. CHOU, S.K., BONG, T.Y. Building Simulation: on overview od developments and information sources. **Building and Environment**, v.35, p. 347-361, 2000.

IEA. International Energy Agency. Paris. **Key World Energy Statistics.** 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

IPCC- INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: mitigation of climate change.** Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KALAY, Y. Enhancing multi-disciplinary collaboration through semantically rich representation. **Automation in Construction**, outubro 2001, p. 741-755.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Florianópolis: Eletrobras/PROCEL, 2014. 366 p.

LANG, J. T. **Design for human behavior:** architecture and behavioral sciences. Pennsylvania: Dowden, Hutchinsos & Ross, Inc., 1974.

LEVINE, M.; URGE-VORSATZ, D.; BLOK, K.; GENG, L.; HARVEY, D.; LAND, S.; LEVERMORE, G.; MONGAMELI, M., A.; MIRASGEDIS, S.; NOVIKOVA, A.; RLLING, J.; YOSHINO, H. **Residential and commercial buildings.** In: IPCC- INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE- Climate change 2007: mitigation of climate change. Contribution on Working Group III to the Fourth Assesmente Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Uviversity Press, 2007.

LIMA, G. L. F. **Influência das Variáveis Arquitetônicas no Desempenho Energético de Hotéis no Clima Quente e Úmido**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LIN, S.; GERBER, D. J. Evolutionary energy performance feedback for design: Multidisciplinary design optimization and performance boundaries for design decision support. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 84, p.426-441, dez. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.08.034. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0378778814006768?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 15 set. 2015.

MACDONALD, I., MCELROY, L. B., HAND, J. W. AND CLARKE, J. **Transferring simulation from specialists into design practice**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Montreal: IBPSA, 2005.

MAHDAVI, A.; SILVANA F.; REDLEIN A.; GEORGE S. **An inquiry into the building performance simulation toll usage by architects in Austria, Eindhoven, the Netherlands**. In: Building Simulation 2003. **Proceeding**. Eindhoven: IBPSA, 2003. p. 777-784.

MARKELJ, J.; KUZMAN, M. K.; GROSELJ, P.; ZBAŠNIK-SENEGACNIK, M. A Simplified Method for Evaluating Building Sustainability in the Early Design Phase for Architects. **Sustainability**, [s.l.], v. 6, n. 12, p.8775-8795, dez. 2014. MDPI AG. DOI: 10.3390/su6128775.

MARSH, A. **Performance modeling and Conceptual design**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Sydney: IBPSA, december 1996 apud SOUZA, C., B., de; KNIGHT, I. **Thermal Performance Simulation from an Architectural Design Viewpoint**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Beijing: IBPSA, 2007, p.87-94.

MARTINS, Paola Calliari Ferrari. **A interoperabilidade entre sistemas BIM e simulação ambiental computacional: estudo de caso**. 2011. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e

Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MAVER, T.W. 'Generic primer' largely covers computer-aided drafting. **Computer-aided Design**, [s.l.], v. 19, n. 6, 331 p., jul. 1988. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0010-4485(87)90307-1.

MCELROY, L. B.; CLARKE, J. A.; HAND, J. W.; MACDONALD, I. A. **Delivering simulation to the profession: The next stage?** In: Seventh International IBPSA Conference. **Proceedings**. Rio de Janeiro: IBPSA, 2001, 831-836 p.

MENDES, N; WESTPHAL, F.; LAMBERTS, R.; NETO, J. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, out. 2005.

MORBITZER C.; SRACHAN, P.; WEBSTER, J.; SPIRES, B.; CAFFERTY, B. **Integration of building simulation into the design process of an architecture practice**. In: Building simulation conference. Proceedings: IBPSA, Rio de Janeiro, 2001, p. 697-704.

MORBITZER, C. A. **Towards the Integration of Simulation into the Building Design Process**. 2003. 260 f. Tese (Doutorado) - Energy System Research Unit, Department Of Mechanical Engineering, University Of Strathclyde, Reino Unido, 2003.

MOURSHED, M., M.; KELLIHER, D.; KEANE, M. Integrating building energy simulation in design process. **IBPSA News**, v. 31, n. 1, p.21-26, 2003.

ÖSTMAN, Leif E.. **A Pragmatist Theory of Design**. 2005. 394 f. Tese (Doutorado) - Curso de School Of Architecture, Royal Institute Os Technology, Estocolmo, 2005. Cap. 10.

PAPALAMBROS, P.; WILDE, P. de. **Principles of Optimal Design: Modeling and Computation**, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, New York, 2000.

PARTNERS, Foster And. **Projects**. 2016. Disponível em: <<http://www.fosterandpartners.com/projects/>>. Acesso em: 20 maio 2016.

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. 2003. 300p. Tese de doutorado (Ph.D.). Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. **The architects approach to the project of energy efficient office buildings in warm climate and the importance of design methods**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Montreal: IBPSA, 2005, p. 937-944.

PETERSEN, S.; SVENDSEN, S. Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 42, n. 7, p.1113-1119, jul. 2010. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.002. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0378778810000332?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 01 set. 2015.

RADFORD, A. D.; GERO, J. S. Tradeoff diagrams for the integrated design of the physical environment in buildings. **Building and Environment**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.3-15, jan. 1980. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0360-1323(80)90024-4. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:0360132380900244?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 02 set. 2015

RIBA - Royal Institute of British Architects. **Architect's job book**. Londres: RIBA Publications, 1995.

SCARAZZATO, P. S. **Recursos computacionais aplicados ao ensino do conforto térmico em arquitetura** CTCA: conforto térmico, cálculo e análise. In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído. **Anais**. Fortaleza: ANTAC, 1999.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation.

Energy and Building, v. 76, p. 10, 2014. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/enbuild>.

SOEBARTO, V.; WILLIAMSON, T. **Designer orientated performance evaluation of buildings**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Kyoto: IBPSA, 1999.

SOUZA, C. B. de. Contrasting paradigms of design thinking: the building thermal simulation tool developer vs. the building designer. **Automation in Construction**, p. 112-122, 2012.

SOUZA, C., B., de; KNIGHT, I. **Thermal Performance Simulation from an Architectural Design Viewpoint**. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Beijing: IBPSA, 2007, p.87-94.

TED (Ed.). **Agenda Verde do Norman Foster**. 2008. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/norman_foster_s_green_agenda/transcript?language=pt-br>. Acesso em: 18 maio 2016.

TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto**: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TUCKER, S.; SOUZA, C. B. de. **Thermal Simulation Software Outputs**: Patterns for decision making. In: Building Simulation Conference. **Proceedings**. Chambery: IBPSA, ago. 2013, p.394-401.

TUPPER, K.; FLUHER, C.. **Energy Modeling at Each Design Phase**: Strategies to Minimize Design Energy Use. In: SIMBUILD. **Proceedings**. New York: IBPSA, 2010. 8 p.

UNEP- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. **Buildings: investing in energy and resource efficiency**. The green economy report. 2011. Disponível em: www.unep.org/greeneconomy. Acesso em: março de 2016.

URBAN, B. J. **The MIT Design Advisor: Simple and Rapid Energy Simulation of Early-Stage Building Designs.** 2007. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master of Science In Mechanical Engineering, Department Of Mechanical Engineering, Massachussets Institute of Tecnology, Massachussets, 2007. Cap. 10.

VENANCIO, R.; PEDRINI, A.; LINDEN, A.C. van der; HAM, E. van den; STOUFFS, R. **Think Designerly!:** Using Multiple Simulation Tools to Solve Architectural Dilemmas. In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Sydney: IBPSA, p.522-529, nov. 2011.

VERBEECK, G. **Optimisation of extremely low energy residential buildings.** 2007. 273 f. Tese (Doutorado) - Faculteit Ingenieurswetenschappen, Katholieke Univeriteit Leuven, Bélgica, Leuven, 2007. Disponível em: <<https://bwk.kuleuven.be/bwf/PhDs/PhDVerbeeck>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

VOORDT, D. Van Der; WEGEN, H. Van. **Architecture in Use: An introduction to the programming, design and evaluation of buildings.** Delft: Architectural Press, 2005.

WANG, L.; SHEN, W.; XIE, H.; NEELAMKAVIL, J.; PARDASANI, A. Collaborative conceptual design: state of art and future trends. **Computer Design**, Canada, v. 34, p.981-996, 30 jul. 2001.

WILDE, P. de, AUGENBROE, G., VOORDEN M. Van der. **Building simulation trends going into the new millennium.** In: Seventh International IBPSA Conference. **Proceedings.** Rio de Janeiro: IBPSA, 2001. 13 p.

WILDE, P. de. **Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components.** 2004. 238 f. Tese de Doutorado (PhD) – Delft, University Of Technology, Delft, 2004.

WILDE, P.; AUGENBROE, G.; VOORDEN, M. van der. Design analysis integration: supporting the selection of energy saving building components. **Building and Environment**, v. 37, Elsevier Science Ltd. Holland, 2002. p. 807-816 apud SOUZA, C., B., de; KNIGHT, I.

Thermal Performance Simulation from an Architectural Design Viewpoint. In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Beijing: IBPSA, 2007, p.87-94.

WILDE, P.; AUGENBROE, G.; VOORDEN, M. van der. **Invocation of building simulation tools in building design practice.** In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Kyoto: IBPSA, september 13-15, 1999. p. 1211-8.

WILDE, P. de; VOORDEN, M. van Der. Providing computational support for the selection of energy saving building components. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 36, n. 8, p.749-758, ago. 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.01.003.

WILDE, P. de; VOORDEN, M. van der; BROUWER, J.; AUGENBROE, G.; KAAAN, H. **The need for computacional support in energy-efficient design projects in the Netherlands.** In: Building Simulation Conference. **Proceedings.** Rio de Janeiro: IBPSA, p.513-520, ago. 2001.

WIT, S. D. Uncertainty in Building Simulation. In: MALKAWI, A. M. e AUGENBROE, G. (Ed.). **Advanced Building Simulation.** New York, London: Spon Press, 2003. cap. 2, p.32.

**APÊNDICE 1: PROPOSTA DE PESQUISA APRESENTADA AO
ESCRITÓRIO DE ARQUITETURA.**

PROPOSTA DE PESQUISA UFSC/ LABCON (23/02/2015)
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ)

Aluna: Marina Dal Zot Von Meusel

Orientador: prof. Fernando Simon Westphal

Área de Concentração: Conforto ambiental e Eficiência Energética das edificações

Linha de Pesquisa: Comportamento Ambiental do Espaço Urbano e das Edificações

Perguntas de pesquisa:

1. Como integrar ferramentas de simulação nos estágios iniciais de projeto?
2. Quais ferramentas podem ser utilizadas?
3. Que tipo de indicadores podem ser extraídos? (kWh, TR, kW, temperatura, horas de conforto, CO2)
4. O que muda na rotina do escritório de projeto?
5. Quanto tempo seria gasto?
6. Qual nível de incerteza?
7. Que benefícios teria para o escritório de arquitetura?

Objetivo Geral (proposta inicial)

Verificar como ferramentas de simulação podem auxiliar no processo inicial de desenvolvimento do projeto.

Objetivos específicos

- a) Levantar quais ferramentas utilizadas atualmente no escritório de arquitetura podem ser integradas com a simulação de desempenho.
- b) Identificar os indicadores que podem auxiliar na tomada de decisão do projetista e cliente, na escolha de diferentes alternativas de projeto.
- c) Quantificar o tempo dispensado para a aplicação de simulação nos estudos preliminares.

- d) Apontar os benefícios da inserção da simulação no processo de projeto.
- e) Avaliar o impacto na rotina do escritório de projeto em termos de tempo e necessidade de capacitação.

Metodologia proposta

1. Levantar as ferramentas de simulação disponíveis no pacote de software do escritório.
2. Identificar o fluxograma de etapas no estágio inicial de desenvolvimento de projeto.
3. A partir de um estudo de caso:
 - a. Testar a aplicação da simulação com as ferramentas existentes (ex: Ecotect, Greenbuilding Studio, Vasari).
 - b. Levantar os indicadores possíveis.
 - c. Rodar os testes iniciais e quantificar os resultados.
4. Consolidar os resultados do estudo de caso (projeto piloto) em um relatório preliminar para discussão com o escritório.

**APÊNDICE 2: ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA APLICADA
AOS ARQUITETOS RESPONSÁVEIS PELO ESCRITÓRIO NA
ETAPA DE DIAGNÓSTICO.**

LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
 ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von
 Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

DIAGNÓSTICO

1	Como é caracterizada a equipe de trabalho do escritório:	
3	Qual é o foco das propostas realizadas no escritório?	
4	O processo de projeto no escritório é delimitado por etapas? Quais são?	
5	Quais são as características das etapas iniciais desenvolvidas no escritório?	
6	Quais são as ferramentas de desenho utilizadas durante às etapas iniciais?	
7	Como estas ferramentas são utilizadas durante as etapas iniciais de projeto?	
7	A equipe utiliza ferramentas de simulação de desempenho para a elaboração dos projetos?	
8	Qual é o propósito das simulações realizadas?	
9	Quais são os programas de simulação disponíveis para uso no escritório?	
10	Existem dificuldades para a aplicação destas ferramentas?	
11	Quais são as dificuldades?	

**APÊNDICE 3: ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA APLICADA
AOS ARQUITETOS RESPONSÁVEIS PELO ESCRITÓRIO NA
ETAPA DE SELEÇÃO DOS CASOS.**

**LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA**



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

SELEÇÃO DOS CASOS

1	Qual projeto você deseja aplicar o processo de simulação de desempenho?	
2	Em qual etapa do processo de projeto a proposta se encontra?	
3	Qual é o objetivo do projeto?	
4	Como esta desenvolvida a proposta de arquitetura?	
5	Qual é o programa de necessidades?	
6	Qual é a área de projeto?	
7	Qual é a tipologia de projeto?	
8	Em qual cidade o projeto será implantado?	

**APÊNDICE 4: ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA APLICADA
AOS ARQUITETOS RESPONSÁVEIS PELO ESCRITÓRIO NA
ETAPA DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO.**

**LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA**



**A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO**

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	
----------	--	--

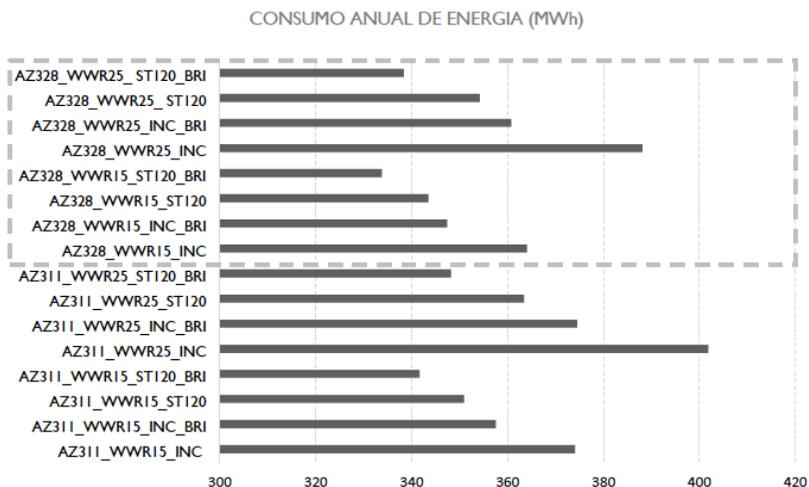
EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO

10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	
-----------	---	--

11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	
12	Quais são os dados de saída desejados?	
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	

APÊNDICE 5: SIMULAÇÕES COMPLEMENTARES DO CASO 2.

Figura 60- Consumo anual de energia, Caso 2.



Fonte: a autora.

Figura 61- Consumo anual de energia por uso final, Caso 2.

Asimute:	311												328					
	15%	15%	15%	15%	25%	25%	25%	25%	15%	15%	15%	15%	25%	25%	25%	25%		
WWR:	Incolor	Incolor	120 ST	120 ST	Incolor	Incolor	120 ST	120 ST	Incolor	Incolor	120 ST	120 ST	Incolor	Incolor	120 ST	120 ST		
Brise:	Não	Sim																
Consumo por uso final (MWh)																		
Ar Condicionado	189	172	166	157	217	189	178	163	179	162	158	149	203	176	169	153		
Iluminação	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76		
Outros equipamentos	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109		
TOTAL	374	358	351	342	402	374	363	348	364	347	344	334	388	361	354	338		
Custo de energia consumida (R\$)	168,342	160,907	157,915	153,727	180,833	168,524	163,552	156,686	163,814	156,319	154,584	150,192	174,638	162,326	159,394	152,258		
Economia de energia elétrica		-4.4%	-6.2%	-8.7%	7.4%	0.1%	-2.8%	-6.9%	-2.7%	-7.1%	-8.2%	-10.8%	3.7%	-3.6%	-5.3%	-9.6%		
Economia ar condicionado		-8.7%	-12.3%	-17.2%	14.7%	0.2%	-5.6%	-13.7%	-5.3%	-14.1%	-16.2%	-21.3%	7.4%	-7.1%	-10.5%	-18.9%		

Obs.: *economia em relação ao AZ311_WWR15_INC

Fonte: a autora.

ANEXO 1: Entrevistas semiestruturadas preenchidas.



**A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO**

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

DIAGNÓSTICO

1	Como é caracterizada a equipe de trabalho do escritório:	A equipe é composta por dois arquitetos sócios, responsáveis pelo escritório, e outros 30 profissionais, entre arquitetos e engenheiros.
3	Qual é o foco das propostas realizadas no escritório?	Elaboração de projetos na plataforma BIM. Projetos residenciais, comerciais, hotéis, franquias e edifícios de saúde.
4	O processo de projeto no escritório é delimitado por etapas? Quais são?	As etapas são divididas em etapas iniciais e finais.
5	Quais são as características das etapas iniciais desenvolvidas no escritório?	Estudo de massa, estudo preliminar e anteprojeto arquitetônico.
6	Quais são as ferramentas de desenho utilizadas durante às etapas iniciais?	Autodesk Revit e Sketchup.
7	Como estas ferramentas são utilizadas durante as etapas iniciais de projeto?	Nas etapas de estudo de massa e estudo preliminar normalmente se utiliza SketchUp. E na fase de anteprojeto arquitetônico, aplica-se o Revit.
7	A equipe utiliza ferramentas de simulação de desempenho para a elaboração dos projetos?	Sim.

8	Qual é o propósito das simulações realizadas?	O propósito é realizar estudos de sombra e de radiação solar incidente na envoltória.
9	Quais são os programas de simulação disponíveis para uso no escritório?	Vasari Beta 3, Ecotect Analysis, Solar Tool e EnergyPlus.
10	Existem dificuldades para a aplicação destas ferramentas?	Sim. Realizamos várias tentativas para a aplicação das ferramentas de desempenho, mas só conseguimos utilizar o Vasari e o Ecotect. Normalmente usamos o SketchUp para realizar estudos de sombras.
11	Quais são as dificuldades?	As dificuldades encontradas referem-se a especificação dos dados necessários para realizar o processo de simulação. E na leitura dos dados de saída.

**LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA**



**A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO**

Entrevistadora: Marina von Meusel Entrevistado: Arquiteto 1.

SELEÇÃO DOS CASOS

1	Qual projeto você deseja aplicar o processo de simulação de desempenho?	Caso 1.
2	Em qual etapa do processo de projeto a proposta se encontra?	Estudo de massa.
3	Qual é o objetivo do projeto?	O projeto consiste na concepção de um edifício administrativo.
4	Como esta desenvolvida a proposta de arquitetura?	A proposta está dividida em em três pavimentos.
5	Qual é o programa de necessidades?	Estacionamento coberto; estacionamento aberto; circulação; auditório; lanchonete; espaço para rádio/tv; gabinete do secretário; gabinete da diretoria; hall de acesso; restaurante; área de apoio e serviços
6	Qual é a área de projeto?	4.340 m ² .
7	Qual é a tipologia de projeto?	Institucional.
8	Em qual cidade o projeto será implantado?	Curitiba (PR).



SELEÇÃO DOS CASOS

1	Qual projeto você deseja aplicar o processo de simulação de desempenho?	Caso 2.
2	Em qual etapa do processo de projeto a proposta se encontra?	Estudo preliminar.
3	Qual é o objetivo do projeto?	O projeto consiste na concepção de um hotel.
4	Como esta desenvolvida a proposta de arquitetura?	A proposta esta dividida em um pavimento térreo e em pavimentos tipo, que correspondem aos dormitórios.
5	Qual é o programa de necessidades?	Hall de acesso, restaurante, circulação (escadas e elevadores), dormitórios, auditório, administração, área de apoio e serviços.
5	Qual é a área de projeto?	8.397m ² .
7	Qual é a tipologia de projeto?	Hotel.
8	Em qual cidade o projeto será implantado?	Florianópolis (SC).

**LabCon – Laboratório de
Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 3.

SELEÇÃO DOS CASOS

1	Qual projeto você deseja aplicar o processo de simulação de desempenho?	Caso 3.
2	Em qual etapa do processo de projeto a proposta se encontra?	Estudo preliminar.
3	Qual é o objetivo do projeto?	O projeto consiste em um retrofit de arquitetura.
4	Como esta desenvolvida a proposta de arquitetura?	O edifício esta dividido em 8 pavimentos. O térreo é a recepção e o restante são salas de escritório.
5	Qual é o programa de necessidades?	Manteve-se o programa de necessidades existente
5	Qual é a área de projeto?	2.842m ²
7	Qual é a tipologia de projeto?	Institucional.
8	Em qual cidade o projeto será implantado?	Florianópolis (SC).

**LabCon – Laboratório de
Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA
CATARINA**



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

CASO 1, estudo de massa.

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	Verificação por desenhos de plantas e cortes.
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	Nordeste.
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	Estima-se que seja: alvenaria de blocos cerâmicos; piso cerâmico; vidro incolor 6mm; estrutura de concreto armado.
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	Não soube responder.
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	Não soube responder.
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	Split.
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	Não soube responder.
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	Não soube responder.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	Volume de projeto.
EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO		
10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	Definir o volume de projeto.
11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	2 semanas.
12	Quais são os dados de saída desejados?	Consumo de energia e incidência de radiação na envoltória.
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	Forma gráfica analítica.

**LabCon – Laboratório de
Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA
CATARINA**



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

CASO 1, estudo preliminar.

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	Verificação por desenhos de plantas e cortes.
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	Nordeste.
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	Estima-se que seja: alvenaria de blocos cerâmicos; piso cerâmico; vidro incolor 6mm; estrutura de concreto armado.
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	Não soube responder.
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	Não soube responder.
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	Split.
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	Não soube responder.
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	Não soube responder.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	Dimensões das janelas da envoltória nordeste.
EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO		
10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	Definir as dimensões das janelas.
11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	2 semanas.
12	Quais são os dados de saída desejados?	Consumo de energia.
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	Forma gráfica analítica.



ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

CASO 2, estudo preliminar.

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	Verificação por desenhos de plantas e cortes.
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	Azimute de 328°.
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	Alvenaria de blocos cerâmicos; Parede de gesso acartonado entre dormitórios com isolante acústico; Piso cerâmico; Vidro incolor 6mm.
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	Não soube responder.
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	Não soube responder.
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	VRF.
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	Não soube responder.
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	Não soube responder.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	Dimensões das janelas da envoltória principal, orientação solar do projeto,
----------	--	---

		tipo de vidro, utilização ou não de brises na envoltória principal.
EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO		
10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	Definir dimensões das janelas da envoltória principal, orientação solar do projeto, tipo de vidro, utilização ou não de brises na envoltória principal.
11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	2 semanas.
12	Quais são os dados de saída desejados?	Consumo de energia, ganho de calor.
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	Forma gráfica analítica.



Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

CASO 2, anteprojeto arquitetônico.

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	Verificação por desenhos de plantas e cortes.
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	Azimute de 328°.
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	Alvenaria de blocos cerâmicos; Parede de gesso acartonado entre dormitórios com isolante acústico; Piso cerâmico; Vidro incolor 6mm.
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	Não soube responder.
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	Não soube responder.
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	VRF.
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	Não soube responder.
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	Não soube responder.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	Dimensões do brise da envoltória principal.
----------	--	---

EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO

10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	Definir dimensões do brise da envoltória principal.
11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	2 semanas.
12	Quais são os dados de saída desejados?	Consumo de energia, ganho de calor.
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	Forma gráfica analítica.

**LabCon – Laboratório de
Conforto Ambiental /
ARQ/UFSC
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**



A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL INTEGRADA AO
ESTÁGIO INICIAL DO PROCESSO DE PROJETO

Entrevistadora: Marina von
Meusel

Entrevistado: Arquiteto 1.

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

CASO 3, estudo preliminar.

DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

1	Quais são as dimensões do projeto?	Verificação por desenhos de plantas e cortes.
2	Qual é a orientação solar da fachada principal?	Norte.
3	Qual são os materiais construtivos especificados?	Alvenaria de blocos cerâmicos; Piso cerâmico; Vidro incolor 6mm; Estrutura de concreto.
4	Qual é o padrão de uso do edifício, em horas e dias?	Não soube responder.
5	Qual é a taxa de ocupação deste edifício (número pessoas)?	Não soube responder.
6	Qual é o sistema de condicionamento de ar artificial utilizado?	Split.
7	Qual é o sistema de iluminação artificial utilizado?	Não soube responder.
8	Quais são os equipamentos (<i>plug loads</i>) implementados no edifício?	Não soube responder.

DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS INVESTIGADOS

9	Qual parâmetro de projeto você deseja investigar no processo de simulação?	Nenhum.
---	--	---------

EXPECTATIVAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO DE SIMULAÇÃO

10	Qual é o objetivo da realização de simulação de desempenho?	Obtenção de dados de saída que confirmem estratégias de projeto já selecionadas.
11	Qual é o tempo ideal para os dados extraídos serem apresentados?	1 dia.
12	Quais são os dados de saída desejados?	Incidência de radiação solar na envoltória.
13	Qual é a forma desejada para a representação dos dados de saída?	Forma gráfica analítica e imagens no contexto do projeto.

ANEXO 2: Propriedades térmicas dos materiais construtivos.

Tabela 1- Propriedades térmicas dos materiais construtivos, caso 1.

	Tijolo 6 furos	Argamassa	Concreto	Piso cerâmico
Espessura (m)	0,20	0,025	0,1	0,01
Condutividade (W/m.K)	0,9	1,15	1,75	0,9
Densidade (kg/m³)	1232	1800	2200	1600
Calor específico (J/kg.K)	920	1000	1000	920
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,7	0,5	0,7	0,7

Fonte: elaborada pela autora, baseada no Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO.

Tabela 2- Propriedades ópticas do vidro incolor, caso 1.

Propriedade			
Espessura (m)			0,006
Transmissão energética (adimensional)			0,77
Reflexão (adimensional)	energética	externa	0,07
Reflexão (adimensional)	energética	interna	0,07
Transmissão luminosa (adimensional)			0,88
Reflexão luminosa externa (adimensional)			0,08
Reflexão luminosa interna (adimensional)			0,08
Emissividade externa (adimensional)			0,84
Emissividade interna (adimensional)			0,84
Condutividade térmica (W/m.K)			0,9

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 3- Propriedades físicas dos materiais, caso 2.

	Bloco cerâmico	Argamassa	Placa de gesso	Concreto	Piso cerâmico
Espessura (m)	0,015	0,025	0,012 5	0,2	0,01
Condutividade e (W/m.K)	0,9	1,15	0,35	1,75	0,9
Densidade (kg/m³)	3732	1800	875	2200	1600
Calor específico (J/kg.K)	920	1000	840	1000	920
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7

Fonte: elaborada pelo autora, baseada no Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO.

Tabela 4- Propriedades ópticas do vidro incolor e do vidro de controle solar, caso 2.

Propriedade		Vidro Incolor	Vidro de controle solar
Espessura (m)		0,006	0,008
Transmissão (adimensional)	energética	0,77	0,17
Reflexão (adimensional)	energética externa	0,07	0,26
Reflexão (adimensional)	energética interna	0,07	0,21
Transmissão (adimensional)	luminosa	0,88	0,21

Reflexão luminosa externa (adimensional)	0,08	0,30
Reflexão luminosa interna (adimensional)	0,08	0,22
Emissividade externa (adimensional)	0,84	0,89
Emissividade interna (adimensional)	0,84	0,89
Condutividade térmica (W/m.k)	0,9	0,9

Fonte: elaborada pelo autora.

Tabela 5- Propriedade térmica dos materiais, caso 3.

Material	Tijolo furos	6 Argamassa	Concreto	Piso cerâmico
Espessura (m)	0,20	0,025	0,1	0,01
Condutividade (W/m.K)	0,9	1,15	1,75	0,9
Densidade (kg/m³)	1232	1800	2200	1600
Calor específico (J/kg.K)	920	1000	1000	920
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,7	0,5	0,7	0,7

Fonte: elaborada pelo autora, baseada no Anexo Geral V da Portaria n° 50 do INMETRO.