

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA BIM EM PROJETOS  
SUSTENTÁVEIS E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL**

Belém  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**BRUNO RAMOS ZEMERO**

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA BIM EM PROJETOS  
SUSTENTÁVEIS E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de Pesquisa: Desempenho ambiental e tecnologia

Orientadora: Profa. Dra. Maria Emília Tostes

Belém  
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UPPA

---

Zemero, Bruno Ramos, 1985-

Análise da aplicabilidade da tecnologia bim em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil / Bruno Ramos Zemero. - 2016.

Orientadora: Maria Emília de Lima Tostes.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2016.

1. Arquitetura e conservação de energia. 2. Energia- Consumo. 3. Arquitetura sustentável. I. Título.

CDD 22. ed. 720.472

---

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA BIM EM PROJETOS  
SUSTENTÁVEIS E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL**

**BRUNO RAMOS ZEMERO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará e julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Avaliada por:

---

Prof. Dra. Maria Emília Tostes  
(ORIENTADOR – PPGAU/UFPA)

---

Prof. Dra. Ana Kláudia de A. V. Perdigão  
(MEMBRO – PPGAU/UFPA)

---

Prof. Dr. Gustavo Melo  
(MEMBRO – PPGAU/UFPA)

---

Prof. Dra. Carminda Célia M. M. Carvalho  
(MEMBRO – FEE/UFPA)

APROVADA EM \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Aos meus pais, por todo o apoio e amor que me foram dados, além do exemplo de dignidade, responsabilidade, honestidade de e caráter.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que em nenhum momento me deixou fraquejar e que nas horas de aflição me proporcionou, com sua luz, sabedoria e conforto.

À minha família, por tudo

À minha orientadora Profa. Maria Emília Tostes, pela oportunidade de compartilhar essa experiência do saber, pela sua constante disponibilidade no exercício do conhecimento e, sobretudo pela motivação transmitida de forma contagiante, desde o início do trabalho.

Aos professores do PPGAU pelos valiosos ensinamentos que proporcionaram embasamento a este trabalho

A toda equipe do CEAMAZON, pelo apoio, incentivo e pela fantástica experiência de trocar conhecimentos entre Arquitetura e Engenharia.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

*Seja você quem for,  
Seja qual for a posição social que você  
tenha na vida,  
A mais alta ou a mais baixa,  
Tenha sempre como meta muita força,  
Muita determinação e sempre faça tudo  
com muito amor  
E com muita fé em Deus,  
Que um dia você chega lá.  
De alguma maneira você chega lá.*

Ayrton Senna

## RESUMO

A etiquetagem e as certificações ambientais em edificações têm se tornado uma realidade cada vez mais presente em vários países. No Brasil não é diferente. As construções eficientes são peças chave para a redução efetiva do consumo energético do país. Com a revisão da literatura deste trabalho, identificou-se a dificuldade de aplicação da etiqueta nacional de edifícios, pela grande quantidade de variáveis que envolvem os métodos de simulação e o método prescritivo, além da interface pouco didática dos softwares de simulação energética, o que acaba restringindo a aplicação destes métodos aos laboratórios especializados. Logo, se faz necessária a busca de alternativas que estejam mais próximas da indústria de projeto, para que o profissional saiba o nível de eficiência alcançado, aplicando estratégias corretivas durante o processo criativo e para incentivar mais profissionais habilitados para etiquetagem, descentralizando a demanda que hoje é atendida por apenas um órgão acreditado em todo o país. A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) é cotada para isto, por trabalhar com parâmetros simuláveis e propor a integração multidisciplinar. Metodologicamente, foi realizado um estudo de caso de projeto com a tecnologia BIM, passando por todas as etapas, analisando a viabilidade de inserção dos softwares para melhorar a eficiência energética e dinamizar o processo de etiquetagem. Com o estudo, identificou-se um desempenho satisfatório da tecnologia BIM na realização do projeto passivo, dimensionamento de sistemas ativos e interatividade com algumas ferramentas de etiquetagem nacional, através de softwares de desempenho energético auxiliares (*Design Builder* e *Webprescritivo*), que supriram as incompatibilidades do BIM com as ferramentas de simulação do RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade) Domus e EnergyPlus. Conclui-se, então, que a tecnologia BIM se mostrou uma alternativa eficaz para a realização de projetos com diretrizes sustentáveis e para a aplicação do RTQ pelo método prescritivo e de simulação, podendo impulsionar a difusão da etiquetagem no Brasil e a consequente inserção deste importante item no processo projetual, por parte da indústria de projeto.

**Palavras-chave:** Etiquetagem de Edificações. Projeto Sustentável. Eficiência Energética. Tecnologia BIM.

## ABSTRACT

The labeling and environmental certifications of buildings have as become a reality ever more present in several countries. In Brazil it is not different. Efficient buildings are very important to the effective reduction of energy consumption in the country. With the review of the literature to this work, was identified the difficulty in applying national labeling of buildings, due to the large number of variables involving the simulation method and the prescriptive method, besides the little didactic interface of energy simulation software, which ends up in restricting application of these methods to specialized laboratories. Therefore, it is necessary to search for alternatives that are closer to the design industry, so that the professional knows the achieved level of efficiency, applying corrective strategies during the creative process and to encourage more skilled professionals Labeling, decentralizing demand today served by just a body believed all parents. The BIM (Building Information Modeling) is highly rated for this, to work with simulation parameters and propose a multidisciplinary integration. Methodologically, a project case study with BIM was conducted, going through all the steps, analyzing the software integration viability to maximize energy efficiency and streamline the process of labeling. With the study, a satisfactory performance of BIM in achieving the passive design, design of active systems and interactivity with some national labeling tools, through auxiliary energy performance software (Design Builder and Webprescritivo), that supply the incompatibility of BIM with simulation tools of RTQ (Quality Technical Regulation) Domus and Energy Plus. The conclusion was that BIM has proven an effective alternative for the realization of projects with sustainable guidelines and for the application of RTQ prescriptive method and simulation, which may boost the dissemination of labeling in Brazil and the consequent inclusion of this important item in the design process, from the design industry.

**Keywords:** Labelling of buildings, sustainable design, energy efficiency, BIM Technology

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Consumo energético das edificações no Brasil
- Figura 2 - Influência das certificações ambientais internacionalmente
- Figura 3 - Interoperabilidade dos softwares BIM com simuladores termo energéticos
- Figura 4 - Diagrama indicador para avaliação do desempenho térmico
- Figura 5 - Economia de uma operação e manutenção sustentável
- Figura 6 - Posicionamento da Terra em relação ao Sol
- Figura 7 - Mapa de zoneamento bioclimático no Brasil
- Figura 8 - Benefícios de uma operação e manutenção sustentável
- Figura 9 - Níveis de certificação LEED
- Figura 10 - Níveis de certificação AQUA
- Figura 11 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)
- Figura 12 - Representação do método das áreas da etiqueta de iluminação artificial
- Figura 13 - Representação do método das atividades da etiqueta de iluminação artificial
- Figura 14 - Exemplo de Split classificada como nível A de eficiência
- Figura 15 - Interface do Energy Plus
- Figura 16 - Interface do Domus
- Figura 17 - Pesquisa sobre a inserção de dados geométricos no Domus
- Figura 18 - Sistemática da Tecnologia CAD tradicional
- Figura 19 - Sistemática da Tecnologia BIM
- Figura 20 - Softwares BIM no mercado atual voltados para construção
- Figura 21 - Multidisciplinaridade do modelo BIM
- Figura 22 - Estudo mostrando os ganhos financeiros com o BIM
- Figura 23 - BIM nos projetos e obras públicas
- Figura 24 - Perspectiva do objeto de estudo de caso
- Figura 25 - Zoneamento bioclimático no qual o estudo de caso está inserido
- Figura 26 - Classificação Bioclimática da cidade de Belém com programa ZBBR
- Figura 27 - Diagrama anual mostrando os ventos predominantes em Belém
- Figura 28 - Carta mostrando a variação do Sol durante o ano de 22,5 graus
- Figura 29 - Determinação do melhor posicionamento em amarelo e o pior em vermelho no software Ecotect
- Figura 30 - Partido arquitetônico no software Revit (BIM)
- Figura 31 - Simulação percurso solar anual e análise de luz natural no software Ecotect
- Figura 32 - Estudo solar em 3 horários do dia no software Revit (BIM)

- Figura 33 - Secções e cobertura no software Revit (BIM)
- Figura 34 - Simulação mostrando fluxo dos ventos predominantes no software Revit (BIM)
- Figura 35 - Simulação mostrando fluxo dos ventos predominantes no software Revit (BIM) com o plugin Flow Design
- Figura 36 - Vistas e quantitativos de materiais gerados a partir do modelo 3D no software Revit (BIM)
- Figura 37 - Plantas térreo e superior com sombras projetadas às 10 h da manhã no software Revit (BIM)
- Figura 38 - Isometrias no software Revit (BIM)
- Figura 39 - Planta de Iluminação Pavimento Superior no software Revit (BIM)
- Figura 40 - Zonas térmicas Pav. Térreo no software Revit (BIM)
- Figura 41 - Zonas térmicas pavimento superior no software Revit (BIM)
- Figura 42 - Renderização com análise de temperatura na zona 7 no software 3DMax Design
- Figura 43 - Secção das instalações hidráulicas no software Revit MEP (BIM)
- Figura 44 - Proposta de nomenclatura e organização de arquivos multidisciplinares
- Figura 45 - Detecção de interferências entre uma viga e uma tubulação sanitária no software Revit (BIM)
- Figura 46 - Emissões anuais de carbono no software GBS
- Figura 47 - Utilização anual de energia no software GBS
- Figura 48 - Carga mensal de refrigeração no software GBS
- Figura 49 - Consumo mensal de eletricidade no software GBS
- Figura 50 - Potencial de eficiência energética das estratégias e elementos do projeto no software GBS
- Figura 51 - Potencial de energia renovável no local de fotovoltaicos, Sistemas de turbinas eólicas no software GBS
- Figura 52 - Simulação termo energética no software Revit (BIM) com o *plugin Lighting Analysis*
- Figura 53 - Resultado negativo do projeto de acordo com a LEED v4 EQc7 no software Revit (BIM) com o *plugin Lighting Analysis*
- Figura 54 - Resultado positivo do projeto de acordo com a LEED IEQc8.1 no software Revit (BIM) com o *plugin Lighting Analysis*
- Figura 55 - Erro de interoperabilidade entre o BIM e Energy Plus
- Figura 56 - Transmitância Térmica da Cobertura
- Figura 57 - Transmitância Térmica das Paredes
- Figura 58 - Absorbância Térmica da Cobertura
- Figura 59 - Capacidade Térmica das Paredes
- Figura 60 - Absorbância Térmica das Paredes

- Figura 61 - Absorbância e Transmitância da Cobertura e paredes no software Revit (BIM)
- Figura 62 - Área do Pav. Térreo no software Revit (BIM)
- Figura 63 - Área do Pav. Superior no software Revit (BIM)
- Figura 64 - Área de Projeção da Cobertura no software Revit (BIM)
- Figura 65 - Área de Projeção do Edifício no software Revit (BIM)
- Figura 66 - Volume Total da Edificação no software Revit (BIM)
- Figura 67 - Área da Envoltória no software Revit (BIM)
- Figura 68 - Identificação das aberturas com proteções solares no software Revit (BIM) para o cálculo de AVS e AHS
- Figura 69 - Seção longitudinal 1 mostrando os AVS no software Revit (BIM)
- Figura 70 - Seção transversal 1 mostrando os AVS no software Revit (BIM)
- Figura 71 - Seção longitudinal 2 mostrando os AVS no software Revit (BIM)
- Figura 72 - Seção transversal 2 mostrando os AVS no software Revit (BIM)
- Figura 73 - Seções longitudinais 4, 5, 6 mostrando os AVS no Revit
- Figura 74 - Planta baixa mostrando os AHS no Revit
- Figura 75 - ENCE parcial de Envoltória no software Webprescritivo
- Figura 76 - ENCE parcial de Iluminação no software Webprescritivo
- Figura 77 - ENCE parcial de Condicionamento do ar no software Webprescritivo
- Figura 78 - ENCE geral no software Webprescritivo

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Métodos que podem ser utilizados em cada etiqueta parcial
- Tabela 2 - Equivalentes numéricos para ventilação natural
- Tabela 3 - Relação entre a demanda de água quente e o nível de eficiência
- Tabela 4 - Parâmetros do ICM<sub>máx</sub>D
- Tabela 5 - Parâmetros do ICM<sub>mín</sub>.
- Tabela 6 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência
- Tabela 7 - Síntese dos sistemas necessários para o modelo real para as etiquetas geral e parciais do RTQ-C
- Tabela 8 - Níveis de eficiência pelo método da simulação para a ZB8
- Tabela 9 - Estratégias bioclimáticas direcionadas a Região Norte
- Tabela 10 - Potencial de ventilação natural no software GBS para edificação como um todo
- Tabela 11 - Levantamento de materiais de parede software Revit (BIM)
- Tabela 12 - Quantitativo de luminárias no software Revit (BIM)
- Tabela 13 - Quantitativo de zonas térmicas no software Revit (BIM)
- Tabela 14 - Cálculo das cargas de aquecimento e resfriamento no software Revit (BIM)
- Tabela 15 - Sistemas hidráulicos no software Revit (BIM)
- Tabela 16 - Erro na simulação do arquivo dxf no OpenStudio (plugin do Energy Plus para Sketchup)
- Tabela 17 - Sucesso na simulação do arquivo BIM exportado para simulação no Design Builder (Software 3D que possui o Energy Plus integrado)
- Tabela 18 - Fator solar dos vidros
- Tabela 19 - Áreas de todas as janelas de vidro das fachadas no software Revit (BIM)
- Tabela 20 - Áreas de todas as paredes de vidro das fachadas no software Revit (BIM)
- Tabela 21 - Áreas de todas as portas de vidro das fachadas no software Revit (BIM)
- Tabela 22 - Soma de todas as áreas das aberturas de vidro das fachadas no Excel
- Tabela 23 - Áreas de todas as fachadas no software Revit (BIM)
- Tabela 24 - Soma de todas as áreas das aberturas das fachadas no Excel
- Tabela 25 - Cálculo das áreas de todas as aberturas da fachada oeste no software Excel
- Tabela 26 - Área da fachada oeste no software Revit (BIM)
- Tabela 27 - Área das aberturas das Fachadas no software Revit (BIM)

- Tabela 28 - Dados das aberturas e seus respectivos AVSs
- Tabela 29 - Dados das aberturas e seus respectivos AHSs
- Tabela 30 - Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência da etiqueta de iluminação artificial
- Tabela 31 - Área dos ambientes iluminados no software Revit (BIM)
- Tabela 32 - Área dos ambientes condicionados no software Revit (BIM)
- Tabela 33 - Limites de eficiência definidos pelo INMETRO de condicionadores de ar do tipo Split para cada nível de eficiência
- Tabela 34 - APT no software Revit (BIM)

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

Aabertura – Área de Abertura  
AaberturaO – Área de Abertura Oeste  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AC – Área útil dos ambientes condicionados  
ACV – Análise do Ciclo de Vida  
AENV – Área da Envoltória (m<sup>2</sup>)  
Aenv – Área da envoltória (m<sup>2</sup>)  
Afachada – Área de Fachada  
AfachadaO – Área de Fachada Oeste  
AHS – Ângulo Horizontal de Sombreamento  
AHSL – Ângulo Horizontal de Sombreamento Leste  
AHSN – Ângulo Horizontal de Sombreamento Norte  
AHSO – Ângulo Horizontal de Sombreamento Oeste  
AHSS – Ângulo Horizontal de Sombreamento Sul  
ANC – Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada  
APCOB – Área de Projeção da Cobertura (m<sup>2</sup>)  
APE – Área de Projeção do Edifício (m<sup>2</sup>)  
APT – Área útil dos ambientes de permanência transitória  
AQUA – Alta Qualidade Ambiental  
ATOT – Área Total Construída (m<sup>2</sup>)  
AU – Área útil  
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning*  
AVS – Ângulo Vertical de Sombreamento  
AVSL – Ângulo Vertical de Sombreamento Leste  
AVSN – Ângulo Vertical de Sombreamento Norte  
AVSO – Ângulo Vertical de Sombreamento Oeste  
AVSS – Ângulo Vertical de Sombreamento Sul  
b – Pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1  
BIM – Building Information Modeling  
COBRACON – Comitê Brasileiro de Construção Civil  
CSTB – *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*  
CTPAR – Capacidade Térmica das Paredes (kJ/(m<sup>2</sup>K))  
DPI – Densidade de Potência de Iluminação  
DPIL – Densidade de Potência de Iluminação Limite  
EA – Energia e atmosfera  
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia  
EQ – Qualidade ambiental interna

EqNumCA – Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar  
EqNumDPI – Equivalente numérico do sistema de iluminação  
EqNumEnv – Equivalente numérico da envoltória  
EqNumV – Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente  
FA – Fator Altura, ( $A_{pcob} / A_{tot}$ )  
FF – Fator de Forma, ( $A_{env} / V_{tot}$ )  
FF –  $A_{env} / V_{tot}$  - Fator de forma da edificação  
FS – Fator Solar  
ICenv – Indicador de consumo de envoltória  
ICmáxD – Limite Máximo do Indicador de Consumo da envoltória  
ICmín – Limite Mínimo do Indicador de Consumo da envoltória  
IN – Inovação e processo de projeto  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial  
K – Índice de ambiente  
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design  
LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais  
LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício  
LEED EB\_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes  
LEED Healthcare – Unidades de saúde  
LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação  
LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades)  
LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo  
LEED Schools – Escolas  
MR – Materiais e recursos  
PAFO – Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste (%)  
PAFT – Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (%)  
PAZ – Percentual de Abertura Zenital (%)  
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem  
PROCEL Edifica – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações  
PT – Pontuação Total  
PUCPR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
QAE – Qualidade Ambiental do Edifício  
RAC – Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações  
RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos  
RCR – Room Cavity Ratio

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SGE – Sistema de Gestão de Empreendimento

USGBC – United States Green Building Council

VTOT – Volume Total da Edificação (m<sup>3</sup>)

WE – aaEficiência da Água

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varphi$  – Atraso térmico;

$e$  – Espessura da placa;

$\lambda$  – Condutividade térmica do material;

$\rho$  – Densidade de massa aparente do material;

$c$  – Calor específico do material;

$R_t$  – Resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$CT$  – Capacidade térmica do componente

$F_{St}$  – Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

$U$  – Transmitância térmica do componente;

$\alpha$  – Absorbância à radiação solar em função da cor;

$R_{se}$  – Resistência superficial externa;

$\tau$  – Transmitância à radiação solar.

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	2
1.2 PROBLEMA .....	3
1.3 HIPÓTESES .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 Objetivo Geral .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 JUSTIFICATIVA .....	4
1.6 REVISÃO DA LITERATURA .....	5
1.6.1 Panorama das construções sustentáveis .....	5
1.6.2 Informática aplicada à eficiência energética das edificações .....	9
1.6.3 BIM na construção sustentável .....	11
1.6.4 Considerações sobre a revisão da literatura .....	18
<b>CAPÍTULO 2 - PROJETO SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>20</b>
2.1 DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO SUSTENTÁVEL .....	21
2.1.1 Entorno sustentável .....	21
2.1.2 Análise do clima em que o projeto será inserido .....	22
2.1.3 Uso racional dos recursos naturais .....	24
2.1.4 Qualidade ambiental interna da edificação .....	25
2.1.5 Comunicação entre os projetistas .....	27
2.1.6 Considerações sobre o projeto sustentável .....	28
<b>CAPÍTULO 3 - CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS E ETIQUETAGEM NO BRASIL ..</b>	<b>29</b>
3.1 CERTIFICAÇÃO LEED .....	30
3.1.1 Critérios Analisados .....	31
3.1.2 Processo da Certificação LEED .....	32
3.2 CERTIFICAÇÃO AQUA .....	33
3.2.1 Critérios Analisados .....	33
3.2.2 Processo da Certificação AQUA .....	34
3.3 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM .....	35
3.3.1 Critérios Analisados .....	38
3.3.2 Processo de Etiquetagem do Procel Edifica .....	39
<b>CAPÍTULO 4 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO RTQ-C .....</b>	<b>40</b>
4.1 MÉTODO PRESCRITIVO .....	41
4.1.1 Etiqueta Geral .....	41
4.1.2 Etiqueta parcial de Envoltória .....	44
4.1.3 Etiqueta Parcial de Iluminação Artificial .....	46
4.1.4 Etiqueta parcial de Condicionamento de Ar .....	49
4.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO .....	52
4.2.1 Software Energy Plus .....	53
4.2.2 Software Domus Procel Edifica .....	56
<b>CAPÍTULO 5 - TECNOLOGIA BIM .....</b>	<b>60</b>

5.1 ASPECTOS GERAIS .....	61
5.2 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO E DIFUSÃO DO BIM NO BRASIL .....	65
<b>CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO DE PROJETO ADOTANDO DIRETRIZES SUSTENTÁVEIS COM O .....</b>	<b>68</b>
<b>AUXÍLIO DA TECNOLOGIA BIM .....</b>	<b>68</b>
6.1. PROJETO ARQUITETÔNICO.....	71
6.1.1 Estudo preliminar .....	71
6.1.4 Anteprojeto.....	77
6.1.5 Projeto definitivo .....	84
6.2 PROJETOS DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.....	88
6.2.1 Projeto de iluminação artificial .....	88
6.2.2 Projeto de climatização artificial .....	90
6.2.3 Projeto Hidrossanitário .....	92
6.3 COORDENAÇÃO MULTIDISCIPLINAR.....	94
<b>CAPÍTULO 7 - SIMULAÇÕES DE ENERGIA E CERTIFICAÇÃO LEED COM O AUXÍLIO DA TECNOLOGIA BIM APLICADA AO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>97</b>
7.1 SIMULAÇÕES DE ENERGIA COM A TECNOLOGIA BIM.....	98
7.2 POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ALCANÇADO .....	102
7.3 ESTRATÉGIAS DE PROJETO PARA O ALCANCE DE NÍVEL MAIS ELEVADO DE EFICIÊNCIA .....	102
7.4 CERTIFICAÇÃO LEED COM A TECNOLOGIA BIM .....	103
7.4.1 LEED Eqc7.1/ EQc7.2 (Qualidade ambiental interna –HVAC e Conforto Térmico)...	103
7.4.2 LEED Ieqc8.2 (Qualidade ambiental interna - Iluminação Natural) .....	105
<b>CAPÍTULO 8 - ETIQUETAGEM DO PROCEL COM O AUXÍLIO DA TECNOLOGIA BIM APLICADA AO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>108</b>
8.1 MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ X BIM .....	109
8.2 MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ X BIM.....	111
8.2.1 Etiqueta parcial de Envoltória .....	112
8.2.2 Etiqueta parcial de Iluminação.....	133
8.2.3 Etiqueta parcial de Condicionamento do Ar.....	135
8.2.4 Etiqueta Geral .....	137
<b>CAPÍTULO 9 – RESULTADOS E CONCLUSÃO .....</b>	<b>141</b>
9.1 DESEMPENHO DA TECNOLOGIA BIM PARA PROJETOS SUSTENTÁVEIS .....	145
9.1.1 Vantagens encontradas .....	145
9.1.2 Limitações encontradas .....	145
9.2 DESEMPENHO DA TECNOLOGIA BIM NA ETIQUETAGEM DO PROCEL .....	145
9.2.1 Vantagens encontradas .....	145
9.2.2 Limitações encontradas .....	146
9.3 CONCLUSÃO .....	146
9.4 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS:.....	149
<b>REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>150</b>

## ***Capítulo 1 – Introdução***

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A busca pelo bom desempenho térmico das edificações está diluída nas diversas fases de elaboração do projeto, desde a escala macro, representada pela interferência do meio urbano, até a escala micro, correspondente aos ambientes, detalhes e materiais empregados na edificação.

Os estudos preliminares preveem o levantamento do programa de necessidades, além da verificação das características climáticas, geográficas e urbanísticas do ambiente onde se insere. Isso indica, em linhas gerais, as diretrizes de projeto, que por sua vez devem se alinhar ao uso da edificação, assim como às restrições legais. Todas essas informações estabelecem parâmetros que influenciam o processo criativo do arquiteto. Na fase de esboço do projeto arquitetônico, a implantação, a orientação e a volumetria do edifício influenciarão na exposição ao Sol e aos ventos de toda a envoltória da edificação.

É durante o desenvolvimento e detalhamento do projeto que são configurados os diversos ambientes da edificação e, então, definidas as suas dimensões, soluções de aberturas e materiais empregados nos componentes construtivos. Essas decisões projetuais influenciam diretamente no desempenho térmico de cada ambiente, que deve estar de acordo com as atividades a serem realizadas, quantidade de ocupantes e período de ocupação.

A avaliação do desempenho da edificação durante a projeção arquitetônica converge com o conceito da Modelagem da Informação da Edificação, ou *Building Information Modeling* (BIM), que é o processo de confecção, uso e manutenção de um modelo de informações relativas a uma edificação, durante todo o seu ciclo de vida, para as diversas finalidades. Esse modelo, além da geometria tridimensional da edificação, contém numerosas informações sobre seus diferentes aspectos, potencialmente abrangendo todas as disciplinas e etapas envolvidas num empreendimento.

A ideia é que se tenha uma base de dados unificada, num modelo paramétrico, ou seja, que contenha informações sobre todos os componentes construtivos e seus atributos. O modelo BIM, portanto, abrange geometria, relações espaciais, informações sobre as propriedades dos materiais e seus desempenhos, dentre outras abordagens. A edição de modelos paramétricos facilita os estudos de

alternativas de projeto, favorecendo a qualidade final da edificação pela otimização da solução adotada, contribuindo para a satisfação do usuário.

### 1.2 PROBLEMA

Embora as ferramentas computacionais apresentem recursos essenciais para avaliação de desempenho térmico das edificações, elas ainda não estão sendo devidamente utilizadas durante todas as etapas de elaboração do projeto arquitetônico.

Atualmente, muitas ferramentas de simulação numérica para avaliação de desempenho térmico vêm sendo aprimoradas no sentido de se tornarem mais acessíveis aos projetistas, ampliando as possibilidades de sua utilização. Contudo, pelo fato desse processo estar acontecendo de forma acelerada, cria-se a necessidade de desenvolver metodologias para assegurar o melhor uso dessas ferramentas no desenvolvimento do projeto arquitetônico, de modo a contribuir para o avanço e consolidação dessa área de conhecimento.

No Brasil, certificações como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*); o AQUA (Alta Qualidade Ambiental), e o PROCEL Edifica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações) vêm sendo aplicadas num número cada vez maior de edifícios, apesar de ainda ser um número pequeno perto do que se almeja alavancar. O processo de avaliação de um projeto, segundo critérios de ferramentas de avaliação de sustentabilidade pode consumir horas de trabalho, pois envolve muitas variáveis e uma grande quantidade de informações do projeto de arquitetura.

### 1.3 HIPÓTESES

- A tecnologia BIM pode constituir-se como estratégia potencial para evolução do processo de etiquetagem de edificações no Brasil;
- As indústrias de projeto poderão atingir melhor rendimento e projetos mais sustentáveis, devido à mudança de paradigma projetual que o BIM proporciona;
- Oferecer estudos de casos reais de projetos de construções locais desperta o interesse de pesquisadores para o tema e aumenta o nível de sustentabilidade da região amazônica.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo Geral

- Analisar a aplicabilidade da tecnologia BIM para projeto sustentável e para o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudar o BIM, a fim de colaborar para difusão da etiquetagem no Brasil;
- Identificar o grau de compatibilidade e contribuição que esta tecnologia pode trazer para projetos mais eficientes energeticamente;
- Verificar a viabilidade de interação do BIM com os requisitos do RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade).

### 1.5 JUSTIFICATIVA

Em 2009, o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), em parceria com o Procel Edifica, publicou os regulamentos referentes ao nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem, que estabelecem os critérios de avaliação do projeto segundo a eficiência de sua envoltória, de seus sistemas de iluminação e de ar-condicionado.

Por ser a etiquetagem do Procel Edifica uma iniciativa institucional e que já é obrigatória para prédios públicos e em breve para os demais, caracteriza mais

uma demanda a ser inserida nos processos, nas análises e nas entregas dos projetos de arquitetura e complementares. Por este motivo, a etiquetagem do Procel Edifica é o foco deste trabalho, que faz uma análise de aplicação do fluxo de trabalho completo em BIM, com base nos requisitos do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público) e estratégias sustentáveis de projeto.

Para isto, foi concebido um projeto desde o início, para estudar o panorama real de projeto, verificando se é viável utilizar a tecnologia BIM, com excelência para fins de projeto sustentável e etiquetagem do Procel, analisando qual a melhor forma de se fazer. Este estudo pretende solucionar esta lacuna do conhecimento, presente no processo tradicional de projeto e, assim, popularizar a etiquetagem, que em breve será mais um item obrigatório no processo projetual.

### 1.6 REVISÃO DA LITERATURA

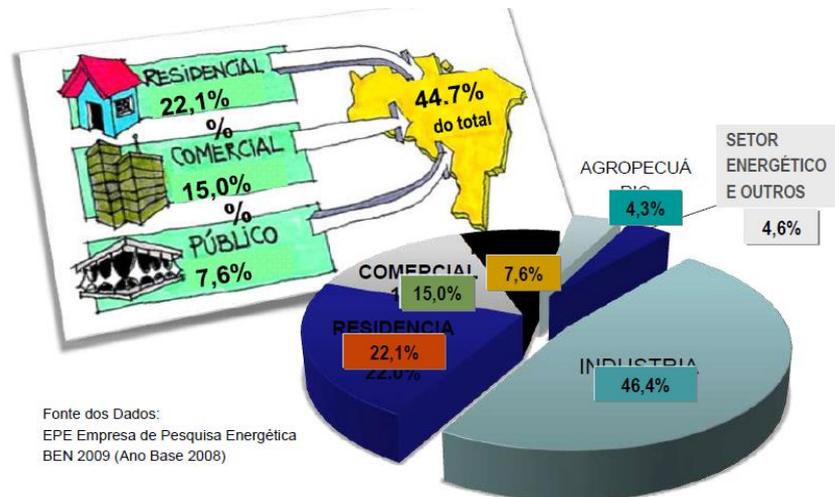
#### 1.6.1 Panorama das construções sustentáveis

A globalização e a economia competitiva vêm exigindo do mercado maior eficiência em suas atividades. O uso eficiente da energia elétrica não constitui apenas uma redução nos gastos, mas também diminuição nos impactos ambientais. Além disso, a eficiência energética muitas vezes está atrelada à melhoria na qualidade do ambiente de trabalho e do processo produtivo.

À medida que o homem evolui no desenvolvimento cultural, no nível de civilização e no grau tecnológico, cada vez mais exige e depende de meios artificiais para a satisfação de necessidades que, originalmente, eram supridas pela Natureza. A iluminação é uma das necessidades em que se observa este fenômeno (TOSTES, 2007, p. 2).

A busca pelo projeto sustentável tem um papel social muito importante visto que as edificações no Brasil consomem 44,7% da energia, conforme apontou o Balanço Energético Nacional de 2009 (figura 1). Logo, se faz necessário conscientizar o profissional para a aplicação dos conhecimentos de forma racional, no intuito de preservar o planeta para as gerações futuras.

Figura 1 – Consumo energético das edificações no Brasil



Fonte: Balanço Energético Nacional

O avanço da tecnologia tem demandado equipamentos cada vez mais eficientes e o conceito de eficiência energética passou a fazer parte do cotidiano das empresas de projeto da construção civil, nas suas diversas especialidades, partindo do projeto arquitetônico, que possui estratégias que aproveitam os aspectos naturais, dando suporte para que os projetistas de instalações pensem um projeto que não demande um alto consumo.

“Uma nova geração de edifícios, caracterizados por premissas ambientais e marcados por um alto grau de experimentação, complexidade e risco, tem sido construída nas grandes cidades do mundo”(GONÇALVES, 2005 apud TEIXEIRA, 2010, p. 15).

É possível reduzir consideravelmente o consumo de energia de uma edificação, principalmente quando incorporadas práticas de racionalização desde o início da concepção projetual. Um meio de obter esta eficiência na arquitetura é utilizando as recomendações bioclimáticas, estratégias que visam tratamento da envoltória adequado à condição climática local, otimizando as trocas térmicas para o conforto dos usuários (GIVONI, 1998 apud PEDRINI *et al*, 2013, p. 2).

No Brasil, essa tendência tem se tornado cada vez mais forte, principalmente na construção de edifícios comerciais e empreendimentos residenciais, sempre tomando como base os padrões de sustentabilidade já adotados internacionalmente, através de certificações elaboradas pelos países que já possuem uma experiência nesse tipo de construção. A certificação internacional,

porém, não garante o bom desempenho ambiental de um edifício construído no Brasil.

Segundo Álvaro Madeiros, Membro do INMETRO, em certificação, a etiquetagem é um mecanismo de avaliação da conformidade em que, através de ensaios, se determina e informa ao consumidor uma característica do produto, especialmente relacionada ao seu desempenho. A Certificação Ambiental é a comprovação de que determinado órgão empreendedor que se utiliza do meio ambiente para produzir está em conformidade com a Lei do Meio Ambiente nº 6.938/81, deixando-o na melhor condição possível, a fim de obter um desenvolvimento sustentável.

Programas estão sendo implantados na construção civil com o intuito de certificar edifícios conforme sua eficiência energética e medir o nível sustentável que ele pode ter em sua operação. No Brasil, as principais certificações são: PROCEL EDIFICA, LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), AQUA (Alta Qualidade Ambiental).

Tais ferramentas de avaliação de desempenho demonstraram-se eficientes ou não, dependendo das condições em que foram empregadas, sendo muitas delas aplicáveis somente a situações muito delimitadas de condições climáticas e sociais, ou em edifícios de uso específico. Outras Certificações, como Breeam (BREEAM, 2008; SKOPEK, 2002), GBTool (COLE; LARSSON, 2002) e LEED (USGBC, 1996) têm sido usadas para avaliar e certificar edifícios em grandes cidades do Brasil, por exemplo, onde seus critérios de avaliação e parâmetros avaliativos demonstram-se muitas vezes inadequados (PATRÍCIO; GOUVINHAS, 2004).

A avaliação realizada por meio de uma pontuação, através da aplicação de aspectos padronizados de projeto, não é suficiente para medir a eficiência no uso dos recursos naturais por um edifício. No entanto, a necessidade mercadológica de uma “comprovação de sustentabilidade” levou as empresas a utilizarem essas certificações ou selos “verdes” na divulgação de seus produtos. Percebe-se, atualmente, que no mercado imobiliário brasileiro a obtenção de selos tem se tornado uma meta projetual, e como consequência, o projeto tem sido conduzido segundo roteiros pré-estabelecidos e globais de “cartilhas ambientais”, independentemente de sua pertinência e contextualização local (SOBREIRA, 2009 apud TEIXEIRA, 2010).

Dentre as certificações citadas anteriormente, observa-se que o propósito

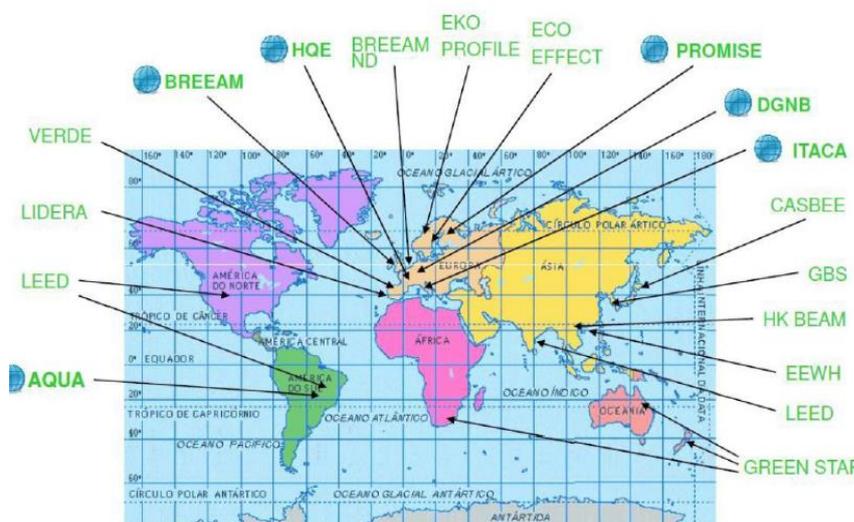
principal é a redução nos impactos ambientais das atividades humanas no contexto das edificações, que são uma ameaça severa, por serem grandes consumidores de energia. Nos últimos anos, o assunto deixou de ser restrito aos meios científico e acadêmico e passou a fazer parte dos discursos políticos e empresariais. A constatação de que já se está vivendo as consequências de um modelo de desenvolvimento exploratório e de que haverá efeitos mais graves futuramente, despertou a humanidade para a ameaça do aquecimento global.

A adoção de soluções ambientalmente sustentáveis na construção não acarreta em um aumento de preço, principalmente quando tomadas durante as fases de desenvolvimento do projeto. Em alguns casos podem até reduzir custos. Ainda que o preço de implementação de alguns sistemas ambientalmente sustentáveis em um edifício verde gere um custo maior do que em um edifício convencional, sua utilização pode idealizar uma economia de recursos, durante o uso e ocupação do imóvel.

Esta busca que hoje é voluntária, breve será obrigatória, pois estão aumentando as restrições no ambiente regulatório e mais investimentos devem acontecer na divulgação do tema, pois a sensibilização do investidor e do cliente é decisiva na viabilidade da sustentabilidade.

Empresas, sociedade e governo estão cada vez mais preocupados em garantir produtos com padrões de certificação ambiental. Além da redução dos impactos ambientais na produção, as organizações buscam gerar emprego, renda e inclusão social com práticas sustentáveis. A Figura 2 mostra as principais certificações no mundo e sua influência nos continentes.

Figura 2 – Influência das certificações ambientais internacionalmente.



Fonte: GEDAE – UFPA

### 1.6.2 Informática aplicada à eficiência energética das edificações

As simulações termo-energéticas constituem ferramenta capaz de prever o comportamento térmico da edificação, permitindo quantificar o impacto de decisões arquitetônicas. Muitas delas estão sendo usadas nas certificações ambientais ou simplesmente para projetar edificações com mais sustentabilidade.

Estas ferramentas têm o poder de orientar decisões de projeto e confirmar o desempenho esperado quando aplicadas as recomendações bioclimáticas. Com relação aos princípios bioclimáticos, a simulação termo-energética e as exigências mínimas de eficiência energética para projetos podem ser empregadas para suporte da prática de arquitetura mais adequada ao local e ao clima.

Diversas ferramentas computacionais de simulação têm sido desenvolvidas com o intuito de facilitar a análise e avaliação de projetos e edifícios quanto ao seu comportamento energético, térmico, acústico e de iluminação, entre outros. Elas têm se tornado cada vez mais importantes, ganhando destaques em pesquisas de diversos países (DOE, 2007).

Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução (MENDES *et al*, 2005, p. 48).

Segundo Delbin (2006), a validação de programas computacionais de simulações consiste na combinação de validação empírica, analítica e técnicas comparativas de análise, conforme descritas a seguir:

- (i) validação empírica (ou experimental) é feita pelo confronto dos resultados de cálculos gerados pelo programa com dados reais coletados em uma célula teste, edifício real, ou experimento laboratorial, e que, conforme Pereira (2009) considera as incertezas inerentes ao processo de medição; (ii) validação analítica é baseada em referências analíticas, comparando os valores obtidos com a simulação com os valores calculados por método analítico conhecido (DELBIN, 2006).

Segundo Pereira (2009 apud CUNHA, 2011, p. 2), este tipo de validação cobre domínios limitados da propagação da luz e são aplicados, em geral, em casos

simplificados para avaliar uma suposição teórica ou para testar um determinado parâmetro; validação comparativa é feita a partir de comparações entre resultados de simulação de diferentes programas de simulação.

Segundo Lamberts *et al* (2010a), a partir da década de 90, com a popularização dos computadores pessoais (PCs), empresas e grupos de pesquisa se engajaram no desenvolvimento de interfaces para esses programas, compatíveis com o sistema operacional Windows. Com o avanço progressivo dos recursos computacionais – aumento de capacidade de processamento e memória – programas mais modernos e complexos puderam ser desenvolvidos.

O Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 330 programas de simulação desenvolvidos em diferentes países, como por exemplo: BLAST, Comis, DOE2.1E, Energy Plus, Sunrel, TRNSYS, Tas, TRACE, eQUEST, ECOTECT, PowerDomus, entre outros. Para ter certeza de que esses programas realmente executam simulações coerentes, os mesmos são submetidos a validações.

Porém, estas ferramentas ainda não foram incluídas no processo de projeto, pela necessidade de elevado conhecimento técnico da área e dificuldade na utilização dos softwares, sendo utilizadas apenas por laboratórios especializados e criando uma alta demanda de projetos com baixa eficiência energética.

Faz-se necessária a busca por estratégias que insiram os simuladores de energia no processo produtivo, sem comprometer a velocidade no processo produtivo do profissional, que lida com prazos a todo instante. A tecnologia BIM é composta por um conjunto de softwares de projeto multidisciplinar, capaz de realizar tarefas de forma rápida e precisa.

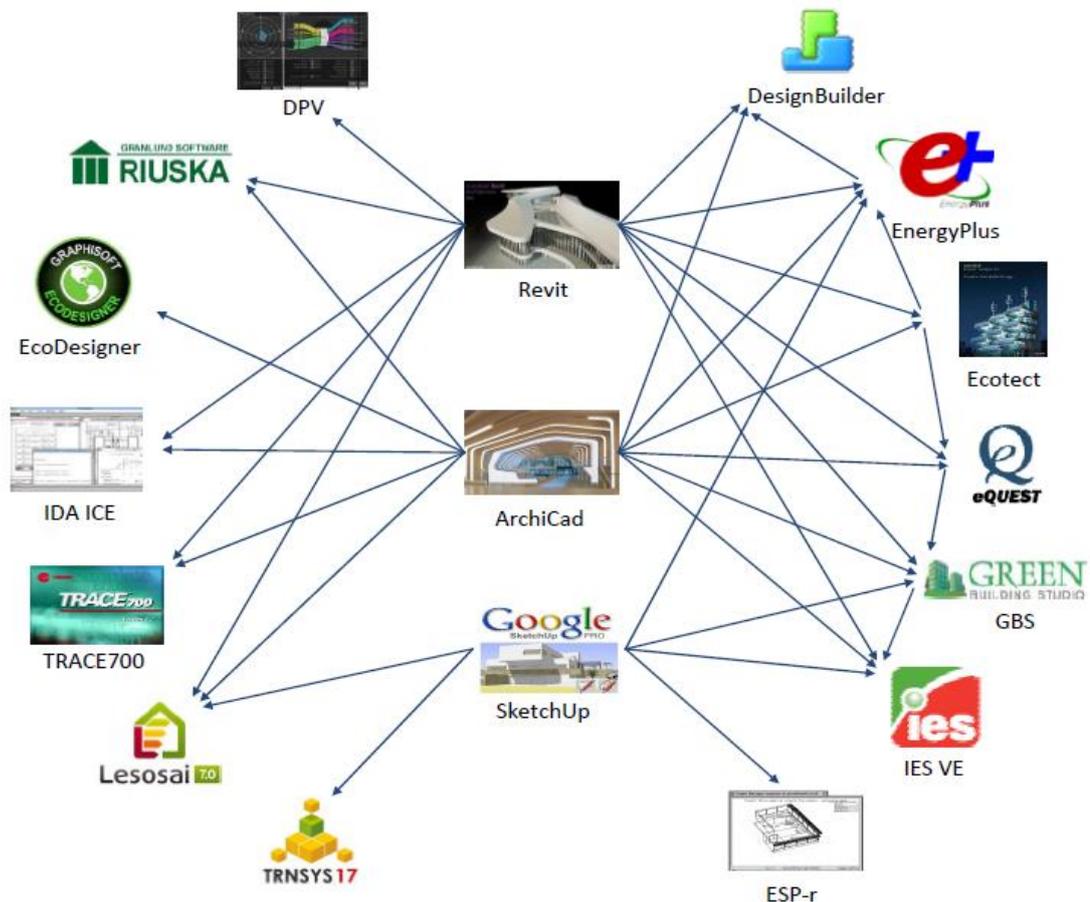
Segundo Kwok-WaiWong e Ka-Lin Kuanb (2013),

A tecnologia BIM é considerada como um veículo potencialmente útil para ajudar os interessados no projeto para capturar design completo e informações sobre o projeto, e para fazer o melhor uso dos dados de projeto disponíveis para o projeto sustentável e análise de rating de sustentabilidade. Embora a experiência da Liderança em Design de Programa (LEED) Energia Ambiental quer os EUA demonstrou o grande potencial de integração BIM com as avaliações de construção, prevê-se que o BIM pode também ser efetivamente integrado com a Hong Kong “BEAM Plus” (KWOK-WAIWONG; KUANB, p. 163, 2013).

A figura 3, a seguir mostra a interoperabilidade dos principais softwares para modelagem 3D, como o Revit (BIM), ArchiCad (BIM) e Skecthub (CAD tradicional)

com os softwares de simuladores de análise energética (apresentados ao redor da imagem). Porém, esta comunicação ainda está em fase de teste, apesar de ter sido apontada no artigo de Martins (2001, p. 6), conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Interoperabilidade dos softwares BIM com simuladores termo-energéticos.



Fonte: Martins (2001, p. 6)

Os softwares de análise energética que utilizam a tecnologia BIM, são complementares aos de modelagem e serão conceituados a seguir para verificar em quais fases de projeto sustentável são utilizados.

### 1.6.3 BIM na construção sustentável

A abordagem BIM otimiza a coordenação entre os dados e os membros da equipe do projeto, para que os erros sejam identificados em pouco tempo. Dessa forma, as equipes têm a possibilidade de evitar desperdícios e custos derivados de erros. A praticidade de se projetar gerando vistas geradas de forma automática, reduz significativamente o tempo de trabalho e proporciona mais segurança projetual.

Segundo Bynum (2013, p. 24),

Os resultados da pesquisa indicaram que, embora a maioria dos entrevistados acredita que práticas sustentáveis de projeto e construção foram de importância dentro da empresa, a maioria ainda acredita que a sustentabilidade não era uma aplicação primária de BIM e que a coordenação do projeto e visualização foram cada vez mais importantes.

O uso das ferramentas BIM gera a oportunidade de mudar radicalmente e aprimorar o processo de confecção do projeto em diversas formas. Enquanto as abordagens tradicionais baseadas no modelo CAD 2D têm um decréscimo da produtividade na etapa de documentação pela sua abordagem de desenho baseado em linhas, um fluxo de trabalho baseado em BIM trabalha com modelo 3D paramétrico que permite compartilhar e aprimorar as informações do projeto em todas as etapas, implicando, assim, uma modificação na essência do processo.

Segundo Wong e Fan (2013, p. 138),

A implementação bem sucedida de BIM é capaz de eliminar o custo extra de alterações de projeto durante as fases subsequentes do processo de construção. BIM, portanto, é também capaz de reforçar a cultura de entrega do projeto no futuro. Implicações sociais - soluções BIM podem contribuir para a seleção de melhores soluções para reduzir consumo de energia e recursos. Esta nova tecnologia e a abordagem também podem gerar a necessidade de mais profissionais e oportunidades de trabalho inovador.

A ferramenta BIM é composta por softwares 3D capazes construir digitalmente o projeto. O Revit é a plataforma de modelagem paramétrica da Autodesk para edificações. Focado especialmente nos profissionais de projeto, possui uma série de recursos também muito importantes aos profissionais de construção, como a extração de quantitativos, a modelagem de detalhes construtivos e a edição de modelos para verificação de viabilidade construtiva.

Segundo Basbagill *et al* (2013, p. 1),

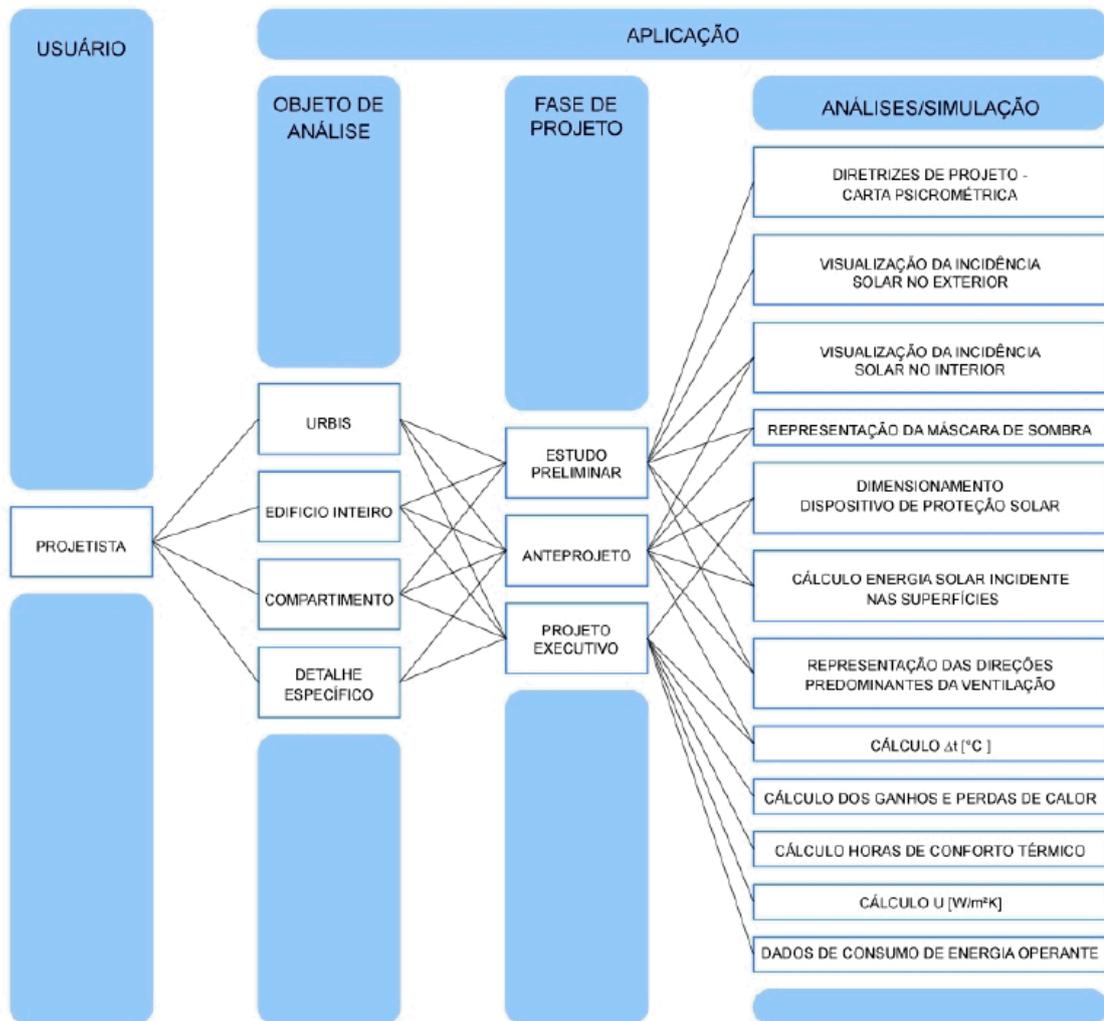
As decisões tomadas durante as fases iniciais do projeto está a construção de determinar criticamente o seu impacto ambiental. No entanto, os designers são confrontados com muitas decisões durante estas fases e, normalmente, não têm intuição em qual as decisões são mais de significativo para um impacto edifício. Como resultado, os designers muitas vezes adiam decisões para fases posteriores do processo de projeto.

Após a conclusão do modelo, é possível realizar diversas simulações energéticas do modelo. O BIM conta com um conjunto de soluções integradas capaz de solucionar várias etapas do projeto sustentável:

- Projeto Passivo;
- Orientação da construção;
- Massa e forma da construção;
- Aspectos arquitetônicos: colocação de janelas, saliências de telhados e características de sombreamento;
- Envelope da construção;
- Propriedades térmicas dos materiais de construção;
- Transferênciatérmica;
- Confortotérmico;
- Coleta e uso de água;
- Estimativa do padrão de demanda de água;
- Aumento da eficiência através de materiais hidráulicos;
- Deslocamento do uso de água através de medidas líquidas zero;
- Uso e geração de energia;
- Estimativa do padrão de demanda de energia elétrica;
- Aumento da eficiência elétrica através de instalações e controles;
- Deslocamento do uso de energia através de medidas líquidas zero;
- Período de recuperação;
- Iluminação natural;
- Análise dos níveis de iluminação natural fornecido através dos aspectos arquitetônicos do modelo de construção;
- Implementação de estratégias de projeto de iluminação natural (AUTODESK, 2010c).

Segundo Freire (2012), As experiências ora em desenvolvimento servirão de referência para a elaboração de uma metodologia para avaliação de desempenho térmico durante o processo de projeção de edificações, contemplando as especificidades das habitações de interesse social, alinhada ao conceito de Modelagem da Informação para Construção. Espera-se, com isso, contribuir para a produção de edificações mais eficientes e sustentáveis, analisando as ferramentas de análise/simulação indicadas para cada fase do projeto. A figura 4 apresenta o método proposto:

Figura 4 – Diagrama indicador para avaliação do desempenho térmico.



Fonte: FREIRE (2012).

Segundo Martins (2001, p. 6):

A interoperabilidade entre programas de análise de BIM e de energia é uma área em desenvolvimento e o potencial de BIM em termos de análise de energia não foi totalmente otimizado ainda. Até agora, o software BIM foi especialmente orientado para a arquitetura, com tais desenvolvimentos como o Autodesk Revit, Bentley Arquitetura, Graphisoft / Bentley ArchiCAD, e Vectorworks focado principalmente na modelagem e geometria do edifício. Por exemplo, para realizar uma análise de energia, especialmente a análise térmica abrangente, detalhada e especializada, os usuários têm, por vezes, preferido softwares de análise térmica que criam a sua própria geometria. Embora a funcionalidade das ferramentas térmicas de construção popular tenha progredido significativamente nos últimos anos, grande parte do potencial de sua interoperabilidade através da BIM permanece largamente inexplorada. É necessário mais trabalho para determinar se as informações de design apropriado para utilização em análises térmicas podem ser capturadas dentro de um modelo de informações de construção, em particular, a sua mais alta prioridade melhorias de interoperabilidade para os efeitos do projeto de construção sustentável.

A capacidade de trabalhar com dados geométricos e termo energéticos de construção de modelos de informação (BIM) é importante para acelerar e dar mais precisão no processo de simulação energética. No modelo baseado em BIM, as propriedades térmicas são principalmente derivadas dos tipos de construção determinados pelo projetista.

Segundo Jrade e Jalaei (2013, p. 431),

Building Information Modeling (BIM) têm sido utilizados para automatizar os processos de modelagem de energia prolongada de construção e permitir a aquisição rápida de resultados. As recentes melhorias de programas de simulação estimularam o aumento do uso de simulação de energia em estudos de sustentabilidade na fase de concepção mais cedo. No entanto, muitas vezes é difícil alavancar o potencial do BIM, devido à troca de informações inadequada entre modelos BIM e programas de simulação. Suposições ambíguas sobre muitos valores dos parâmetros de simulação poderiam resultar em uma chance significativa de mal-entendidos sobre o desempenho energético.

A seguir serão conceituados os principais softwares de análise energética que serão utilizados na metodologia deste trabalho.

### **a) Software Ecotect Analysis**

O *Ecotect Analysis* é uma ferramenta de software que avalia o desempenho do modelo com base em fatores climáticos e ambientais e pode importar arquivos do modelo BIM para executá-los com dados climáticos específicos do local.

*Autodesk Ecotect Analysis* fornece uma solução abrangente para análise de design sustentável em uma única plataforma. Usa a funcionalidade de serviço web e ferramentas de desktops juntos para criar designs mais sustentáveis. Aqui está um exemplo de como as ferramentas são complementares: no início do processo de concepção, fase precoce, modelos podem ser usados em combinação com a funcionalidade de análise do site nas ferramentas de desktops para determinar a localização ideal, forma e orientação de um projeto de construção com base em fatores ambientais fundamentais como a luz do dia, obscurecer, acesso solar e impacto visual. As ferramentas disponibilizadas pelo *Ecotect Analysis* permitem avaliar:

- Análises integrais da energia da construção;
- Desempenho térmico;
- Radiação solar;

- Iluminação natural;
- Sombras e reflexos.

### **b) Software Green Building Studio**

Como o design conceitual evolui, soluções de energia em toda a construção, como o software GBS (*Green Building Studio*), podem ser usadas para estudos do seu consumo de energia e mostrar áreas de potencial de economia. Uma vez que estes parâmetros fundamentais de design foram estabelecidos, ferramentas do Ecotect Analysis podem ser usadas novamente para reorganizar os quartos e zonas, de tamanho e forma de aberturas individuais, para projetar dispositivos de sombreamento personalizados, ou optar por materiais específicos com base em fatores ambientais, como a disponibilidade de luz do dia e conforto acústico.

Esta tecnologia também está inserida no contexto sustentável e já realiza simulações de energia e certificação LEED. Porém esta tecnologia ainda não contempla todas as certificações e sua compatibilidade com estes programas precisa ser investigada, por ser uma alternativa potencial a nível internacional para que haja uma uniformização das ferramentas de projeto e, assim, gerar mais produtividade com recursos sustentáveis. A interoperabilidade dos softwares BIM com simuladores termo-energéticos, ainda está em fase de aprimoramento em alguns softwares.

O processo de trabalho no *Green Building Studio* é feito integrando o modelo BIM de cada disciplina e depois submetendo a análises com softwares de simulação. Através do Plugin *Green Building Studio* que utiliza o conteúdo paramétrico do modelo como fonte para a obtenção dos resultados, é possível executar simulações de energia usando um modelo do Revit ou um arquivo gbXML (extensão para simulação), gerado por outras ferramentas.

O *Green Building Studio* utiliza o motor de simulação DOE-2.2. O DOE-2.2 foi validado pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* e pelo *Los Alamos National Laboratory*. Resultados de simulação de energia podem ser vistos dentro do modelo, ou no site da GBS. Também é possível realizar testes de validação como parte da rotina de cada lançamento, incluindo o teste ANSI aceito pela indústria/ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning*) 140-2011, método padrão de teste para a avaliação da construção de programas de computador de análise de energia e obtenção de estimativas pontuais LEED.

Se um parâmetro não foi definido no modelo, o GBS usa um valor padrão, a fim de gerar um modelo de energia com o mínimo de informações necessárias para a simulação. Estes valores inteligentes são apropriados para o tipo de construção, tamanho e localização. Esses padrões são baseados principalmente no ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, ASHRAE 62.1 e dados CBECS, e variam de acordo com tipo de construção, localização, tamanho e número de pisos. As ferramentas disponibilizadas pelo *Green Building Studio* permitem avaliar:

- Resultados de energia e carbono;
- Dados de uso de água;
- Potencial fotovoltaico;
- Resultados do aproveitamento de iluminação natural;
- Alternativas de projeto.

O esquema gbXML, gerado pelo GBS através do modelo criado no Revit, foi projetado para transferir informações essenciais contidas em uma modelagem de informações da construção. Essas informações incluem itens como paredes, janelas e ambientes, e excluem itens supérfluos como móveis, escadas e eletrodomésticos. É possível salvar ou exportar modelos para serem simulados em outros *softwares* como Energy Plus, Equest e Ecotect.

O GBS fornece uma transformação para o formato de arquivo IDF Energy Plus, embora esses modelos Energy Plus não estejam atualmente simulados em GBS principalmente devido aos tempos longos de simulação. O Energy Plus oferece alguns recursos avançados que não estão disponíveis com DOE2 e outros motores de simulação mais antigos, como modelagem física de massa térmica e fluxo de ar, os cálculos de conforto e transferência de energia radiante, porém como o motor Energy Plus torna-se mais confiável e ferramentas de interface do usuário começam a amadurecer, a indústria está começando a se mover em direção a tirar partido destas capacidades.

### **c) Energy Plus**

O Energy Plus é um software para simulação termo-energética, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, tendo sido lançado em 2001. Permite desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética em edificações existentes ou em fase de projeto, possuindo capacidade para simulação

diferenciada, que integram vários módulos (fotovoltaico, aquecimento solar, ventilação natural, iluminação natural) que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício, usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. É um software já consolidado, e com grande aceitação, sendo usado em muitas pesquisas realizadas no país para simulação de desempenho termo-energético de edificações (MELO; BARCELOS, 2011). Funciona também como um *plugin* para simulação, desenvolvido para funcionar associado a outros programas que possuem uma interface para a modelagem geométrica da edificação, a exemplo do DesignBuilder.

### **d) DesignBuilder**

O DesignBuilder é um software criado como interface gráfica para o Energy Plus, que oferece uma plataforma para modelagem geométrica da edificação visando a simulação do desempenho termo-energético, análise de sombreamento, cargas de aquecimento e resfriamento, conforto e transmitância térmica, emissão de CO<sub>2</sub>, entre outras funções de simulações termodinâmicas. As análises são fornecidas através de gráficos, que são atualizados automaticamente a cada modificação de projeto. Permite a simulação do acionamento de diversos dispositivos como janelas, cortinas, brises etc. através de padrões de uso e de valores de variáveis ambientais internas e externas (DESIGNBUILDER, 2012).

### **1.6.4 Considerações sobre a revisão da literatura**

A revisão da literatura apontou um grande potencial da Tecnologia BIM para fins de projeto sustentável, pela mudança de paradigma projetual em relação ao processo CAD tradicional, porém ainda é necessário o aprimoramento dessas ferramentas no quesito interoperabilidade entre softwares e adequação dos softwares a aspectos particulares de etiquetagem local como a bioclimatologia e outras características de desempenho energético atreladas ao regionalismo. Só assim será possível realizar simulações com precisão, com base no cenário em questão.

## **Capítulo 1 – Introdução**

---

No capítulo seguinte será abordado o projeto sustentável para entender o processo e auxiliar no estudo de caso, pois irá considerar o processo em suas diversas etapas, analisando a forma mais eficaz de para fins de sustentáveis e etiquetagem, investigando se as tecnologias existentes na etiquetagem brasileira estão sendo realmente eficazes para a disseminação da etiquetagem da indústria de projeto nacional, tendo em vista que é uma tecnologia em constante ascensão internacionalmente.

## ***Capítulo 2 - Projeto Sustentável***

---

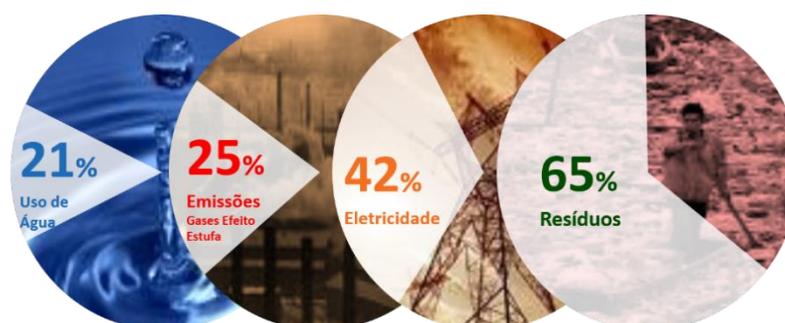
### 2.1 DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO SUSTENTÁVEL

Para as edificações atingirem um nível de sustentabilidade devem seguir diretrizes que, segundo Lamberts *et al* (2006), podem estar englobadas nas seguintes categorias e são descritas a seguir:

- Entorno sustentável;
- Análise do clima em que o projeto será inserido;
- Uso racional dos recursos naturais;
- Manutenção da qualidade ambiental interna da edificação.

A figura 5 apresenta os ganhos em eficiência energética e redução no uso de água, emissões de CO<sup>2</sup>, eletricidade e resíduos que um projeto pode atingir, se realizado adotando os tópicos listados anteriormente.

Figura 5 - Economia de uma operação e manutenção sustentável.



Fonte: USGBC

A seguir serão detalhados, especificando a importância de cada uma na realização do projeto sustentável

#### 2.1.1 Entorno sustentável

A escolha de local para o projeto, de acordo com critérios de sustentabilidade, é importante para obter sustentabilidade na edificação. Para novos projetos deve-se dar preferência à implantação de empreendimentos em áreas urbanas com infraestrutura existente, privilegiar a revitalização urbana e a urbanização de áreas degradadas.

Deve-se evitar a retirada desnecessária da cobertura vegetal, assim como promover o plantio de grama e arborização nas calçadas com árvores nativas,

implantar hortas comunitárias nos jardins dos empreendimentos e impor um limite de ocupação, de acordo com a capacidade ambiental e econômica do local.

Deve-se promover a implantação sustentável do projeto, ou seja, dar preferência à utilização de uma taxa de ocupação menor do que a permitida pelo plano diretor no terreno, para promoção de maior permeabilidade. O uso de paisagismo reduz ilhas de calor interna e externamente ao projeto. Também pode-se reduzir o aquecimento com a adoção de árvores, o uso de pavimentação mais permeável e com materiais mais reflexivos. Também é aconselhável propor o uso de coberturas com alta refletância ou com utilização de teto jardim.

### **2.1.2 Análise do clima em que o projeto será inserido**

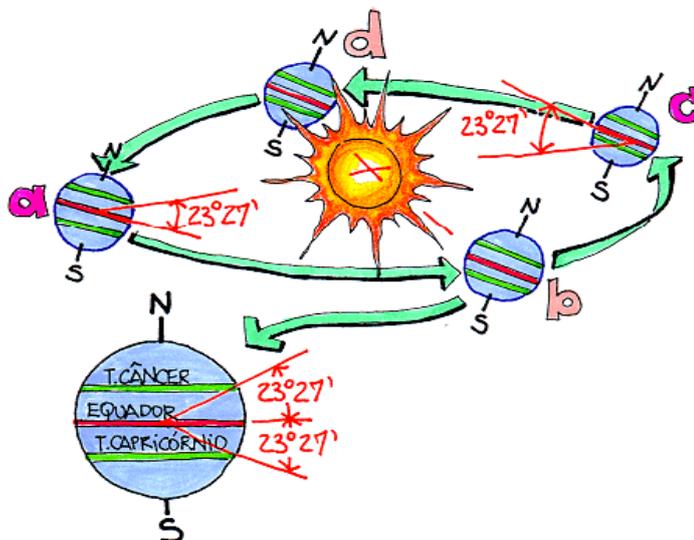
O clima de forma global está relacionado à radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos e massa de água e terra, e de forma local pela topografia, vegetação e a superfície do solo natural ou construído. Estuda-se sua influência pelos valores de temperatura, umidade, precipitação e movimentação de ar de cada local.

Segundo Lamberts (1998, p. 92),

A Arquitetura Bioclimática utiliza a tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com o objetivo de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico com baixo consumo de energia. Alguns Métodos Diretos de Projetos Bioclimáticos aplicados à edificação utilizam Cartas Bioclimáticas. Estas cartas associam informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano. As estratégias indicadas pela carta podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos).

O posicionamento da Terra em relação ao Sol (figura 6) define com que intensidade uma determinada área está exposta à maior ou menor incidência de radiação solar (figura 5). Contudo, as áreas que mais recebem essas radiações são as que se situam entre os trópicos de câncer e capricórnio. A temperatura do ar não está relacionada à ação direta dos raios solares, mas ao coeficiente de absorção das superfícies, condutividade e capacidade térmica do solo e às perdas por evaporação, convecção e radiação. A umidade do ar é regulada pela vegetação e pelo ciclo das chuvas. Os ventos estão relacionados com as altitudes, latitudes, topografia e rugosidade do solo.

Figura 6 - Posicionamento da terra em relação ao sol.

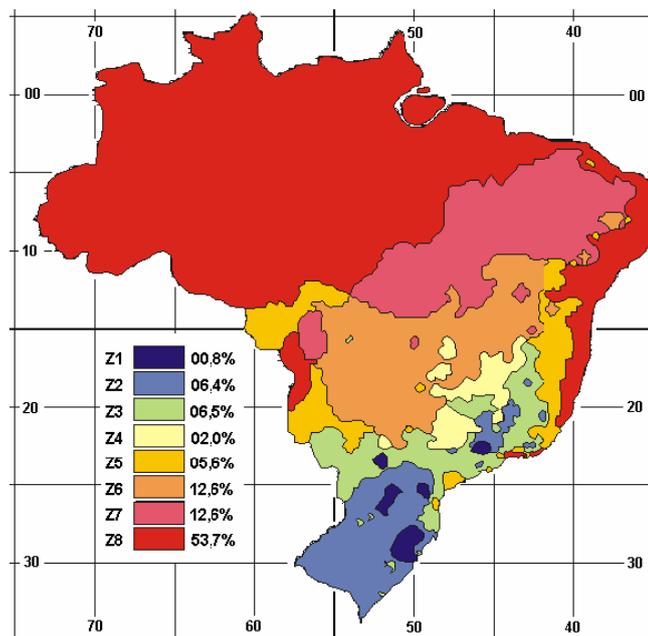


Fonte: Lamberts (2010).

Visto que o projeto de arquitetura apresenta diversas variáveis de acordo com a sua função e uso, pode-se concluir que a criação de uma ferramenta avaliativa específica para determinado tipo de edificação, numa determinada região com condições climáticas específicas, provavelmente produzirá uma avaliação mais próxima da realidade (SILVA; ALMEIDA, 2003).

A cidade de Belém, por exemplo, é cortada pela linha do Equador e o Trópico de Capricórnio. Por sua grande extensão, suas formas de relevos, pela dinâmica das correntes de ar, no Brasil encontra-se uma grande variedade de climas. A proposta feita pela NBR para o desempenho construtivo das edificações unifamiliares de interesse social no Brasil, foi a divisão do país em oito zonas bioclimáticas, conforme apresentado na figura 7:

Figura 7 - Mapa de zoneamento bioclimático no Brasil.



Fonte: NBR15220.

### 2.1.3 Uso racional dos recursos naturais

É importante fazer captação e uso da água de chuva e reuso de água, buscando o menor uso possível de água potável dentro do projeto. É importante buscar a redução do consumo geral de água da edificação com sensores para racionalizar o uso de torneiras, por exemplo. Promover a infiltração de água de chuva tratando-a no local e promover o uso correto da rede de drenagem pluvial. Nessa mesma linha, deve-se evitar a impermeabilização total do terreno, evitar a contaminação do lençol freático e implantar um sistema de tratamento de esgoto ecológico.

Segundo Lamberts (1997, p. 146),

No projeto hidrossanitário da Casa Eficiente classificam-se as águas desta habitação de acordo com a qualidade e o uso a que se destinam. Assim, na Casa Eficiente tem-se: água de abastecimento potável; água de chuva captada em telhados e utilizadas para fins não potáveis (em máquina de lavar roupas, vaso sanitário, tanque e torneira externa); água de chuva captada em telhado vegetado, terraços e rampas – áreas de circulação de pessoas – que, juntamente com as águas cinzas claras (provenientes do chuveiro, lavatório, tanque e máquina de lavar roupas), são usadas para irrigação paisagística, ou seja, para reuso de águas; e águas residuárias negras e cinzas escuras que após tratamento biológico são direcionadas para a rede de esgoto (LAMBERTS, 2010, vol. 3, p. 8).

Com relação à eficiência energética na edificação, deve-se buscar a redução no consumo de energia e o aumento no uso de fontes alternativas: solar térmica, fotovoltaica, eólica, biomassa, biogás, entre outras. Os fatores que devem ser introduzidos como estratégias passivas de projeto na envoltória da edificação ajudam a reduzir o consumo de energia com iluminação e condicionamento de ar.

Segundo Lamberts (2010, vol. 2, p. 36):

Não podemos confundir o conceito de coletor solar com fins de aquecimento da água e para geração de energia. Os sistemas de aquecimento solar de água são basicamente constituídos por coletores solares, reservatório térmico, fonte auxiliar de energia, sistemas de controle e rede de distribuição de água aquecida. Os sistemas de aquecimento solar são classificados de acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008b).

A escolha e uso de materiais para o projeto com base em critérios sustentáveis constitui-se como estratégia inteligente para aumentar a vida útil da edificação, evitando manutenções periódicas. Deve-se fazer uso restrito de materiais com alto valor energético. A especificação de materiais deve ser feita em função da durabilidade, do transporte e do custo energético do material.

As edificações são grandes emissoras de gases poluentes (CO<sup>2</sup>), se não forem projetadas com estratégias sustentáveis. Evitar emissões atmosféricas vindas de equipamentos instalados no edifício que afetem a camada de ozônio constitui-se como ponto importante para preservação do planeta. Devem-se minimizar as emissões de substâncias que afetem a camada de ozônio durante a operação do edifício e promover o uso de sistemas de condicionamento ambiental sem uso de gases refrigerantes.

### **2.1.4 Qualidade ambiental interna da edificação**

A idealização de estratégias sustentáveis do projeto com base nas zonas climáticas promove níveis de conforto térmico e eficiência energética mais elevados. A temperatura do ar e a umidade relativa dentro das edificações devem manter-se em níveis aceitáveis tanto em espaços ventilados naturalmente quanto mecanicamente, de forma a mantê-lo dentro do estabelecido nas zonas climáticas brasileiras da NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

A figura 8 mostra os benefícios que resultam de uma edificação pensada para atender aos requisitos de qualidade ambiental.

Figura 8 - Benefícios de uma operação e manutenção sustentáveis.



Fonte: USGBC

A ventilação natural na edificação é um ponto fundamental para a eficiência energética, visto que o condicionamento artificial consome uma grande parcela de energia da edificação. O principal objetivo da ventilação natural nas edificações é criar ambientes mais saudáveis e com boa circulação de ar, através de ventilação cruzada que é feita por aberturas em fachadas opostas e/ou por efeito chaminé por meio de aberturas em diferentes alturas.

A avaliação do desempenho da ventilação natural é uma tarefa complexa, pois lida com um fenômeno que possui um comportamento extremamente variável: o vento, o ar em movimento. O vento apresenta velocidade e direção que não são constantes, além de estar sujeito a interferências que também devem ser consideradas pelo projetista, embora seja difícil quantificar com precisão o efeito das mesmas. Um exemplo disso é a influência do entorno edificado, que altera tanto a direção quanto a velocidade do vento que incide na edificação, a distribuição espacial dos edifícios e altura dos mesmos, inclinações de beirais e telhados, existência de cercas e muros e a presença da vegetação (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006, p. 93).

Caso contrário, pode existir a necessidade de condicionamento artificial; energia gasta para aquecimento de água; e energia gasta em aparelhos de condicionamento térmico e eletrodomésticos. A aplicação de critérios de projeto bioclimático desde a concepção inicial do projeto é muito importante para um melhor desempenho térmico da edificação.

A iluminação natural na edificação é outro recurso que é gratuito e que se for usado corretamente, pode evitar gastos excessivos, sem perder os níveis de iluminação adequados. Privilegiar o uso de cores claras no interior da edificação para melhoria do desempenho da luz natural; usar vidros com desempenho de acordo com a fachada em que se localizam e evitar o impacto do edifício nas edificações vizinhas em relação à entrada de luz são aspectos importantes a serem considerados no projeto.

Na iluminação artificial deve-se evitar o uso excessivo de luminárias e a poluição de luz que sai do edifício; garantir uma integração maior entre a iluminação natural e artificial com a dimerização; fazer uso de lâmpadas e luminárias mais eficientes como o LED; uso de luz pontual no plano de trabalho somado a uma iluminação geral distribuída com menor potência, principalmente no caso de edificações comerciais.

### 2.1.5 Comunicação entre os projetistas

O processo de projeto multidisciplinar e integrado desde o início do projeto tem grande importância para uma edificação mais sustentável, apoiado no estudo climático do local, o qual define as estratégias de saída do projeto. O trabalho coordenado do arquiteto com engenheiros de instalações, por exemplo, pode garantir projetos mais bem elaborados e com iniciativas que podem reduzir consideravelmente o consumo de energia de uma edificação.

Segundo Elvan Silva (1984, p. 135),

A coordenação é um método de integralização dos projetos. Este processo é feito por meio do acompanhamento e estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento dos projetos em todas as etapas, através de reuniões de compatibilização, cronograma de entrega de projetos e padronização.

Segundo Lamberts *et al* (2010, p. 29), “a adoção, de materiais com inércia e isolamento térmico no envelope do edifício resultara em uma grande melhoria no desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, no conforto térmico dos usuários”.

É importante fornecer um alto nível de controle aos ocupantes do edifício sobre os sistemas técnicos de ventilação e iluminação; projetar para manter as funções fundamentais do edifício no caso de falta de energia e para garantir a

operação parcial dos sistemas técnicos; e pensar na sua manutenção. Manter projetos e documentação as *built*, a fim de evitar problemas futuros nas reformas; e fazer comissionamento dos sistemas técnicos dos edifícios.

O projeto de Norma 02:136.01-004:2002 COBRACON (Comitê Brasileiro de Construção Civil) de desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos fornece parâmetros para transmitância (U) e capacidade térmica ( $C_T$ ) para as paredes; e transmitância (U) e absorvância ( $\alpha$ ) para as coberturas para as diversas zonas climáticas brasileiras, estabelecendo diferentes níveis de desempenho nos quais devem ser baseados os projetos. O projeto de norma também faz recomendações a respeito do tamanho das aberturas e do sombreamento para as aberturas das paredes externas, considerando-o obrigatório para janelas de dormitórios.

### 2.1.6 Considerações sobre o projeto sustentável

Após análise das estratégias abordadas, percebe-se que existe uma responsabilidade de diversos profissionais em proporcionar a sustentabilidade em seus processos e que todos eles precisam se comunicar para prever níveis mais elevados de eficiência energética para uma edificação.

No capítulo seguinte estas estratégias serão abordadas nas certificações ambientais e etiquetagem brasileira, destacando os pesos de cada item implementado para obtenção das pontuações requeridas, destacando-se os principais pontos entre a etiquetagem e as certificações ambientais utilizadas no Brasil para obtenção dos níveis de eficiência energética das edificações.

***Capítulo 3 - Certificações Ambientais e  
Etiquetagem no Brasil***

---

Conforme abordado na Introdução, as certificações ambientais vêm sendo cada vez mais exploradas de forma voluntária pela indústria, a fim de proporcionar ao consumidor maior economia de energia e a consequente valorização do imóvel. No Brasil, as certificações mais exploradas são o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental). No contexto de etiquetagem, o PROCEL Edifica (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edificações) regulamenta o nível de eficiência energética das edificações. A aplicação da etiqueta já é obrigatória para prédios públicos e a tendência é que se estenda para as demais categorias.

A seguir, serão apresentadas as certificações e etiquetagem, abordando aspectos gerais, critérios analisados e processo de certificação e/ou etiquetagem.

#### **3.1 CERTIFICAÇÃO LEED**

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) foi desenvolvido nos Estados Unidos em 1996 pelo *Green Building Council* (US GBC), um conselho de construção sustentável, para facilitar a transferência de conceitos de construção ambientalmente responsável para os profissionais e para a indústria de construção americana, e proporcionar reconhecimento junto ao mercado pelos esforços despendidos para essa finalidade (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 1996).

O selo LEED está presente em cerca de 150 países e o Brasil é um dos que possuem mais solicitações para certificação, desenvolvida pela ONG americana U.S. *Green Building Council* e concedida no país pelo *Green Building Council* Brasil. O sistema de classificação LEED define padrões para avaliar quão ecológica é uma construção e oferece reconhecimento por desempenho exemplar, estimulando projetistas, empreiteiros e proprietários de edifícios, assim como fabricantes de produtos, a adotarem práticas sustentáveis. Além disso, o LEED aumentou a conscientização do público e dos consumidores em relação à excelência dos projetos ecológicos, o que encoraja todos os participantes a levarem em consideração as questões de sustentabilidade nas decisões dos projetos.

Atualmente, o LEED é o sistema de certificação comercial mais divulgado e aplicado internacionalmente. Sua aplicação pressupõe alguns passos preliminares que envolvem desde a extensa e contínua documentação do processo de concepção à construção, até a análise deste material pelo *United States Green*

*Building Council* (USGBC). No Brasil, ele está representado pelo GBC Brasil, criado em 2007.

Atualmente o GBC Brasil disponibiliza os seguintes tipos de LEED:

- LEED NC – Novas construções e grandes projetos de renovação;
- LEED ND – Desenvolvimento de bairro (localidades);
- LEED CS – Projetos da envoltória e parte central do edifício;
- LEED Retail NC e CI – Lojas de varejo ;
- LEED Healthcare – Unidades de saúde;
- LEED EB\_OM – Operação de manutenção de edifícios existentes;
- LEED Schools – Escolas;
- LEED CI – Projetos de interiores e edifícios comerciais.

#### **3.1.1 Critérios Analisados**

É um sistema que orienta, padroniza, mensura, classifica e certifica, documentando cada tipo de edificação e integrando suas fases de projeto, construção e utilização. Os itens avaliados são:

- Eficiência da água (WE) (5 pontos): Uso eficiente da água, tratamento de águas servidas, aproveitamento de águas de chuva;
- Energia e atmosfera (EA) (17 pontos): Desempenho com consumo mínimo de energia, otimizar desempenho energético, uso de energia renovável, medição e verificação para garantir a performance do sistema;
- Materiais e recursos (MR) (13 pontos): Estocagem e coleta de materiais recicláveis, reuso da construção, administração do entulho da obra, materiais reciclados e renováveis, madeira certificada;
- Qualidade ambiental interna (EQ) (15 pontos): Qualidade do ar interior, controle da fumaça de tabaco ambiental, aumento da ventilação, materiais com baixa emissão (adesivos, selantes, tintas, etc), controle de produtos químicos e fontes poluentes, controle da iluminação, temperatura e ventilação, conforto térmico e projeto;
- Inovação e processo de projeto (IN) (5 pontos): Inovação em projeto, profissional acreditado LEED.

### 3.1.2 Processo da Certificação LEED

- Registro do projeto (no site [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org));
- Coleta de informações pelo time de projetos;
- Cálculos e preparação de memoriais e plantas;
- Envio da primeira fase (Projetos - ao GBC Americano);
- Coleta e preparação de documentos da segunda fase;
- Envio da segunda fase (Construção Final);
- Treinamento para ocupação;
- Pré-operação e pós entrega;
- Análise para certificação.

Para receber o certificado LEED de edifício verde, devem ser seguidos alguns critérios. Atualmente são 69 critérios e cada um deles valendo 1 ponto. Estes critérios levam em consideração todo o ciclo de vida do empreendimento. Caso atinja no mínimo 26 pontos e atenda os 7 pré-requisitos, o prédio estará de acordo com as preocupações de sustentabilidade e recebe a certificação LEED básica. A partir de 33 pontos, recebe o certificado prata. Quando chega a 39, recebe o ouro. A partir de 52 pontos atinge-se a certificação máxima, que é de platina. A figura 9 apresenta os selos citados.

Figura 9 - Níveis de certificação LEED.



Fonte: [www.usgbc.org/leed](http://www.usgbc.org/leed)

O Selo Procel Edificações pode ser utilizado como caminho alternativo para a comprovação do atendimento ao pré-requisito de desempenho energético mínimo no processo de obtenção da certificação internacional de construções sustentáveis LEED. O critério de equivalência é válido para edificações comerciais, públicas e de serviços localizadas em todo o território nacional, exceto as destinadas à assistência médica, *data centers*, instalações industriais, armazéns e laboratórios. Os projetos registrados no país podem utilizar o Selo Procel Edificações para comprovar a

conformidade com as exigências do pré-requisito EAp2, da dimensão de Energia e Atmosfera, uma das sete dimensões avaliadas antes da outorga do certificado internacional, eliminando uma etapa e contribuindo para acelerar e facilitar o processo.

## **3.2 CERTIFICAÇÃO AQUA**

O processo de certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é uma parceria entre a Fundação Vanzolini e o *Centre Scientifique et Techniquedu Bâtiment* (CSTB) – instituto francês que é referência mundial na construção civil e sua subsidiária Certivéa, em cooperação com os professores do departamento de Engenharia de Produção e de Engenharia de Construção Civil da Poli-USP.

A criação da certificação brasileira AQUA, apresenta-se como um grande avanço nesse sentido, visto que toma em consideração a problemáticas mais adequadas aos panoramas regionais brasileiros a serem analisados (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2008).

### **3.2.1 Critérios Analisados**

O AQUA é uma versão das normas de construção sustentável. Diferentemente do sistema de certificação LEED, o sistema AQUA estabelece 14 critérios de análise e, em cada um deles a edificação pode receber a qualificação de bom, superior ou excelente, devendo obter no mínimo três critérios excelentes e, no máximo, sete critérios bons. Os itens avaliados são:

Gerenciar os impactos sobre o ambiente exterior:

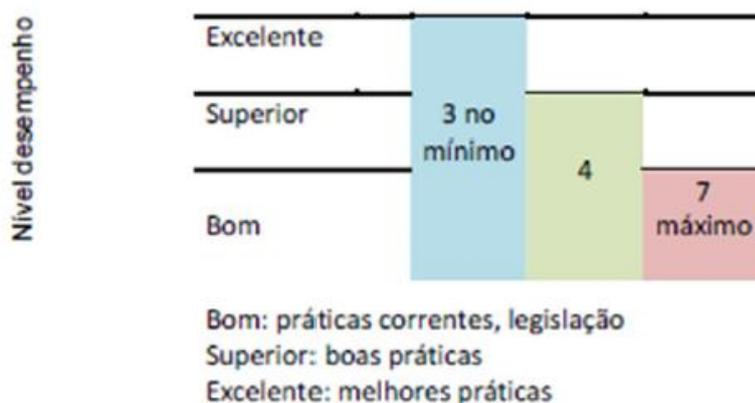
- Eco-construção:
  - Relação do edifício com o seu entorno;
  - Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;
  - Canteiro de obras com baixo impacto ambiental.
- Eco-Gestão:
  - Gestão de energia;
  - Gestão da água;
  - Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício;
  - Manutenção - Permanência do desempenho ambiental.

Criar um espaço interior sadio e confortável:

- Conforto:
  - Conforto higrotérmico;
  - Conforto acústico;
  - Conforto visual;
  - Conforto olfativo.
- Saúde:
  - Qualidade sanitária dos ambientes;
  - Qualidade sanitária do ar;
  - Qualidade sanitária da água.

A figura 10 apresenta o critério de pontuação para atender aos diferentes níveis da certificação AQUA.

Figura 10 - Níveis de certificação AQUA.



Fonte: [www.vanzolini.org.br](http://www.vanzolini.org.br)

#### 3.2.2 Processo da Certificação AQUA

O sistema prevê auditorias e avaliações em três etapas da obra. A primeira, que é a certificação da Fase do Programa, consiste em:

- Programar a construção para a Qualidade Ambiental desejada;
- Estabelecer um Sistema de Gestão de Empreendimento (SGE) para que sejam atendidos os critérios de desempenho de Qualidade Ambiental do Edifício (QAE);
- Avaliar o QAE, preencher um dossiê e enviar à Fundação Carlos Alberto Vanzolini;
- Receber auditoria da Fundação Carlos Alberto Vanzolini;

- Aguardar análise do atendimento ao referencial Técnico;
- Receber o Certificado da Fase de Programa.

A segunda etapa, referente à Fase de Concepção, consiste em:

- Projetar a construção para a QAE programada;
- Manter o SGE;
- Avaliar a QAE, preencher um doddiê e enviar à fundação Carlos Alberto Vanzolini;
- Receber auditoria da Fundação Carlos Alberto Vanzolini;
- Aguardar análise do atendimento ao Referencial Técnico;
- Receber o Certificado da Fase de Concepção.

A terceira etapa, referente à Fase de Realização, consiste em:

- Realizar a construção para a QAE projetada;
- Manter o SGE.

#### **3.3 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM**

Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 15.220 que trata do Desempenho Térmico de Edificações. Este regulamento foi dividido em cinco partes e refere-se a habitações uni familiares de interesse social com até três pavimentos. A primeira consiste nas definições, símbolos e unidades; a segunda estabelece métodos de cálculo da transmitância, capacidade e atraso térmico e do fator de calor solar dos componentes das edificações; a terceira parte apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro bem como suas diretrizes construtivas; a quarta parte trata da medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e a quinta e última parte discorre sobre a medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método do fluxímetro.

O Inmetro, com o apoio do Procel Edifica, lançou os regulamentos referentes ao nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos como parte do PBE. Estes regulamentos já estão em vigor desde junho de 2009. Os regulamentos referentes ao nível de eficiência energética de edificações residenciais estão em desenvolvimento.

A regulamentação para a Etiquetagem de Eficiência Energética para Edificações tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, sendo aplicável

a edifícios com área útil superior a 500 m<sup>2</sup> ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A). Pode ser fornecida uma etiqueta para o edifício completo ou para parte deste (CANAZIO apud MARTINEZ, 2009).

Atualmente, a etiquetagem para edificações públicas já é obrigatória para edificações novas e existentes e as demais de caráter voluntário e passará a ter caráter obrigatório para edificações novas no prazo máximo de cinco anos a partir da data de sua entrada em vigor. Os edifícios submetidos a esta regulamentação devem atender a todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – vigentes e aplicáveis.

No âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), foram lançados os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), além dos Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e seus documentos complementares, como os Manuais para aplicação do RTQ-C, do RTQ-R e do RAC

Os RTQ-C e RTQ-R contêm os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações. Já os manuais contêm detalhamentos e interpretações dos regulamentos técnicos – RTQ-C e RTQ-R – e esclarecem algumas questões referentes ao RAC. Para facilitar o entendimento, os manuais são bastante ilustrados, com exemplos teóricos e de cálculo. O RAC apresenta os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo das ENCEs (figura 11), a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros.

Figura 11 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).



Fonte: [www.comprasgovernamentais.gov.br](http://www.comprasgovernamentais.gov.br)

### a) RTQ-C (Edifícios comerciais, de serviços e públicos)

A primeira versão do RTQ-C foi lançada em fevereiro de 2009. Atualmente encontra-se em vigor a Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010, complementada pelas Portarias Inmetro nº 17, de 16 de janeiro de 2012, 299 de 19 de junho de 2013 e 126 de 19 de março de 2014 (MANUAL PARA ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS, 2014).

O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício, através de classificações parciais da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas através de pesos estabelecidos no regulamento e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a racionalização no consumo de água. Segundo o Inmetro, (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>) até 2015 havia 26 edifícios comerciais, públicos ou de serviços etiquetados no Brasil.

**b) RTQ-R (Edificações residenciais)**

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), inicialmente lançado em 2010, é regido atualmente pela Portaria Inmetro nº 18, de 16 de janeiro de 2012.

O RTQ-R tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética nos quesitos: Arquitetura bioclimática, Equipamentos eficientes (PBE), Sol e uso racional da água, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro. Segundo o Inmetro, (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>) ao todo, foram etiquetados 55 edifícios residenciais, entre residências unifamiliares, multifamiliares e áreas comuns, até o ano de 2015, no Brasil.

**3.3.1 Critérios Analisados**

Os edifícios são avaliados segundo três sistemas individuais: envoltória (fachadas e cobertura), sistema de iluminação e sistema de ar condicionado. A classificação geral ponderará esses três sistemas, somando ainda bonificações, que podem ser obtidas através da economia do uso de água, do emprego de fontes alternativas de energia e de qualquer inovação tecnológica que resulte em economia de energia na edificação.

Os empreendimentos submetidos a esta avaliação receberão o selo Procel Edifica, indicando seu nível de consumo de modo semelhante ao já utilizado há mais tempo para a certificação de equipamentos e aparelhos eletrodomésticos.

- Os edifícios podem ter a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar avaliados separadamente, recebendo uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um destes itens. Nestes casos, as parcelas a serem classificadas devem ser:
- Para classificação da envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa;

- Para classificação do sistema de iluminação, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas;
- Para classificação do sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas. Para obter a classificação geral do edifício, as classificações por requisitos devem ser avaliadas, resultando numa classificação final. Para isso, pesos são atribuídos para cada requisito, e de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente);
- A concessão da etiqueta será realizada nas diferentes fases do edifício;
- Projeto de nova edificação;
- Edificação concluída, após o Habite-se;
- Edificação existente, após a reforma com vistas à melhoria da eficiência energética.

#### **3.3.2 Processo de Etiquetagem do Procel Edifica**

O processo de etiquetagem de edifícios é composto de duas etapas. A primeira corresponde à avaliação do projeto do edifício e é feita pelo laboratório designado pelo Inmetro com base nos projetos e nas especificações técnicas enviadas pelo proprietário. É nesta etapa que o nível de eficiência do edifício é calculado, sendo expedida a Etiqueta de Projeto. Por isso, ela deve ser feita mesmo se o edifício já estiver construído. A duração desta avaliação é de 15 a 60 dias, a depender da complexidade do projeto e da demanda interna do laboratório.

A segunda etapa do processo de etiquetagem é a inspeção do edifício construído, que deverá ser solicitada pelo proprietário ao laboratório, após a obtenção do alvará de conclusão da obra. Nesta etapa, o laboratório verificará se os itens avaliados nos projetos, foram fielmente construídos e emitirá a Etiqueta do Edifício Construído. No capítulo a seguir, o RTQ-C será detalhado, para um melhor entendimento do processo de etiquetagem e das ferramentas utilizadas.

## ***Capítulo 4 – Métodos de Avaliação do RTQ-C***

---

O RTQ-C visa a estabelecer as condições para classificação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, a fim de se obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) emitida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

Para avaliação do projeto, o projetista deve ter em mãos uma gama diversa de informações, envolvendo os vários atributos dos componentes do projeto e sua relação com toda a edificação. Tendo em vista esse fato, a saída de dados simultânea à modelagem permite a integração e manuseio das variáveis de projeto de forma sistemática e com controle mais eficiente do projeto.

Para definição do nível de eficiência dois métodos podem ser utilizados: o método prescritivo e o método de simulação. O primeiro método está descrito dos capítulos 2 a 5 do Regulamento (o capítulo 1 contém as definições), e contém equações e tabelas que limitam parâmetros da envoltória, iluminação e condicionamento de ar separadamente de acordo com o nível de eficiência energética. Já o segundo método está descrito nos capítulos 2 e 6 e baseia-se na simulação termo energética de dois modelos computacionais representando dois edifícios: um modelo do edifício real (edifício proposto em projeto) e um modelo de referência, este último baseado no método prescritivo. A classificação é obtida comparando-se o consumo anual de energia elétrica simulado para os dois modelos, sendo que o consumo do modelo do edifício real deve ser menor que do modelo de referência para o nível de eficiência pretendido (SOUZA, 2009, p. 41).

A tabela 1 mostra os métodos de avaliação do RTQ-C que podem ser utilizados em cada etiqueta parcial.

Tabela 1 – Métodos que podem ser utilizados em cada etiqueta parcial.

<b>Envoltória</b>	<b>Sistema de Iluminação</b>	<b>Sistema de Condicionamento de Ar</b>	<b>Ventilação Natural</b>
Método Prescrito	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: RTQ-C

### 4.1 MÉTODO PRESCRITIVO

#### 4.1.1 Etiqueta Geral

Para a classificação geral, as avaliações parciais recebem pesos, distribuídos da seguinte forma:

- Envoltória = 30%;
- Sistema de Iluminação = 30%;
- Sistema de condicionamento de ar = 40%.

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da Equação 2.1 do RTQ-C, apresentada a seguir:

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left( \text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30 \cdot (\text{EqNumDPI}) + 0,40 \cdot \left\{ \left( \text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + \frac{1}{0}$$

Eq. 2.1 do RTQ-C

Onde:

- PT: Pontuação Total;
- EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória (considerando apenas o cumprimento do pré-requisito específico);
- EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI - Densidade de Potência de Iluminação (considerando apenas o procedimento de determinação da eficiência – Método das Atividades);
- EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
- EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;
- APT: área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;
- ANC: área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;
- AC: área útil dos ambientes condicionados;
- AU: área útil;
- b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1;
- Na classificação geral, o nível de Eficiência A, é aquele em que o PT esteja no intervalo:  $\geq 4,5$  a 5.

O EqNumV corresponde à pontuação obtida a partir da comprovação por simulação que o ambiente interno das áreas de permanência prolongada não condicionadas proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. Para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência esta comprovação é obrigatória. Os valores para este equivalente numérico são apresentados na tabela 2.

## Capítulo 4 – Métodos de Avaliação do RTQ-C

Tabela 2 – Equivalentes numéricos para ventilação natural.

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC $\geq$ 80%	5	A
70% $\leq$ POC < 80%	4	B
60% $\leq$ POC < 70%	3	C
50% $\leq$ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Fonte: Brasil (2010).

As bonificações são iniciativas que aumentam a eficiência da edificação, podendo receber até um ponto na classificação geral. Para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada. Essas se caracterizam como sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, sistemas ou fontes renováveis de energia.

As edificações com consumo de água quente igual ou maior a 10% do consumo de energia devem apresentar uma estimativa dessa demanda. Os requisitos, além de comprovar as demandas limites apresentadas resumidamente na tabela 3, devem atender a recomendações específicas a cada sistema de aquecimento e às condições de isolamento térmico das tubulações.

Tabela 3 – Relação entre a demanda de água quente e o nível de eficiência

	Demanda de água quente comprovada		
	NÍVEL A	NÍVEL B	NÍVEL C
Sistema de aquecimento solar	100%	70%	70% complementados por energia elétrica
Aquecedores a gás do tipo instantâneo			
Sistemas de aquecimento de água por bombas de calor	100%	70%	-
Caldeiras a gás			

Fonte: Brasil (2010).

Ainda quanto a este pré-requisito, edifícios que tenham apenas aquecimento elétrico da água atingirão, no máximo, nível C, desde que estes aquecedores elétricos, de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas (com potência menor ou igual a 4.600W) e os aquecedores elétricos de hidromassagem (com potência menor ou igual a 5.000W), possuam eficiência energética superior a 95% e, ainda, participem do Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE/INMETRO. Já os aquecedores elétricos por acumulação devem possuir etiqueta com classificação A, segundo regulamento específico do PBE/INMETRO.

### 4.1.2 Etiqueta parcial de Envolvória

O método de classificação de eficiência da envoltória é baseado em um indicador de consumo de envoltória do edifício em avaliação ( $IC_{env}$ ), obtido através de uma equação que depende da zona bioclimática onde a edificação está inserida, da área de projeção do edifício ( $A_{pe}$ ) e do fator de forma da edificação  $FF$ . A determinação da zona bioclimática é apresentada na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a qual estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro. A seguir, serão apresentadas apenas as informações que se referem à Zona Bioclimática 8, onde a cidade de Belém está inserida. Para obter o indicador de consumo da envoltória ( $IC_{env}$ ), é necessário determinar os seguintes fatores:

- Transmitância térmica da parede e da cobertura;
- Absorbância térmica de superfícies;
- Fator Forma e Fator Altura;
- Percentual de Abertura na Fachada;
- Ângulo Horizontal de Sombreamento e o Ângulo Vertical de Sombreamento;
- A área total da edificação e Limites de Fator de Forma;
- Caso a edificação em análise possua Área de Projeção do Edifício menor ou igual que  $500 \text{ m}^2$  deve-se utilizar a eq. 3.11; caso a Área de Projeção do Edifício seja maior que  $500 \text{ m}^2$  deve-se utilizar a eq. 3.12;
- Para a Eq. 3.11, há um limite de Fator de Forma máximo de 0,48; enquanto que na Eq. 3.12 há um limite de Fator de Forma mínimo de 0,17.

Para a Zona Bioclimática 8 (Região Amazônica), o RTQ-C apresenta duas equações (Equação 3.11 e 3.12) na determinação do  $IC_{env}$ , onde as variáveis das Equações são:

- $IC_{env}$ : Indicador de Consumo da envoltória;
- $A_{pe}$ : Área de projeção do edifício ( $\text{m}^2$ );
- $A_{tot}$ : Área total construída ( $\text{m}^2$ );
- $A_{env}$ : Área da envoltória ( $\text{m}^2$ );
- $A_{pcob}$ : Área de projeção da cobertura ( $\text{m}^2$ );
- $AVS$ : Ângulo Vertical de Sombreamento;
- $AHS$ : Ângulo Horizontal de Sombreamento;
- $FF$ : Fator de Forma, ( $A_{env} / V_{tot}$ );

- FA: Fator Altura, (Apcob/ Atot);
- FS: Fator Solar;
- PAFT: Percentual de Abertura na Fachada Total;
- Vtot: Volume total da edificação (m<sup>3</sup>).

Equação 3.11 do RTQ-C:

$$IC_{env} = 454,47.FA - 1641,37.FF + 33,47.PAF_T + 7,06.FS + 0,31.AVS - 0,29.AHS - 1,27.PAF_T.AVS + 0,33.PAF_T.AHS + 718$$

Ape ≤ 500 m<sup>2</sup>

Limite: Fator de forma máximo (Aenv/Vtot) = 0,48

Equação 3.12:

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58$$

Ape > 500 m<sup>2</sup>

Limite: Fator de forma mínimo (Aenv/Vtot) = 0,17

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica da classificação de eficiência é variável e deve ser determinada para cada volumetria de edifício, através dos parâmetros Fator Altura e Fator de Forma: razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (Apcob/Atot), e razão entre a área da envoltória e o volume total (Aenv/Vtot), respectivamente. Os demais parâmetros da equação são fornecidos.

Procedimento para classificação:

- a) calcula-se o indicador de consumo por meio da equação IC<sub>env</sub> com os dados do projeto;
- b) calcula-se o limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria, IC<sub>máxD</sub>, por meio da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 4; o IC<sub>máxD</sub> representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E;

Tabela 4 – Parâmetros do IC<sub>máx.D</sub>

PAF <sub>T</sub>	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: Brasil (2010).

c) calcula-se o limite mínimo IC<sub>mín</sub> por meio da equação, com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 5; o IC<sub>mín</sub> representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria;

Tabela 5 – Parâmetros do IC<sub>mín</sub>.

PAF <sub>T</sub>	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: Brasil (2010).

d) os limites IC<sub>máx.D</sub> e IC<sub>mín</sub> representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada de acordo com a Eq.3.13 do RTQ-C;

$$i = \frac{(IC_{máx.D} - IC_{mín})}{4}$$

e) com o valor de i calculado, preenche-se a seguinte Tabela 6 do RTQ-C:

Tabela 6 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Min	-	IC <sub>máx.D</sub> - 3i + 0,01	IC <sub>máx.D</sub> - 2i + 0,01	IC <sub>máx.D</sub> - i + 0,01	IC <sub>máx.D</sub> + 0,01
Lim Máx	IC <sub>máx.D</sub> - 3i	IC <sub>máx.D</sub> - 2i	IC <sub>máx.D</sub> - i	IC <sub>máx.D</sub>	-

Fonte: Brasil (2010).

f) compara-se o IC<sub>env</sub> obtido com os limites da Tabela 6 e identifica-se o nível de eficiência do projeto em questão.

A Portaria INMETRO n° 372/2010, determina a necessidade de consideração dos diferentes componentes da edificação em relação aos pré-requisitos, procedimentos de cálculo da envoltória e procedimentos de determinação da eficiência.

#### **4.1.3 Etiqueta Parcial de Iluminação Artificial**

O sistema de iluminação é classificado por dois diferentes métodos de avaliação, os quais consideram o limite de potência instalada. Ainda, verifica os

critérios de controle do sistema, através do atendimento a três pré-requisitos específicos para a classificação do sistema de iluminação atingiu o nível A:

Divisão de circuitos: Ambientes fechados por paredes ou divisórias até o teto deverão possuir um dispositivo de controle manual para o acionamento independentemente da iluminação interna do ambiente.

Contribuição da luz natural: Visando maior aproveitamento da iluminação natural, a fileira de luminárias mais próximas à abertura deverá ter controle instalado independente. Exceção: meios de hospedagem.

Desligamento automático do sistema de iluminação: Ambientes maiores que 250 m<sup>2</sup> deverão ter dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação.

### **a) Método da Área do Edifício:**

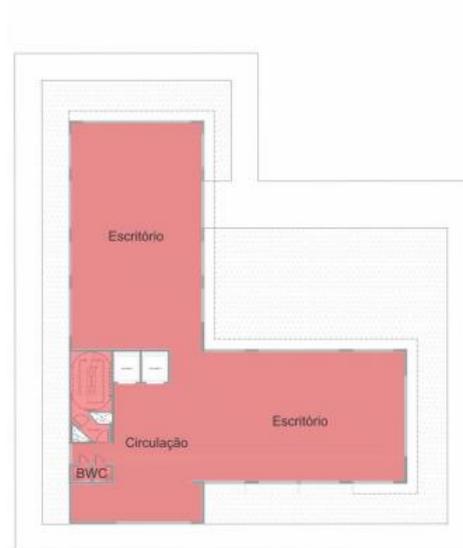
O método da área do edifício calcula os limites de potência em iluminação para as edificações como um todo e deve ser aplicado somente em casos em que a edificação possua no máximo três atividades principais, ou quando as atividades ocupam mais de 30% da área do edifício.

Assim sendo, por considerar a edificação (ou os 30% da edificação em que as atividades ocupam) como um todo, ele acaba sendo mais simplificado e na maioria dos casos resulta em uma classificação melhor para o edifício, visto que atividades secundárias, mais eficientes ou não do ponto de vista energético, são desconsideradas.

A tabela 4.1 da página 43 do RTQ-C apresenta algumas atividades e sua densidade de potência de iluminação limite (DPIL- W/m<sup>2</sup>). É importante destacar que caso as atividades não estejam na tabela, deverão ser consideradas atividades semelhantes às existentes na edificação.

Devem ser excluídos do cálculo da potência instalada da iluminação os sistemas que forem complementares da iluminação geral e com controle independente, tais sistemas vão desde iluminação de equipamentos até expositores. A figura 12 exemplifica o método das áreas, de forma que é possível perceber que em todos os ambientes (banheiro, circulação e escritório) é utilizada uma única DPI. Neste caso, a DPI de escritório. A área demarcada na cor rosa representa a mesma atividade de iluminação.

Figura 12 – Representação do método das áreas da etiqueta de iluminação artificial.



PLANTA BAIXA - 1o e 2o PVTO

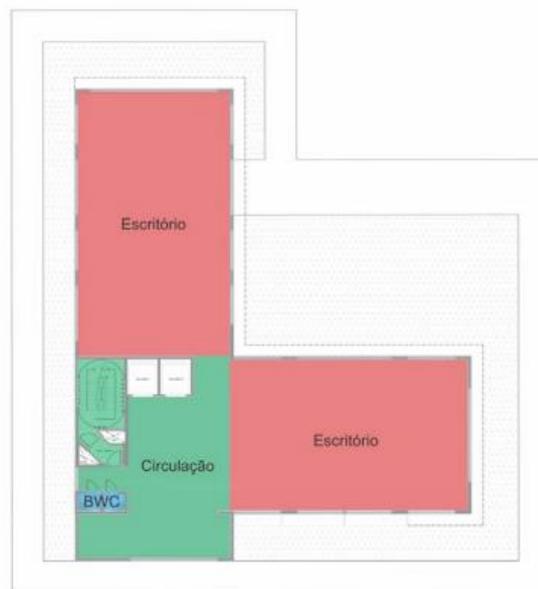
Fonte: Brum (2010).

### b) Método das Atividades:

O método das atividades do edifício avalia separadamente cada ambiente do edifício e deverá ser utilizado para edificações em que o método das áreas não pode ser aplicado. Esse método é mais complexo, pois considera todas as atividades existentes nas edificações, sendo elas mais ou menos eficientes do ponto de vista energético. Isso pode impactar na classificação, pois em alguns casos pode diferir do obtido no método das áreas. A tabela 4.2 na página 46 do RTQ-C define algumas atividades e sua densidade de potência de iluminação limite (DPIL-  $W/m^2$ ).

A figura 13 representa o modo como se comporta o método das atividades em planta baixa, onde a planta é separada em atividades (banheiro, circulação e escritório), e cada uma é avaliada de acordo com a sua DPI. As áreas demarcadas nas cores rosa e verde representam atividades distintas de iluminação.

Figura 13 – Representação do método das atividades da etiqueta de iluminação artificial.



PLANTA BAIXA - 1o e 2o PVTO

Fonte: Brum (2010).

Outro diferencial do método das atividades é a possibilidade de ser utilizado o índice de ambiente ( $K$ ) e o *Room Cavity Ratio* (RCR) para a avaliação. Eles funcionam da seguinte maneira: se o  $K$  da atividade que está sendo avaliada for menor ou o RCR for maior do que os valores definidos na tabela 4.2 da página 46 do RTQ-C, esse ambiente poderá ter um aumento de até 20% na sua densidade de potência de iluminação limite (DPIL), sem que isso prejudique a classificação final. Esta vantagem deverá ser utilizada somente nos cálculos para o ambiente em questão.

#### 4.1.4 Etiqueta parcial de Condicionamento de Ar

Existem dois tipos de sistema de condicionamento de ar, aqueles que utilizam aparelhos já etiquetados pelo PBE (figura 14) – Programa Brasileiro de Etiquetagem – e aqueles que não possuem etiqueta.

Figura 14 – Exemplo de Split classificada como nível A de eficiência.



Fonte: RTQ-C.

Os sistemas de condicionamento de ar regulamentados pelo INMETRO são os que possuem a etiqueta que indica o consumo médio do aparelho por mês, considerando padrões de testes em determinadas condições de laboratório. Eles podem ser Janela ou Split. Os sistemas de condicionamento de ar não regulamentados pelo Inmetro são os que não possuem a etiqueta. Aqueles como: sistemas centrais de condicionamento de ar; os dois tipos de sistema devem seguir pré-requisitos. Para classificação A do sistema de condicionamento de ar, deverão ser atendidos dois pré-requisitos específicos; espessura mínima dos isolantes dos dutos, conforme as tabelas 5.1 e 5.2 do RTQ-C.

Se o sistema possui condicionamento de ar por aquecimento artificial, ele deverá possuir as seguintes características:

- O sistema com bombas de calor devem apresentar um “cop” para aquecimento maior ou igual a 3,0 w/w, através do método definido na norma ahri 340/360;
- Os sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso devem apresentar um “cop” para aquecimento maior ou igual a 3,0 w/w através do método definido na norma ahri 340/360;
- Aquecedores de acumulação a gás com eficiência mínima conforme tabela 5.3 do RTQ-C.

No caso dos sistemas de condicionamento de ar regulamentados pelo INMETRO, a eficiência é determinada pela etiqueta dos equipamentos e o atendimento ou não dos pré-requisitos. Já nos sistemas de condicionamento de ar não regulamentados pelo INMETRO, a eficiência é determinada inicialmente pelo atendimento aos requisitos mínimos das tabelas do RTQ-C (especificadas a seguir por tipo de condicionador):

- Devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na tabela 5.4 do RTQ-C;
- Os condicionadores de ar tipo vrf (fluxo de refrigerante variável) devem atender aos requisitos mínimos de eficiência das tabelas 5.4a e 5.4b do RTQ-C;
- Os resfriadores de líquido devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da tabela 5.5 do RTQ-C;
- Os condensadores e torres de arrefecimento devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da tabela 5.6 do RTQ-C;
- Todo sistema de condicionamento de ar deve respeitar os requisitos estabelecidos nos itens 5.4.1 a 5.4.7 do RTQ-C.

Além disso, o atendimento ou não dos pré-requisitos específicos implicará na eficiência final do sistema. A seguir estão listados todos os pré-requisitos que devem ser avaliados (nem sempre são aplicáveis em todos os casos):

- Cálculo de carga térmica: as cargas térmicas devem ser calculadas segundo os manuais de aceitação de profissionais da área (item 5.4.1 do RTQ-C);
- Controle de temperatura por zona: cada zona térmica deve ser controlada individualmente por termostatos que devem atender aos requisitos do item 5.4.2 do RTQ-C;
- Sistema de desligamento automático: os sistemas de condicionamento de ar devem possuir algum tipo de sistema de desligamento automático conforme 5.4.3 do RTQ-C;
- Isolamento de zonas: sistemas que servem a zonas distintas devem ser divididos em áreas isoladas de acordo com os requisitos do item 5.4.4 do RTQ-C;
- Controles e dimensionamento do sistema de ventilação: sistemas com potência total superior a 4,4 kW devem atender aos requisitos do item 5.4.5 do RTQ-C;
- Controles e dimensionamento dos sistemas hidráulicos: sistemas com sistema hidráulico servido com sistema de bombeamento com potência maior que 7,5 kW devem atender aos requisitos do item 5.4.6 do RTQ-C;
- Equipamentos de rejeição de calor: o equipamento de rejeição de calor deve ser usado conforme subitens de 5.4.7 do RTQ-C.

### 4.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Neste método, o desempenho da envoltória da edificação é determinado por meio de simulação computacional. Para tanto, deve-se modelar a geometria da edificação sob avaliação e realizar simulações para duas condições: uma para a edificação quando naturalmente ventilada e outra para a edificação quando condicionada artificialmente.

O método de simulação compara o desempenho da edificação sob avaliação com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética da envoltória, disponíveis no site <[www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios)>, cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido.

O Brasil vem utilizando os programas de simulação desenvolvidos em outros países, onde os recursos financeiros para esse tipo de pesquisa são mais abundantes. Paralelamente, grupos de pesquisa desenvolveram seus próprios softwares para garantir projetos de edificações mais eficientes, como é o exemplo do regulamento técnico da qualidade, presente no PBE.

A simulação é aplicável para qualquer tipo de edifício, sendo ou não passível de avaliação pelo método prescritivo. No entanto, o método prescritivo é menos oneroso, e recomenda-se a simulação quando a simplicidade do método prescritivo não descreve apropriadamente as características do edifício que participam da eficiência energética. Assim, além da ventilação natural, são casos indicados para simulação: proteções solares projetadas para algum caso específico, como proteções com aletas que reflitam a luz para dentro do ambiente, grandes áreas envidraçadas com vidros de elevado desempenho térmico e luminoso, sistemas de condicionamento não previstos como pisos radiantes e especificidades do projeto de condicionamento de ar, como opções de automação ou resfriamento evaporativo (LAMBERTS; CARLO, 2010, p. 12).

Segundo o RTQ-C, o processo de avaliação do edifício através da simulação utiliza dois modelos do edifício: um modelo real, com todas as características do edifício avaliado; e um modelo de referência, similar ao modelo real, com características de acordo com o nível pretendido. O modelo de referência deverá passar pelo método prescritivo, para determinação de alguns parâmetros deste modelo, conforme o nível de eficiência pretendido.

Após determinadas as características dos dois modelos, real e de referência, os dois deverão ser simulados no mesmo programa de simulação, utilizando o mesmo arquivo climático. A partir dos resultados das simulações o projeto proposto,

## Capítulo 4 – Métodos de Avaliação do RTQ-C

modelo real, deve obter um consumo de energia anual igual ou menor que o edifício de referência para o nível pretendido. A tabela 7 apresenta o conteúdo descrito.

Tabela 7 – Síntese dos sistemas necessários para o modelo real para as etiquetas geral e parciais do RTQ-C.

Etiqueta	Modelo Real		
	Envoltória	Iluminação	Condicionamento de Ar
ENCE Geral	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto
ENCE Parcial - Envoltória	Características do Ed. Proposto	Igual ao modelo de referência	Igual ao modelo de referência
ENCE Parcial – Envoltória e Sistema de Iluminação	Características do Ed. Proposto	Características do Ed. Proposto	Igual ao modelo de referência
ENCE Parcial – Envoltória e Sistema de Condicionamento de Ar	Características do Ed. Proposto	Igual ao modelo de referência	Características do Ed. Proposto

Fonte: RTQ-C.

A metodologia de avaliação pelo método da simulação, compara os indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR), gerados pelo Energy Plus, dos ambientes de permanência prolongada da UH com os níveis de eficiência das tabelas do arquivo climático utilizado na simulação. As tabelas estão disponíveis no site [www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios).

Os indicadores de graus-hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada do projeto devem ser iguais ou menores que os níveis de eficiência das tabelas. Na tabela 8 é apresentado o valor indicado para a Zona Bioclimática 8, onde está inserido o estudo de caso.

Tabela 8 – Níveis de eficiência pelo método da simulação para a ZB8.

Cidade: Belém – PA		ZB 8	Tipo do arquivo: SWERA		
Eficiência	EqNum	GHR	CR (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	CA (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
A	5	$GHR \leq 8669$	$CR \leq 29,615$	-	$CA \leq -$
B	4	$8669 < GHR \leq 13148$	$29,615 < CR \leq 41,702$	-	$< CA \leq -$
C	3	$13148 < GHR \leq 18661$	$41,702 < CR \leq 33,294$	-	$< CA \leq -$
D	2	$18661 < GHR \leq 22611$	$33,294 < CR \leq 45,125$	-	$< CA \leq -$
E	1	$22611 < GHR$	$45,125 < CR$	-	$< CA$

Fonte: [www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios)

### 4.2.1 Software Energy Plus

O *Energy Plus* é um programa computacional gratuito, criado a partir dos melhores recursos dos programas *BLAST* e *DOE-2*, distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas (MELO; BARCELOS, s.d., p. 1).

O *Energy Plus* calcula a quantidade de energia necessária para que a

temperatura do ar ambiente interior se mantenha dentro dos limites aceitáveis. Como dados de entrada, o *Energy Plus* utiliza informações como localização geográfica, geometria e materiais constituintes do edifício, zonas térmicas, arquivos climáticos, equipamentos, iluminação, pessoas e padrões de uso. Como resultados, o programa fornece dados de saída relativos à temperatura exterior, temperatura interior em cada zona térmica, necessidades de energia para aquecimento e resfriamento e trocas de calor pelos elementos da envoltória.

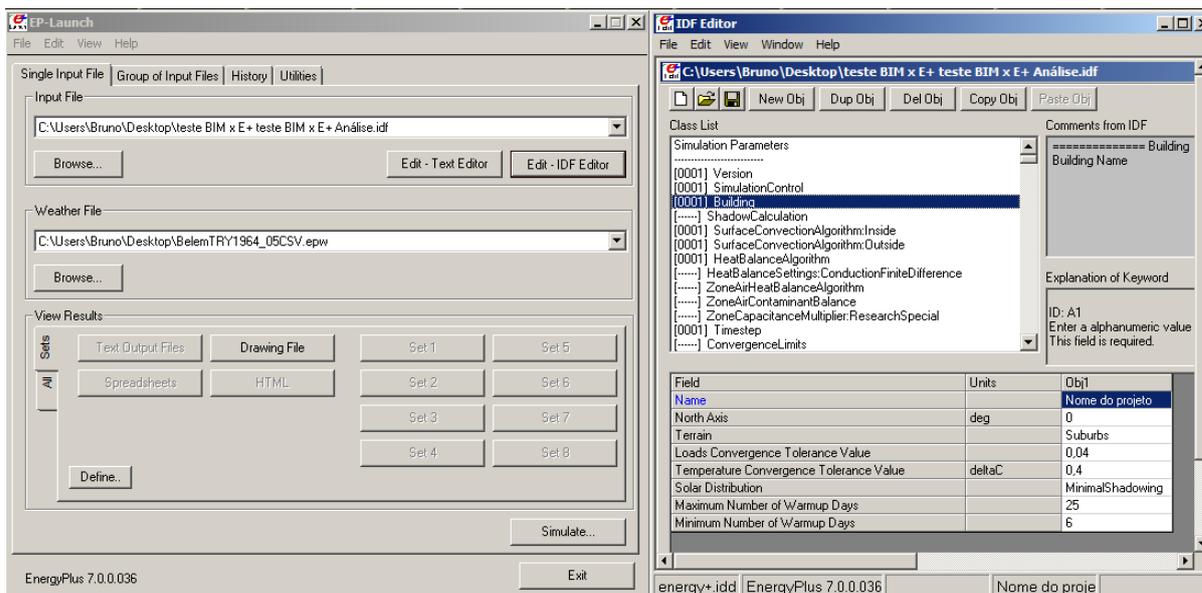
Batista et al (2005) defendem que programas como o *Energy Plus* são ferramentas valiosas para o projetista, exigindo, contudo, um conhecimento aprofundado a respeito das diversas variáveis envolvidas no balanço térmico de uma edificação. Isso se faz necessário para assegurar a correta interpretação dos resultados das simulações, auxiliando em sua posterior aplicação no projeto de edificações energeticamente eficientes e capazes de garantir a satisfação dos seus usuários (LAMBERTS et al, 2010c, p. 15).

Em Veloso (2012, p. 23), a ferramenta utilizada para realizar a avaliação do atendimento aos parâmetros mínimos exigidos pelo RTQ-C foi o programa *Energy Plus* na versão 5.0. A escolha do *Energy Plus* se deu pelo fato dele ser um programa que passou pela validação do BESTEST, da Standard 140 (ASHRAE, 2001), e de atender aos requisitos mínimos exigidos dos programas de simulação do RTQ-C, além de ter sido o programa utilizado para gerar as equações do Índice de Consumo do RTQ-C.

O software *Energy Plus* possui vários módulos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício, utilizando uma variedade de sistemas e fontes de energia, simulando o edifício e os sistemas em diferentes condições ambientais. A simulação é gerada retirando informações do modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético.

Apesar de ser um dos softwares de simulação térmica mais completo atualmente, o *Energy Plus* não possui uma interface amigável (figura 15). As interfaces são desenvolvidas por outras empresas, tendo como exemplo o *plugin* do *Energy Plus* para *skecth up* (Open Studio) e o software *Design Builder* que tem o *Energy Plus* integrado. Devido a isso, a grande dificuldade dos usuários está na construção geométrica da edificação e na inserção dos sistemas de condicionamento de ar.

Figura 15 – Interface do *Energy Plus*.



Fonte: Elaborada pelo autor

O programa *Energy Plus* apresenta algumas características que o colocam à frente de diversos programas de simulações termo-energéticas, como:

- Solução simultânea e integrada em que a resposta do prédio e o sistema primário e secundário estão acoplados;
- Intervalos de tempos definidos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variáveis para interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);
- Arquivos de entrada, saída e climáticas que incluem condições ambientais horárias ou sub reajustáveis pelo usuário;
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo;
- Condução de calor transiente através dos elementos do prédio como paredes, tetos, pisos, etc, usando funções de transferência; modelo de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade;
- Modelo de céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;
- Cálculo de balanço de calor de janelas que permite o controle eletrônico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite a identificação do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
- Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janela; controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, controle dos brilhos das luminárias e do efeito da iluminação artificial;
- Sistemas de condicionamento de ar configuráveis, que permitem ao usuário simular sistemas típicos comuns e sistemas poucos modificados, sem ter que recompilar o código fonte do programa, entre outras (VASCONCELLOS *et al*, 2012, p. 1).

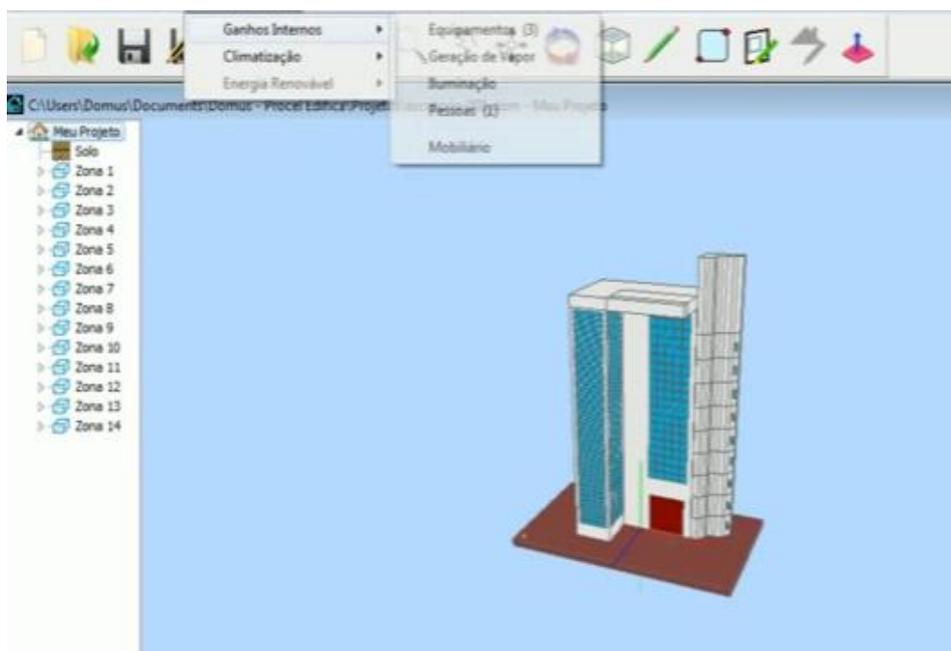
### 4.2.2 Software Domus Procel Edifica

O *software* Domus é um programa de simulação higrotérmica e energética de edificações desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Térmicos da PUC-PR que possui uma máquina de cálculo e uma interface própria elaborada de acordo com necessidades nacionais (MENDES, 2013). O seu desenvolvimento iniciou há 15 anos e está relacionado com 17 trabalhos de mestrado e 4 de doutorado e cerca de 60 trabalhos publicados em periódicos e congressos nacionais e internacionais (PUC/PR, s/d., p. 1).

Para enfrentar a dificuldade que os projetistas têm de trabalhar com os softwares de simulação de eficiência energética disponíveis no país, a Eletrobrás investiu no Domus Procel Edifica. O software considera as características climáticas do Brasil e as exigências do Procel Edifica, que faz avaliações do desempenho energético da envoltória do edifício no verão e no inverno, para quatro das oito regiões bioclimáticas do país, e para quatro regiões somente para o verão, onde não há inverno com temperaturas baixas. Além disso, a base de dados dos materiais construtivos do *software* brasileiro considera a temperatura e a umidade, o que os estrangeiros não fazem. “O calor de 40°C em Belém é diferente da mesma temperatura em cidades de outras regiões do país, porque lá é muito úmido, enquanto Brasília, por exemplo, tem o ar extremamente seco” (PERRONE, s.d., p. 3).

Segundo a equipe desenvolvedora do Domus, o software possui, atualmente, duas interfaces gráficas para entrada de dados geométricos. A segunda interface – dita aprimorada – foi inspirada no *Google Sketch-up* e na necessidade apontada por usuários. Foi um grande avanço, pois é uma interface CAD própria do programa e bem integrada com a máquina de cálculo e com parâmetros para cálculo do nível de eficiência energética (RTQ-C) e que permite fazer o que realmente é simulável. A figura 16 apresenta a interface do Domus.

Figura 16 – Interface do Domus.

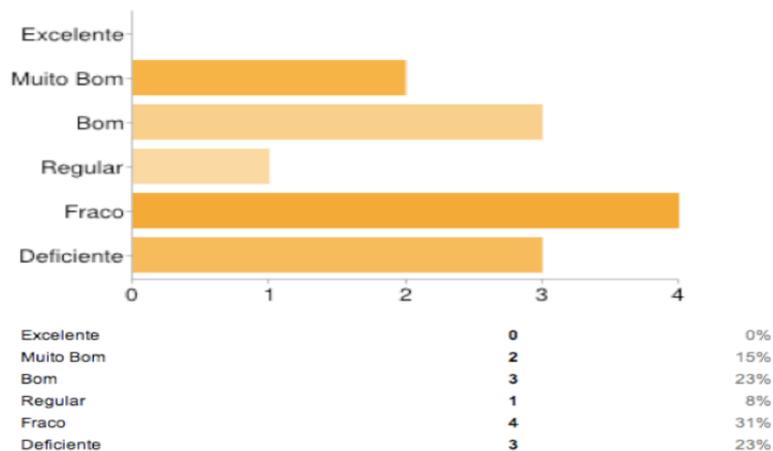


Fonte: domus.pucpr.br

Antes de ser feito o lançamento do *software* Domus-Procel Edifica, decidiu-se que o programa deveria passar por duas avaliações feitas por professores e pesquisadores de laboratórios brasileiros que integram a Rede Eletrobrás de Eficiência Energética em Edificações e por profissionais interessados em colaborar com o aperfeiçoamento do *software* em questão. Na primeira avaliação, iniciada em 10 de julho de 2012, houve a resposta de 13 pessoas que representaram seus grupos em diferentes regiões brasileiras (PERRONE; MENDES, 2013, p. 1).

A avaliação apontou baixo desempenho do software no quesito “Inserção de Dados Geométricos” (figura 17). O software não lê arquivos em 3 dimensões de outros programas, o usuário precisa criar, o que torna um retrabalho além do período de assimilação para o domínio da ferramenta computacional.

Figura 17 – Pesquisa sobre a inserção de dados geométricos no Domus.



Fonte: domus.pucpr.br

O Domus – Procel Edifica incorpora características do programa UMIDUS1, aumentando seus potenciais de simulação higrótérmica. Uma das características especiais deste software é sua aplicação didática com interface amigável. Dentre diversos benefícios da ferramenta computacional, tal como suporte didático a alunos de cursos de Engenharia e de Arquitetura, os seguintes tópicos podem ser destacados:

- Análise de diferentes estratégias para redução de consumo de energia em edificações, lembrando-se que estas são responsáveis por cerca de 48% da energia elétrica total consumida no País;
- Suporte técnico a profissionais de planejamento energético no projeto, construção e avaliação de programas de conservação de energia;
- Suporte a projetos de habitações populares de baixo custo e de baixo consumo de energia;
- Criação de projetos de edificações "verdes" e energeticamente eficientes, melhorando a saúde e a produtividade de ocupantes;
- Análise de acoplamento com sistemas de climatização, possibilitando uma avaliação global de cada uso final de energia em edificações;
- Aperfeiçoamento de projetos de sistemas de climatização com o uso de simulação horária e análise de alternativas em regime transiente. Normalmente, os projetos são feitos com base em condições críticas e sem levar em conta a inércia térmica de componentes – o que faz com que equipamentos sejam superdimensionados e, com o tempo, com os problemas de controle, gastem muito mais energia do que deveriam;
- Inclusão de arquivos de saída para análise de custos a partir da estrutura tarifária estabelecida pela ANEEL;
- Obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de acordo com os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (DOMUS, 2013, p. 2).

A respeito da qualidade das simulações dos Domus e *Energy Plus*, a dissertação de Veloso (2012) fez um comparativo de desempenho das simulações entre os dois softwares e concluiu que, com base nos resultados encontrados na análise de temperaturas internas, os dois programas apresentam boa correlação, o mesmo acontecendo com os graus-hora diários (pequena diferença), apresentando uma diferença máxima nos graus-hora de resfriamento de 3,2% de superestimação do Domus em relação ao *Energy Plus* na monozona com janela. Nos graus-hora de aquecimento, as diferenças foram menores que os dos graus-hora de resfriamento, apresentando uma diferença máxima de 0,3% entre os programas. Por fim, na comparação dos ganhos térmicos das componentes construtivas, muitas superfícies apresentaram comportamento próximo entre os programas, mas algumas, principalmente aquelas em contato com outra superfície, apresentam resultados dispersos.

No capítulo seguinte a tecnologia BIM será conceituada para o melhor entendimento de seus processos para posteriormente se verificar sua viabilidade de inserção na etiquetagem nacional para sanar as dificuldades encontradas nos softwares nacionais apontadas neste capítulo.

## ***Capítulo 5 - Tecnología BIM***

---

### 5.1 ASPECTOS GERAIS

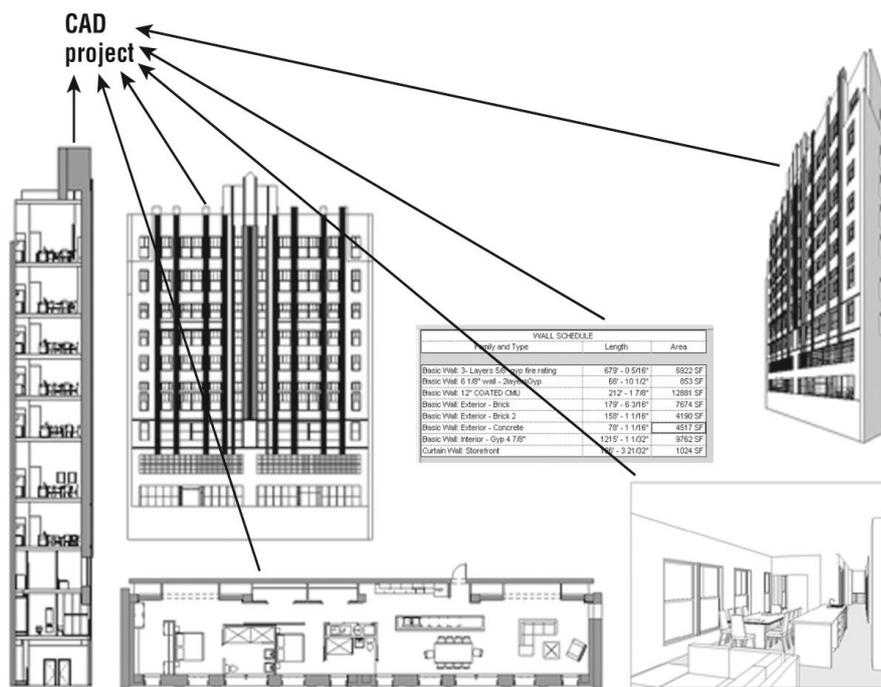
A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) é composta por diversas ferramentas que criam informações e documentações coordenadas, permitindo trabalhar com maior precisão os elementos para prever desempenhos, aparência e custos do edifício. O BIM abrange geometria, relações espaciais, indicadores geográficos, quantidades e propriedades de componentes e produtos empregados na obra. O modelo do edifício realizado com programas BIM pode conter todos os dados sobre a construção, seu ciclo de vida, operação, processos construtivos e instalações (FERREIRA, 2007).

As ferramentas BIM são muito importantes em todas as etapas do projeto. O modelo de construção oferece uma estrutura geral para criar os detalhes necessários. Ao invés de desenhar cada um dos detalhes como uma série de linhas, é possível criar vistas do modelo, que formam a base para o detalhamento. As anotações e observações são adicionadas para completar e explicar os detalhes; o modelo de construção serve como um ponto de partida e serve também para verificar a consistência. Como os modelos são dinâmicos, todas as modificações realizadas são automaticamente refletidas nos detalhamentos derivados.

Apesar de que o produto da etapa de documentação costuma ser um conjunto de folhas de plantas impressas, o modelo de construção pode ser compartilhado com a equipe de entrega do projeto para automatizar o levantamento de quantidade e a checagem de interferências e conflitos. Esta poderosa aplicação do processo do projeto BIM requer abordagens inovadoras na organização das equipes de projeto e no compartilhamento de riscos.

A figura 18 apresenta a sistemática da tecnologia CAD tradicional, onde os desenhos são feitos um de cada vez e à medida que o desenho sofre alterações, o projetista precisa coordenar todo o conteúdo correspondente.

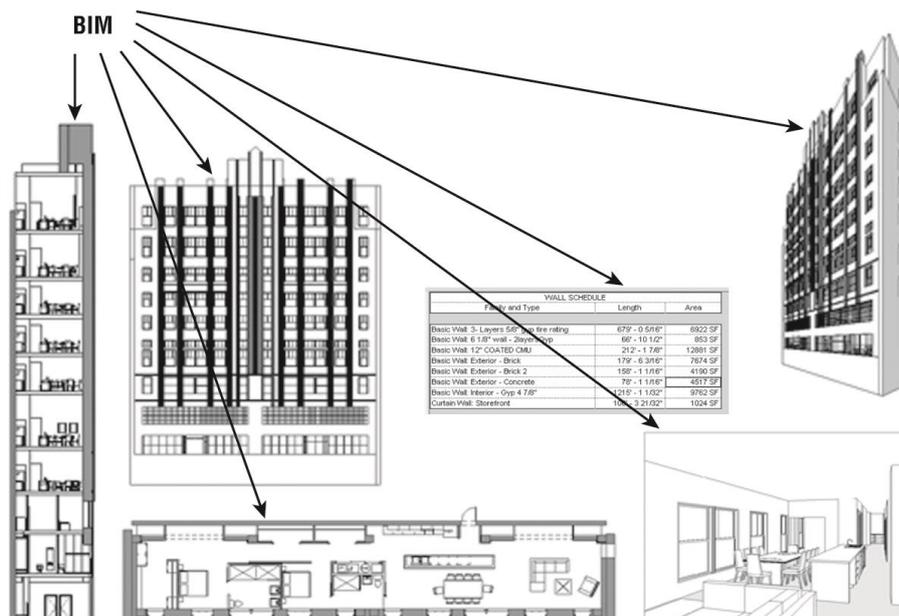
Figura 18 – Sistemática da Tecnologia CAD tradicional.



Fonte: Arquivo pessoal

A figura 19 apresenta a sistemática da tecnologia BIM, onde trabalha-se com um único modelo 3D e as demais vistas são geradas e coordenadas automaticamente.

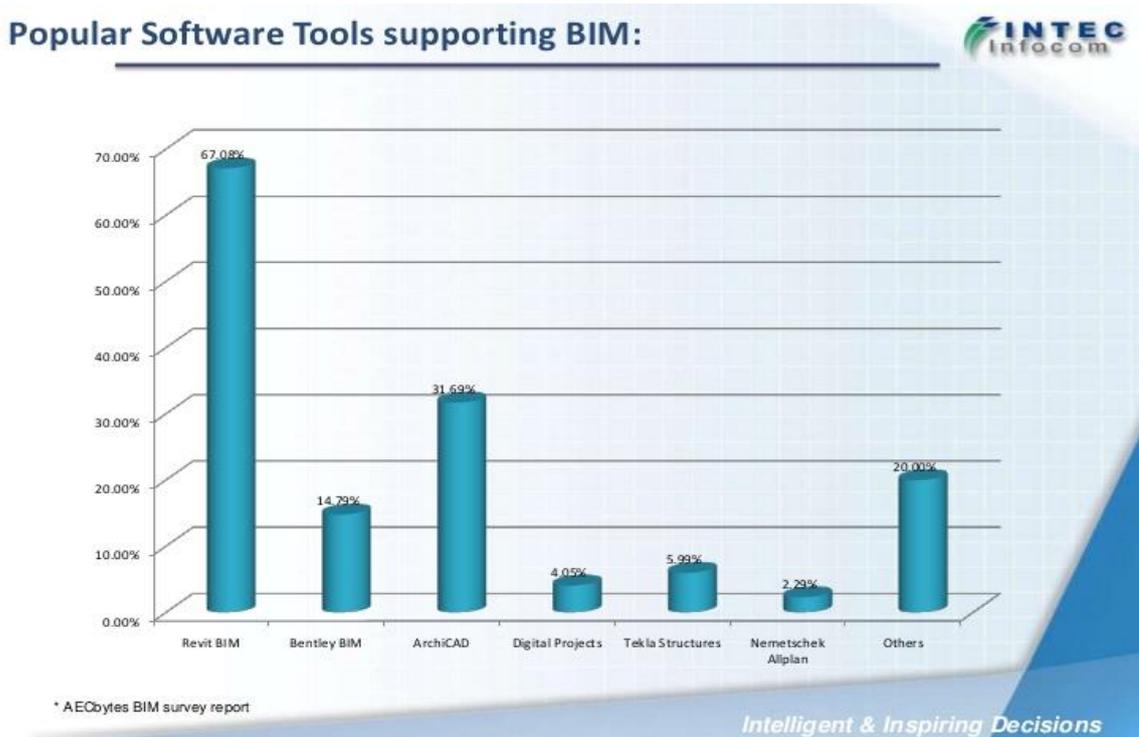
Figura 19 - Sistemática da Tecnologia BIM.



Fonte: Arquivo pessoal

A implementação de ferramentas BIM, possibilitou um grande avanço na apresentação de projetos entre os membros das equipes e no gerenciamento de informações necessárias para descrever e coordenar as atividades do projeto e da construção. A figura 20 apresenta os softwares baseados na Tecnologia BIM e sua respectiva popularidade.

Figura 20 – Softwares BIM no mercado atual voltados para construção.



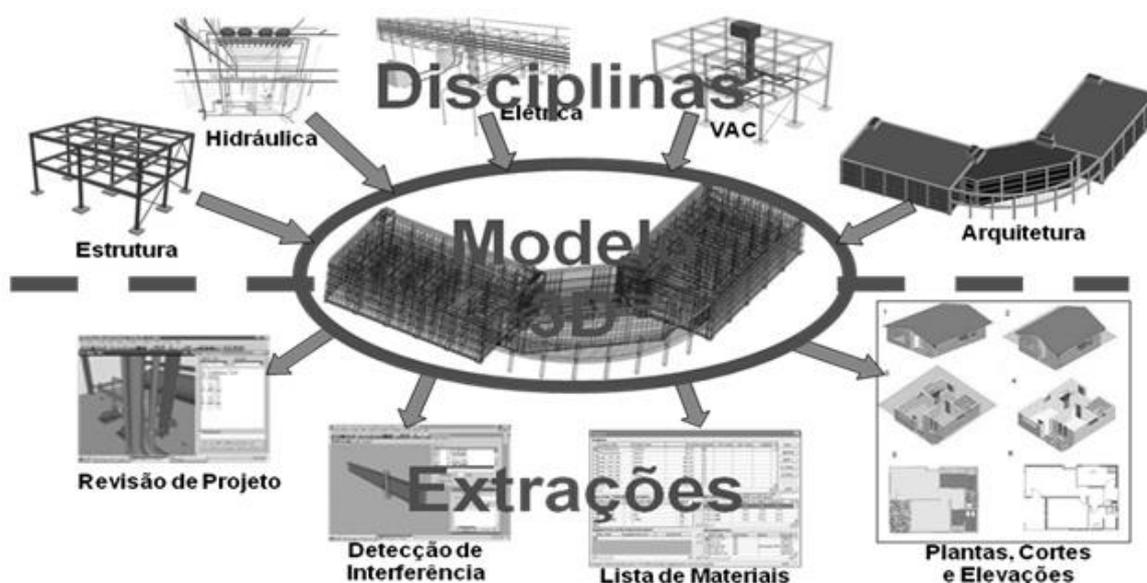
Fonte: Arquivo pessoal

Por muito tempo, os profissionais de arquitetura, engenharia e construção dependeram de um processo de trabalho baseado em duas dimensões, com projetistas que trabalhavam focados em uma única disciplina ou função do projeto. O resultado das decisões de projeto desses projetistas era passado sequencialmente para a disciplina seguinte. Esse processo sequencial e isolado criava muitas barreiras para uma colaboração eficiente e levava muitas vezes a mal-entendidos e falhas que demandavam correções dispendiosas no trabalho de campo.

Nos últimos anos, os projetistas da comunidade de AEC (arquitetura, engenharia e construção) adotaram uma nova metodologia: o uso das ferramentas de software e dos modelos de informação da construção BIM como base para um processo colaborativo de desenho, voltado para satisfazer requisitos de projetos cada vez mais complexos e exigentes. Por meio do uso da metodologia BIM, as equipes de projeto podem entregar projetos com pontualidade, alta qualidade e maior eficiência (AUTODESK, 2010b).

Muito embora a transição do uso de desenhos manuais para o uso de desenho assistido por computador tenha aprimorado a eficiência do processo, a transição para uma abordagem de projeto centralizada em BIM altera fundamentalmente o processo e o fluxo de trabalho de AEC, revolucionando o modo como as informações de projeto são compartilhadas, coordenadas e revisadas. BIM está provando ser uma tecnologia revolucionária, que influencia os fluxos de trabalho, os papéis dos membros da equipe multidisciplinar, os métodos de entrega e os resultados do projeto. A figura 21 apresenta a multidisciplinaridade da tecnologia BIM em seus processos.

Figura 21 – Multidisciplinaridade do modelo BIM.



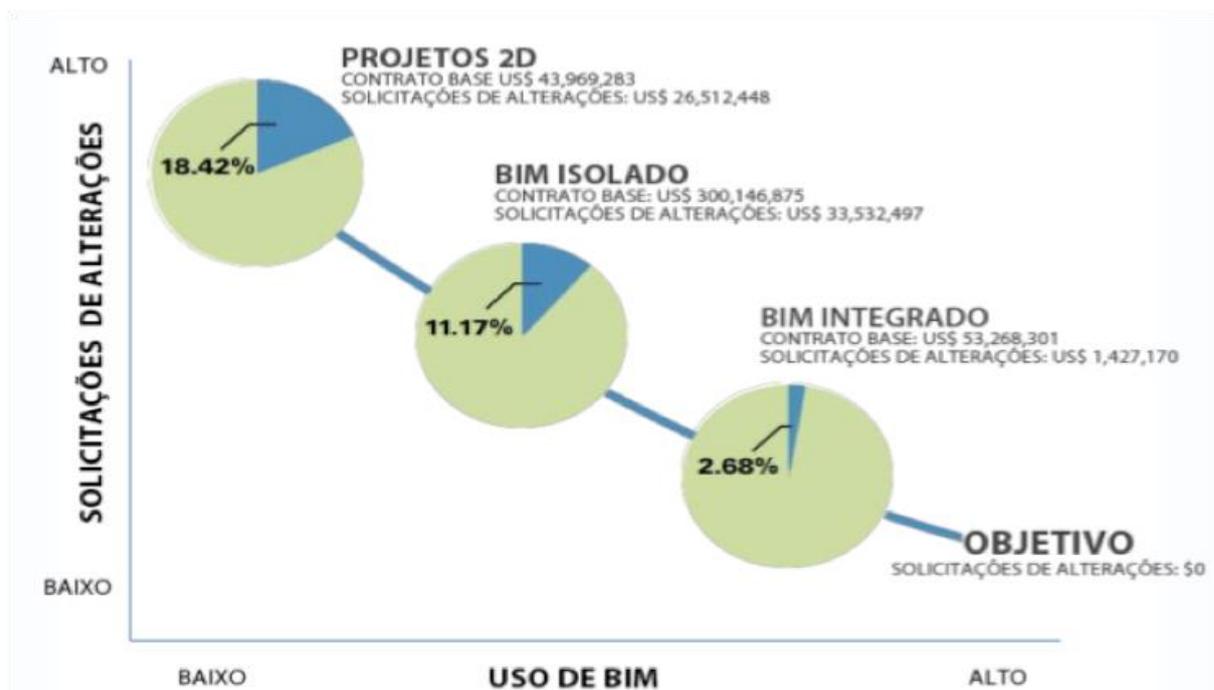
Fonte: EA+STUDIO

Na abordagem de projeto baseada em BIM, o fluxo de trabalho e a produção de cada disciplina do projeto traz benefícios locais que são maiores do que os custos para implementar o BIM, e são suficientes para justificar tal mudança. Contudo, ao permitir que toda a equipe de projeto participe da colaboração multidisciplinar, os impactos são muito maiores.

É certo afirmar que a compatibilização em 2D exige que o coordenador de projetos ou a pessoa responsável pela compatibilização dos projetos tenha mais experiência para identificar as possíveis falhas que podem ocorrer no projeto, uma vez que vários elementos, como a altura dos pontos elétricos e hidráulicos, entre outros exemplos, não são claramente apresentados nos projetos. Já os modelos 3D permitem uma visualização mais facilitada das interferências (MISZURA, 2013, p. 10).

Os gastos prévios necessários para adotar um fluxo de trabalho baseado em BIM são superados facilmente pelas vantagens obtidas ao longo do projeto (figura 22). Esta abordagem integrada para coordenar as atividades de desenho, análise e construção é fundamental para manter o perfil competitivo da equipe.

Figura 22 – Estudo mostrando os ganhos financeiros com o BIM.



Estudos realizados por J.C. Cannistraro sobre 408 projetos avaliados em US\$ 559 milhões mostram como, de uma forma geral, o BIM ajuda a não desperdiçar dinheiro quando os trabalhos se tornam mais colaborativos.

Fonte: Arquivo pessoal

### 5.2 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO E DIFUSÃO DO BIM NO BRASIL

O Projeto de Implantação e Difusão da Organização da Informação da Construção (BIM) busca viabilizar instrumentos para execução de trabalhos ligados a criação de uma base nacional de informações da construção civil, tendo por conteúdo as representações dos elementos construtivos, suas representações simbólicas, geométricas, componentes, propriedades e valores, bem como, outras informações necessárias para impulsionar o BIM no mercado brasileiro.

Grandes construtoras no Brasil já estão investindo na implementação do BIM nos seus projetos multidisciplinares. Porém, esta não é uma tarefa simples e exige investimento em equipamento, *software* e treinamento da equipe. Uma vez que a estratégia é implementada pode suprir esses gastos com os benefícios, a curto prazo.

Para atingir a sua plena potencialidade, o BIM necessita de um sistema que articule o setor fornecedor de produtos para construção com os projetistas, os

responsáveis pelos suprimentos e demais envolvidos nas obras e/ou edificações em geral. Cabe aos fornecedores disponibilizarem representações virtuais de seus produtos nos padrões adequados e com conteúdo de informação condizente com as funções dos aplicativos BIM, além de garantir o desempenho destes produtos conforme suas respectivas especificações, normas e regulamentos aplicáveis (ISO 15965). O desenvolvimento de um repositório de componentes BIM pretende facilitar a concepção e a distribuição de produtos da indústria nacional, em particular das Pequenas e Médias Empresas.

Além de uma ampla oferta destes componentes, o sistema dará confiabilidade na origem das informações e consistência interna de dados, dando segurança aos usuários e grande visibilidade aos fornecedores. Embora existam sistemas similares no mercado internacional, nenhum deles foi construído de modo a contemplar os requisitos nacionais específicos, tais como: – Normas BIM – Norma ABNT NBR 15965:2011 – Sistema de Classificação da Informação da Construção; – Coordenação Modular; – Desempenho de Edificações (NBR 15575); – Eficiência Energética (PROCEL EDIFICA e CASA AZUL CAIXA ECONÔMICA); e – Sustentabilidade. A figura 23 apresenta as iniciativas para a difusão do BIM no Brasil.

Figura 23 - BIM nos projetos e obras públicas.



Fonte: Dep. de Engenharia do Exército brasileiro

- Desenvolvimento da modelagem e implantação da biblioteca de componentes da construção civil, disponibilizando a biblioteca em portal da internet com acesso público e gratuito;
- Os objetos devem ser classificados conforme a sua função na edificação de acordo com a Norma ABNT NBR 15.965:2011 - Sistema de Classificação da Informação da Construção além dos requisitos das Normas de Coordenação Modular, Desempenho de Edificações (NBR 15.575); Normas de Eficiência Energética (PROCEL EDIFICA) e outras relacionadas à Sustentabilidade;
- Selecionar e priorizar o conjunto dos produtos (elementos, componentes e sistemas) da Construção mais utilizados nos projetos habitacionais do MCMV como também atender ao conjunto dos produtos utilizados nos projetos de construção do Exército Brasileiro;
- A inserção dos componentes, embora a cargo e sob a responsabilidade dos fornecedores, deve ser mediada por uma equipe técnica ou por sistemas automatizados que farão a classificação e aferição de conteúdo de cada objeto virtual. A inserção também poderá ser proposta por projetistas independentes.

No capítulo a seguir, será realizado um estudo de caso utilizando a Tecnologia BIM em suas várias etapas projetuais, em todas as disciplinas envolvidas, analisando a aplicabilidade nos projetos com diretrizes sustentáveis e etiquetagem brasileira, a fim de aprimorar seus processos e propor novo método para facilitar a etiquetagem, que é composta por muitas variáveis e equações, o que dificulta a implementação deste serviço pelos escritórios de projeto.

***Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto  
adotando diretrizes sustentáveis com o  
auxílio da Tecnologia BIM***

---

## ***Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM***

---

Para o estudo de caso foi realizado o projeto arquitetônico e complementares de uma residência, utilizando o conjunto de ferramentas BIM, seguindo as estratégias de projeto sustentável. Posteriormente, será identificado o grau de compatibilidade e contribuição que esta tecnologia traz para projetos sustentáveis e etiquetagem brasileira, analisando o método mais viável para a utilização do mercado nacional.

A figura 24 apresenta o objeto de estudo de caso, projeto realizado para ser situado em Belém-PA.

Figura 24 – Perspectiva do objeto de estudo de caso.



Fonte: Elaborada pelo autor

O quadro sinóptico 1 apresenta as principais estratégias sustentáveis realizadas no estudo de caso em cada disciplina envolvida para se chegar a um projeto com maior eficiência energética. Com o projeto concluído, serão realizados testes de compatibilidade do BIM com a etiquetagem do PROCEL.

Quadro sinóptico 1 – Iniciativas sustentáveis realizadas no estudo de caso.

**Projeto de Arquitetônico**



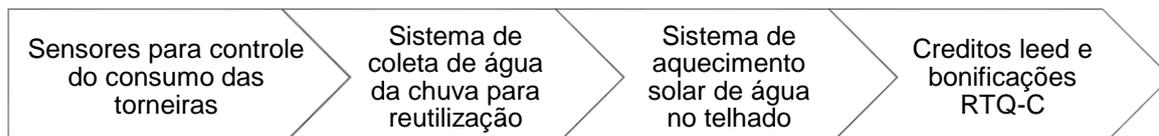
**Projeto de iluminação**



**Projeto de climatização**



**Projeto hidro sanitário**



**Coordenação do projeto**



**Testes de compatibilidade do BIM com a etiquetagem do PROCEL**



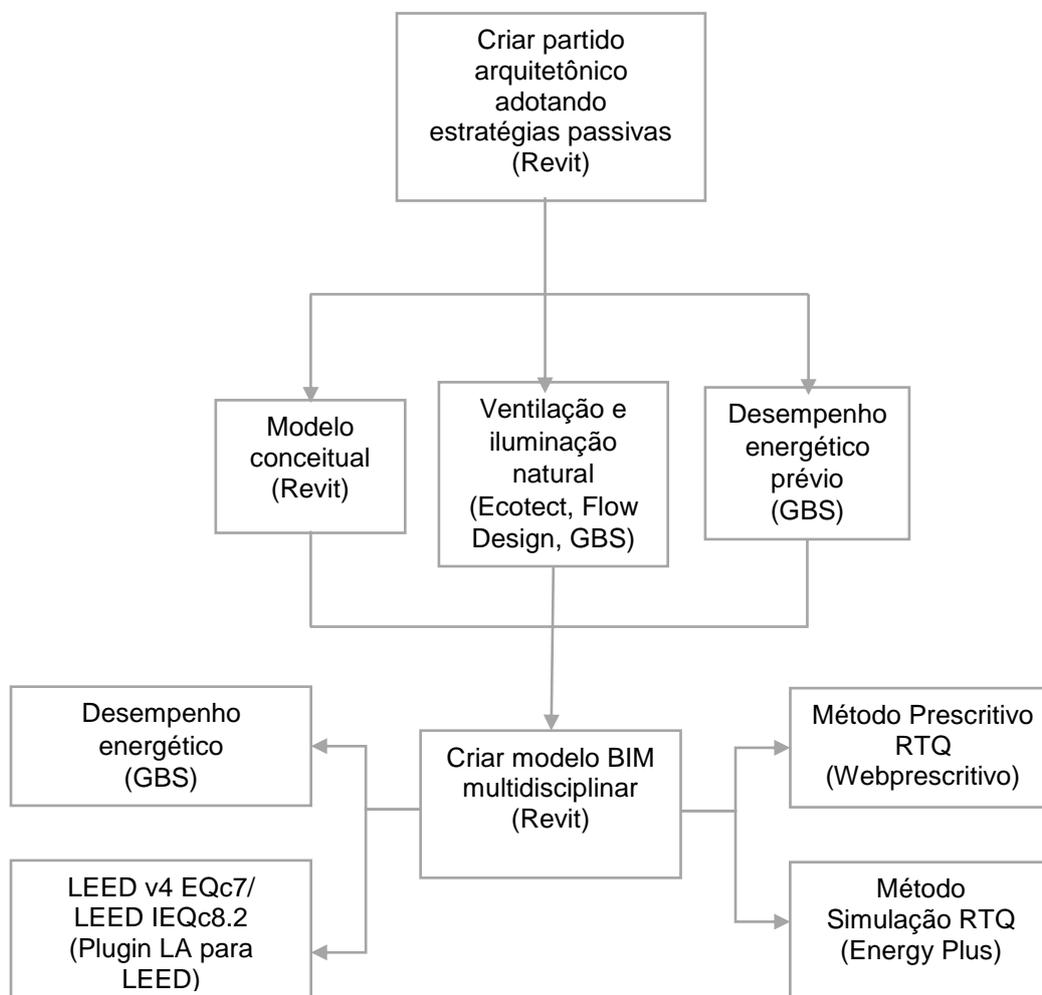
Análise de compatibilidade do método prescritivo do RTQ com o BIM



Análise de compatibilidade do método simulação do RTQ com o BIM

A seguir é apresentado o organograma com o método proposto para o desenvolvimento das etapas apresentadas no quadro anterior com ferramentas BIM:

Organograma 1 – Método de projeto sustentável utilizando a tecnologia BIM.



Fonte: Elaborada pelo autor

## 6.1. PROJETO ARQUITETÔNICO

### 6.1.1 Estudo preliminar

#### a) Programa de necessidades

O projeto trata de uma residência unifamiliar em um condomínio fechado no município de Belém-PA. Em sua elaboração, tomou-se como referência a **“MORFOLOGIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO POR ELVAN SILVA”** (Anexo 1).

O programa de necessidades demanda abrigar 4 pessoas com a possibilidade de receber hóspedes. A casa possui 2 pavimentos, sendo os setores social e serviço

no térreo e íntimo no superior. O projeto comporta 2 carros com garagem coberta, dentro da área de projeção da casa.

Considerou-se a aplicação de critérios relacionados à eficiência energética da edificação, adequadas ao clima de Belém como:

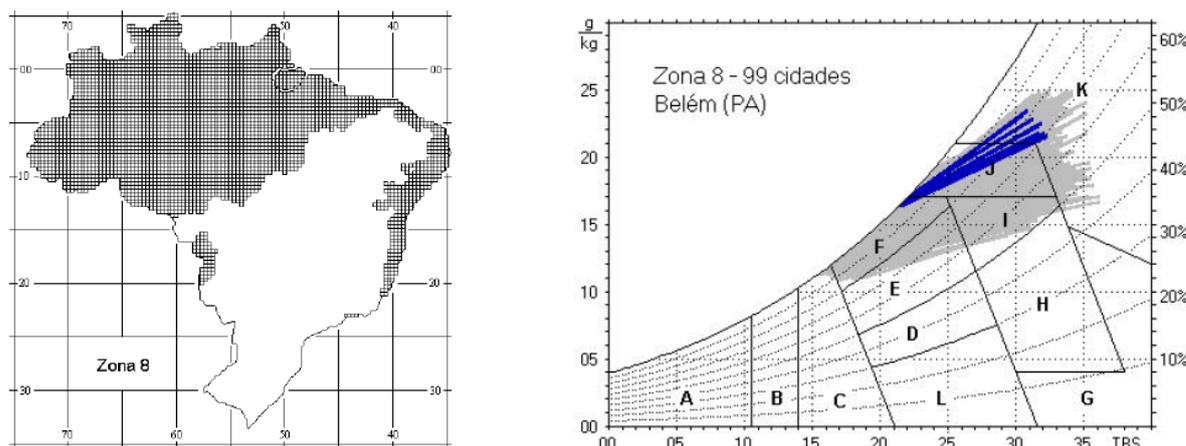
- Orientação da edificação definida em função das condições de insolação e ventilação do entorno;
- Aproveitamento da ventilação cruzada, favorecida pela disposição das esquadrias em fachadas opostas em cada ambiente;
- Emprego de dispositivos de sombreamento nas aberturas: proteções solares projetadas de acordo com as condições de exposição solar de cada fachada, e venezianas incorporadas às esquadrias;
- Concentração da área molhada no lado oeste (cozinha, área de serviço e banheiro), privilegiando os ambientes de maior permanência com a localização no lado leste;
- Emprego de materiais com baixa condutividade térmica nas paredes externas e coberturas
- Forro ventilado e com manta térmica, que mantém a temperatura agradável no interior da edificação;
- Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis (descarga do vaso sanitário, lavagem de roupas e de piso);
- Uso de coletores solares para aquecimento de água para o banho;
- Arborização e aproveitamento adequado da área permeável, objetivando o conforto térmico;
- Automação da iluminação artificial com lâmpadas dimerizáveis e emprego de sensores de presença em áreas de pouca utilização;
- Geração de energia solar fotovoltaica interligada à rede.

#### **b) Condicionantes locais**

Em um projeto bioclimático, é importante explorar as condições de insolação, vegetação, materiais, cobertura, ventilação entre outros e, assim, economizar em energia de modo significativo, minimizando ou até eliminando os sistemas de climatização e iluminação artificial.

O passo inicial para nortear a concepção arquitetônica partiu da avaliação bioclimática de Belém-PA, a fim de indicar as estratégias mais eficientes e adequadas com relação às variáveis climáticas. Para isto, foi consultada a NBR 15220, onde a região Norte foi classificada no Mapa de Zoneamento como Zona 8, conforme apresentado na figura 25.

Figura 25 – Zoneamento bioclimático que o estudo de caso está inserido.



Fonte: NBR 15220

A cidade de Belém, localidade do estudo de caso, tem característica climática quente e úmida. Por esta razão, apresenta uma baixa amplitude térmica e um alto teor de umidade relativa do ar. As temperaturas são elevadas durante todo o ano, no qual são percebidas apenas duas estações inverno, que é o período mais chuvoso, e verão com uma quantidade de chuva menor.

Os ventos são considerados fracos, com predominância nordeste, radiação difusa muito intensa e uma alta nebulosidade e índice pluviométrico. Belém se enquadra nas estratégias bioclimáticas direcionadas à Região Norte estabelecidas na NBR 15220. A tabela 9 apresenta o conteúdo descrito.

## **Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM**

Tabela 9 - Estratégias bioclimáticas direcionadas à Região Norte.

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

<b>Vedações externas</b>
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
<p>Notas:</p> <p>1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas.</p> <p>2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências:</p> <p>a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e</p> <p>b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas.</p> <p>Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.</p>

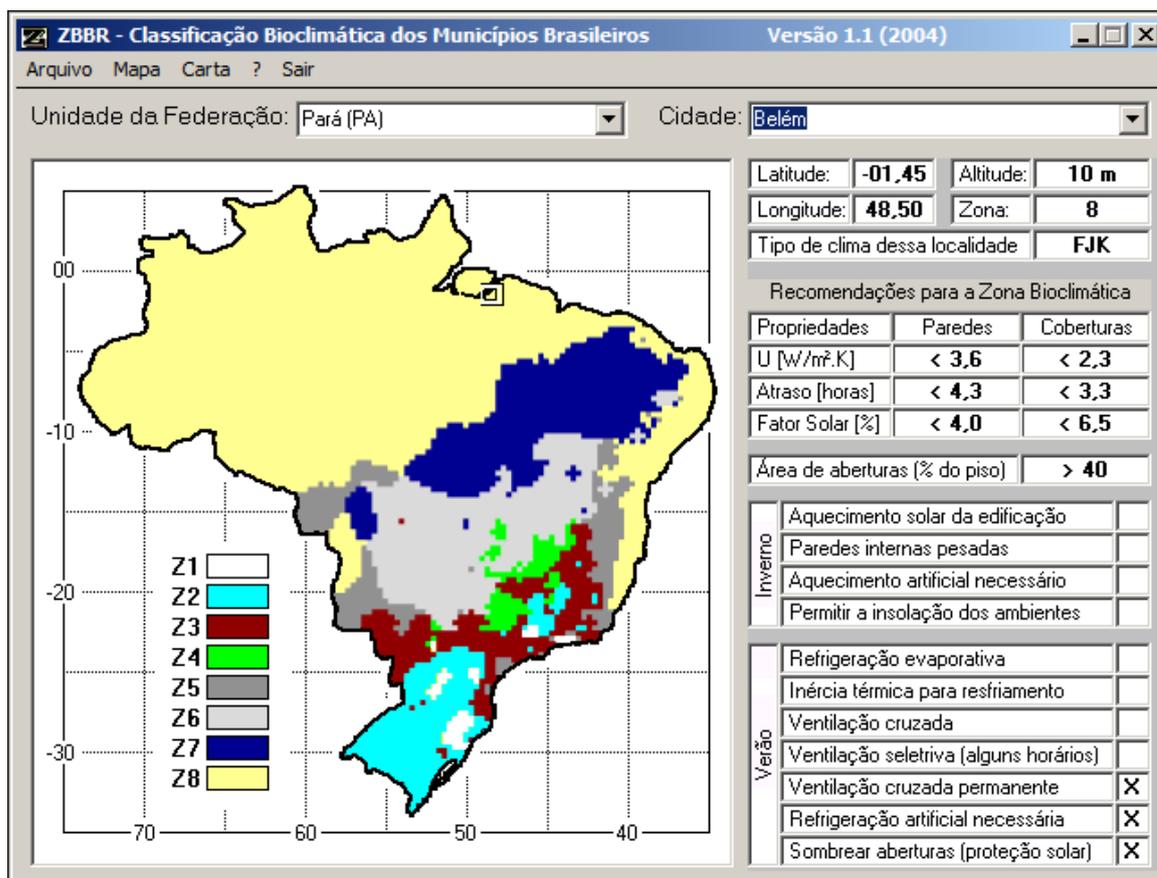
  

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	<p>J) Ventilação cruzada permanente</p> <p>Nota:</p> <p>O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.</p> <p>O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil J--&gt;Zona de Ventilação (ver anexo B (p.14)).</p>

Fonte: NBR 15220

A Classificação Bioclimática de Belém foi criada com o auxílio do software ZBBR, que divide as regiões brasileiras em zonas, mostrando informações e recomendações para enquadrar o projeto nas diretrizes de eficiência energética conforme o clima em questão. A figura 26 apresenta recomendações projetuais, que dizem respeito ao desempenho térmico de materiais, estratégias passivas e ativas de projeto.

Figura 26 – Classificação Bioclimática da cidade de Belém com programa ZBBR.

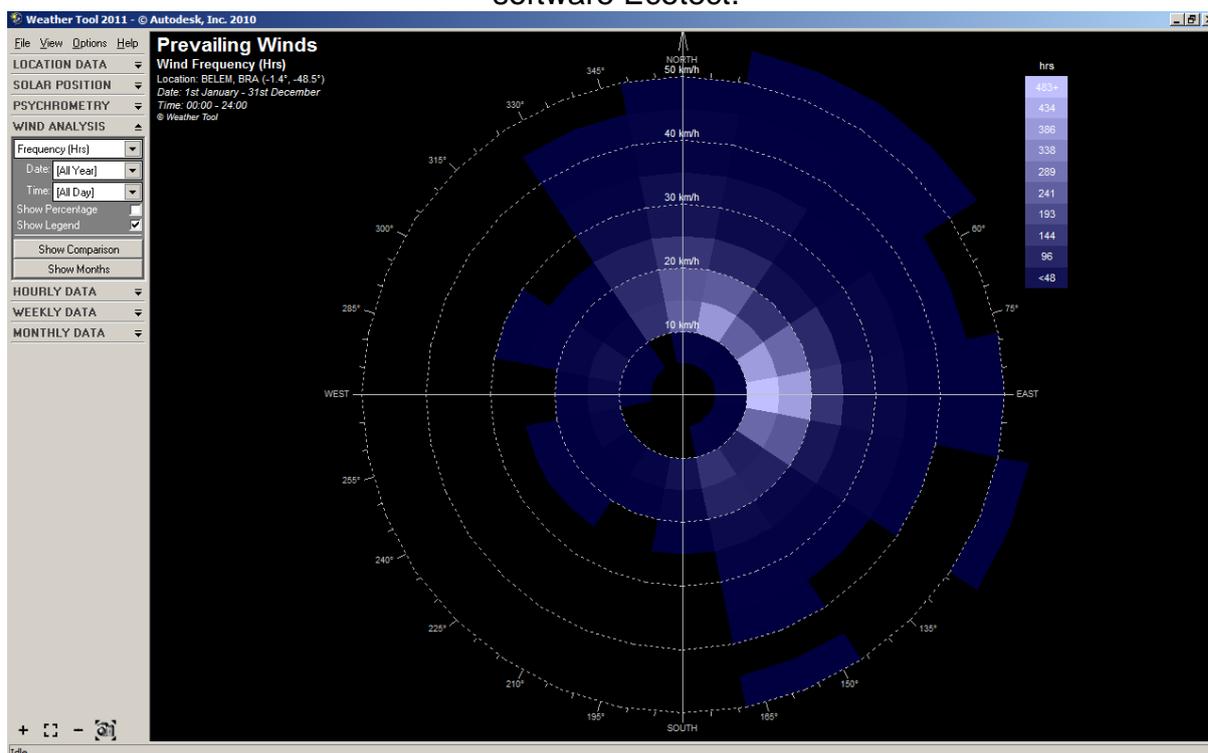


Fonte: Elaborada pelo autor

### c) Ventos predominantes

Para uma análise da ventilação natural da região, foi realizado o diagrama de vento que ajuda a visualizar os padrões de vento em um local determinado por arquivo climático. São utilizados para melhor informar as decisões de projeto. A “Rosa dos ventos” é a forma mais comum de apresentação de dados de vento, e pode ser medido em uma “distribuição de velocidade” ou a “distribuição de frequência”. A Rosa dos Ventos pode ser uma média anual, ou pode ser feita para épocas específicas. Algumas até mesmo incluem informações sobre a temperatura do ar. No diagrama da figura 27 criado com auxílio do software, a predominância dos ventos em Belém é indicada como Nordeste; quanto mais claro o azul maior a incidência e velocidade.

Figura 27 – Diagrama anual mostrando os ventos predominantes em Belém no software Ecotect.



Fonte: Elaborada pelo autor.

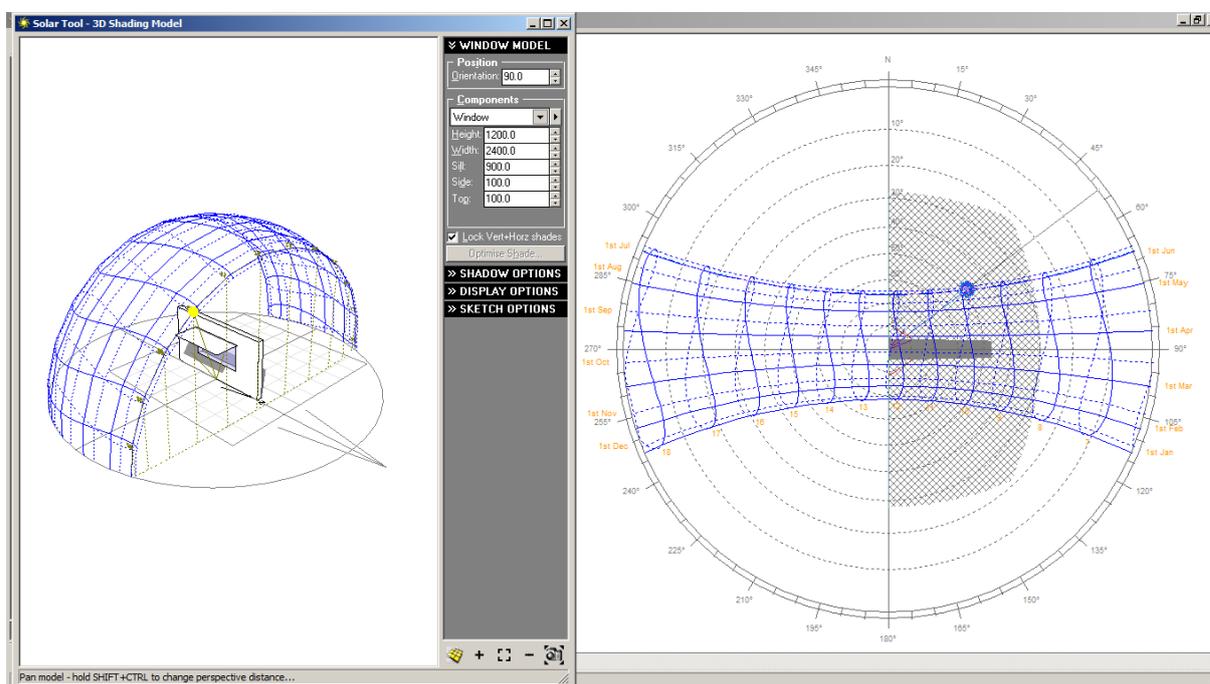
#### d) Percurso Solar

Em seguida, configurou-se a orientação do norte verdadeiro do projeto, que diz respeito ao posicionamento do terreno no mapa. Esta informação é importante para prever a captação de recursos naturais como iluminação e ventilação, e foi elaborada utilizando o software Ecotect.

Na sequência, foram criados Diagramas de caminho do Sol, que podem dizer sobre como o Sol vai impactar em determinado local ao longo do ano. Diagramas de caminho do Sol estereográficos são usados para ler o azimute solar e a altitude ao longo do dia e do ano para uma determinada posição na Terra. Eles podem ser comparados a uma fotografia do céu, tomada a vista para cima em direção ao zênite, com uma lente de 180° olho de peixe.

Os caminhos do Sol em diferentes épocas do ano podem ser projetados sobre este hemisfério achatado para qualquer local na Terra. A figura 28 apresenta a carta solar aplicada à fase de análise inicial para ter uma ideia da projeção das sombras para um melhor posicionamento dos componentes projetuais do estudo de caso.

Figura 28 – Carta mostrando a variação do sol durante o ano de 22,5 graus no software Ecotect.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 6.1.4 Anteprojeto

### a) Partido arquitetônico

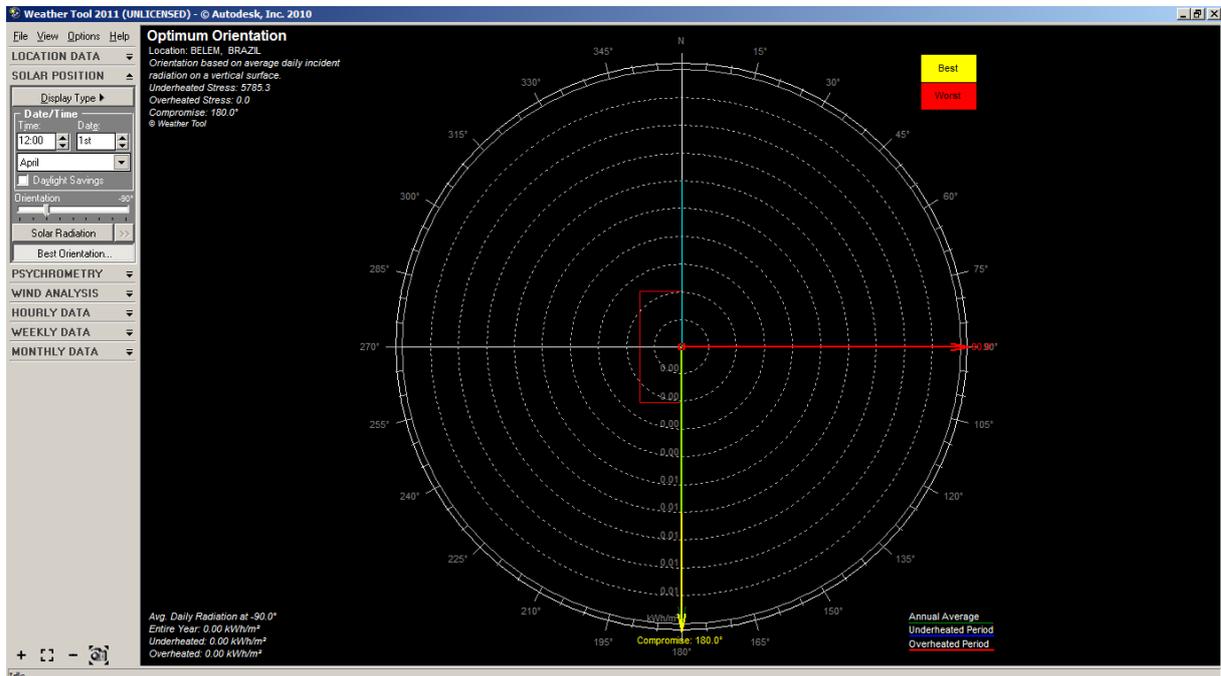
Para potencializar as estratégias passivas e a eficiência energética foi necessário identificar o melhor direcionamento da construção, de acordo com o norte verdadeiro, para um aproveitamento do Sol nascente e ventos predominantes. Para isso, foi elaborada uma carta utilizando o software Ecotect.

Os graus de rotação da carta se baseiam numa rotação no sentido horário do edifício. Dependendo da forma, tamanho, e distribuição de um edifício, alterar a orientação pode impactar a quantidade de ganho solar e ventos e outros aspectos climáticos que interagem com o envelope do edifício. Isso, então, afeta as demandas de condicionamento de ar.

A sugestão dada através da análise de melhor orientação da construção, apresentada na figura 29, teve importante atuação na análise da melhor disposição da forma, pois indicou a maior área de contato para o nascente, além dos ventos predominantes.

## Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM

Figura 29 – Determinação do melhor posicionamento em amarelo e o pior em vermelho no software Ecotect.

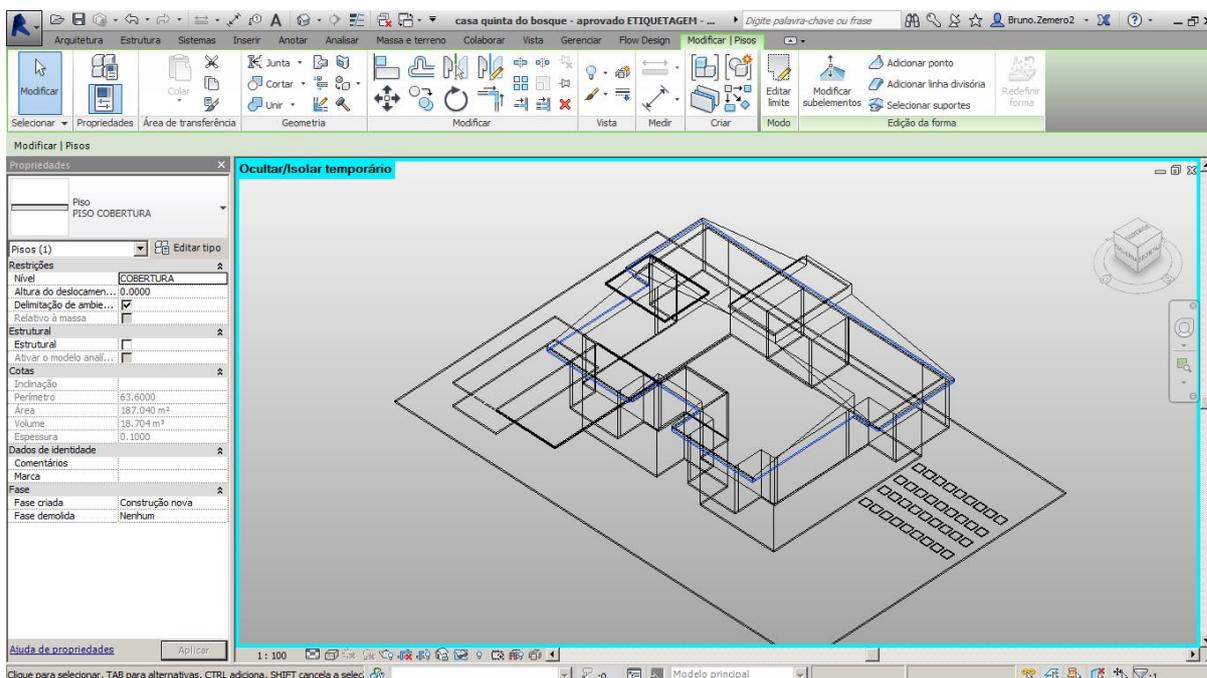


Fonte: Elaborada pelo autor

A forma da construção é um dos fatores principais que influenciam no consumo de energia. Isto inclui sua área, volume, layout, orientação, áreas envidraçadas, e sombreamento.

O partido arquitetônico foi desenvolvido com volumetria cúbica com subtração adjacente na região central do projeto, tirando a rigidez e criando uma interação da área externa com a casa, canalizando os ventos e inibindo a incidência de radiação solar direta no recorte proposto, conforme apresentado na figura 30.

Figura 30 – Partido arquitetônico no software Revit (BIM).



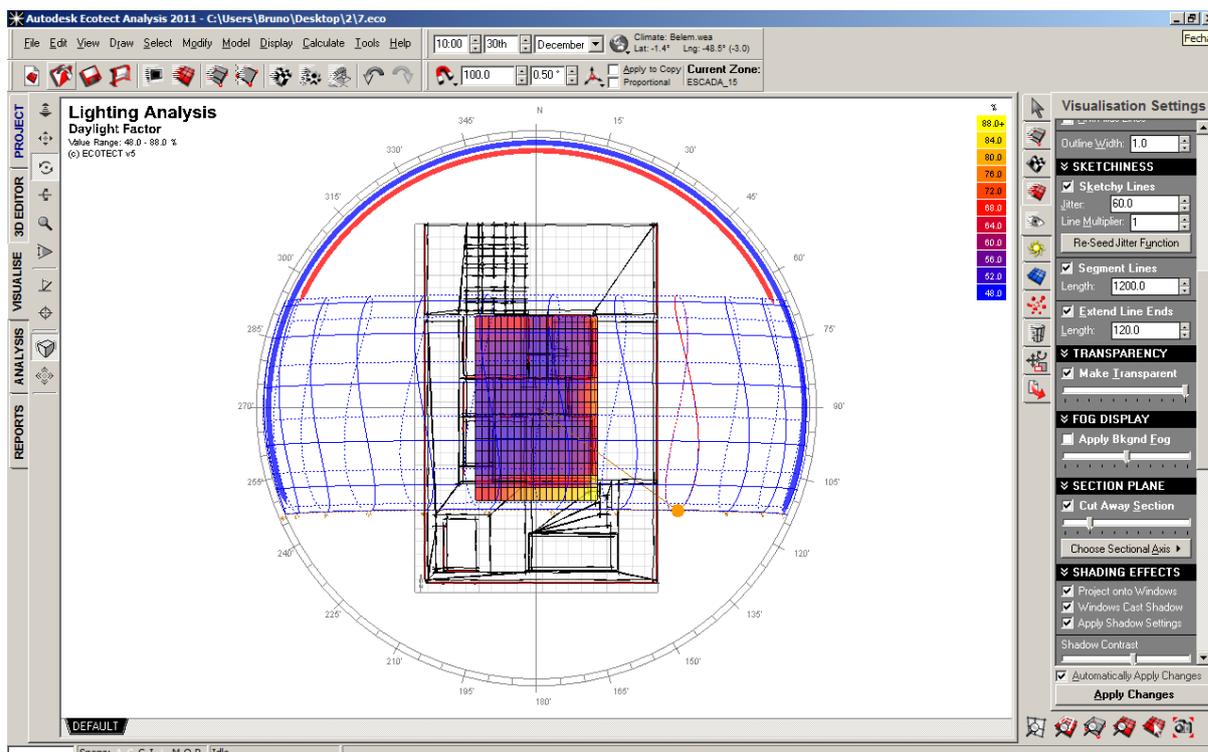
Fonte: Elaborada pelo autor

## **b) Iluminação natural na envoltória proposta**

Para a melhor utilização da luz natural nos ambientes da edificação foi necessário analisar a localização do terreno, atentando à posição do Sol nascente, aproveitando a iluminação natural nos cômodos dos setores social e íntimo, que devem ser privilegiados devido serem ambientes de permanência prolongada. O conforto visual que a iluminação natural produz é o primeiro benefício que pode ser citado, já que a luz do Sol deixa o ambiente mais agradável, gerando bem-estar. Outro fator importante é a economia de energia elétrica que a técnica proporciona.

Para controlar a incidência do Sol em um projeto deve-se saber por onde ele vai passar. Na figura a seguir, observa-se que há uma variação do Sol durante o ano. Isso significa que, de acordo com a época do ano e a latitude da cidade, o Sol vai realizar seu percurso em determinada inclinação, que influencia diretamente no aproveitamento da iluminação natural, conforme apresentado na figura 31.

Figura 31 – Simulação do percurso solar anual e análise de luz natural no software Ecotect.



Fonte: Elaborada pelo autor

Estudos de sombreamento com o projeto em nível e horários diferentes de um dia estipulado, para o dimensionamento correto de proteções solares, foram também realizadas. Considerou-se no projeto as áreas das janelas e portas de vidro com cuidado, levando em consideração que o aquecimento e o arrefecimento da energia são transmitidas dentro e fora de um edifício através de suas aberturas, mas com um dimensionamento correto das aberturas e implementação de proteções solares buscou-se um ambiente interior confortável e eficiente em termos de energia.

Além disso, a localização de janelas no edifício, foi concebida de tal maneira a evitar a incidência de sol direta sobre superfícies de tarefas. A figura 32 apresenta o sombreamento das aberturas em horários diferentes do dia.

Figura 32 – Estudo solar em 3 horários do dia no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

A luz natural e o fluxo de calor através de uma janela podem ser controlados em certa medida através de tamanho adequado, características de janela (Coeficiente de Ganho de Calor Solar, U-valor, e transmissão da luz visível) e orientação solar.

Janelas maiores têm mais potencial para perder ou ganhar calor do que as janelas menores, e viradas para o sul (no hemisfério norte, e as janelas voltadas para o norte no hemisfério sul) além de transmitirem mais calor e luz do que janelas nas outras orientações. Na figura a seguir, foram geradas tabelas com propriedades térmicas do projeto, que incluem densidade, calor específico e condutividade

Também foram pensadas marquises, formando uma prateleira de luz para impedir a incidência solar direta nos quartos das fachadas Norte e Sul, além dos sombreamentos proporcionados pelos beirais do telhado nas sacadas, conforme apresentado na figura 33.

Figura 33 – Seções e cobertura no software Revit (BIM).



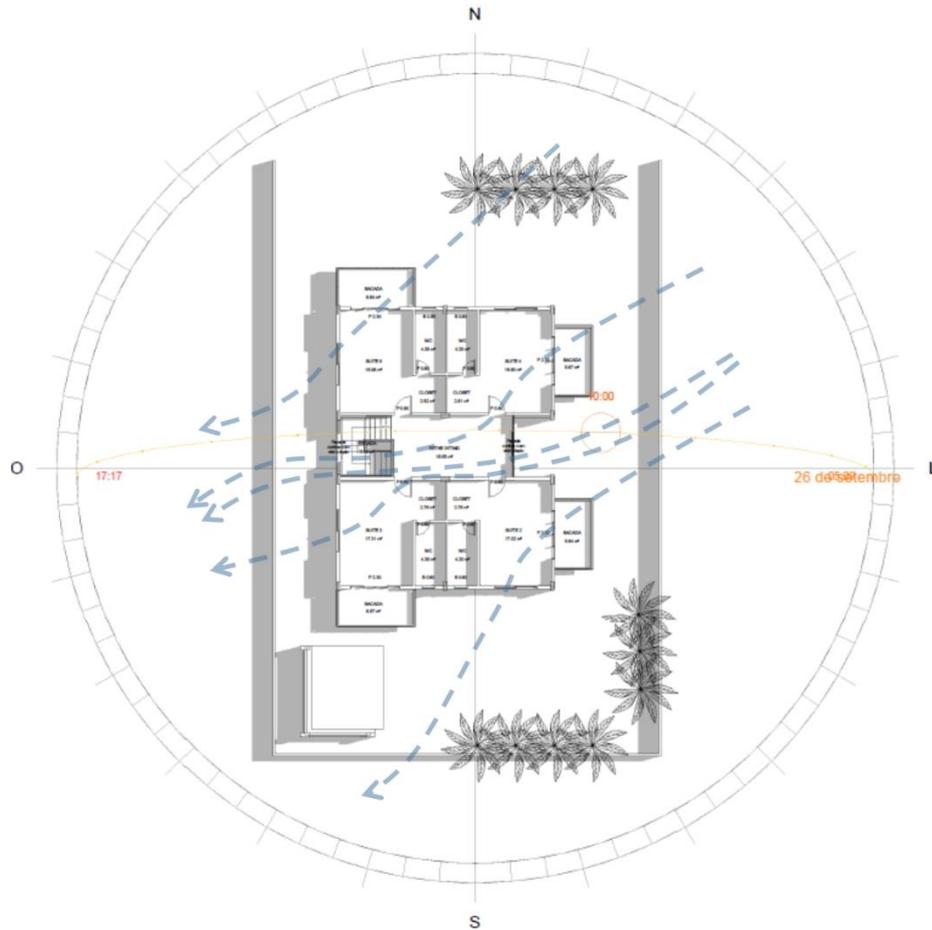
Fonte: Elaborada pelo autor

### **b) Ventilação natural na envoltória proposta**

O aproveitamento da ventilação natural também foi importante para a eficiência energética da edificação. O projeto possui ventilação cruzada permanente. Os vãos (janelas e portas) dos ambientes foram colocados em paredes opostas ou adjacentes, no sentido dos ventos predominantes, permitindo a entrada e saída do ar. Esta estratégia traz higienização dos ambientes através da renovação do ar, e diminuição da temperatura no interior dos ambientes.

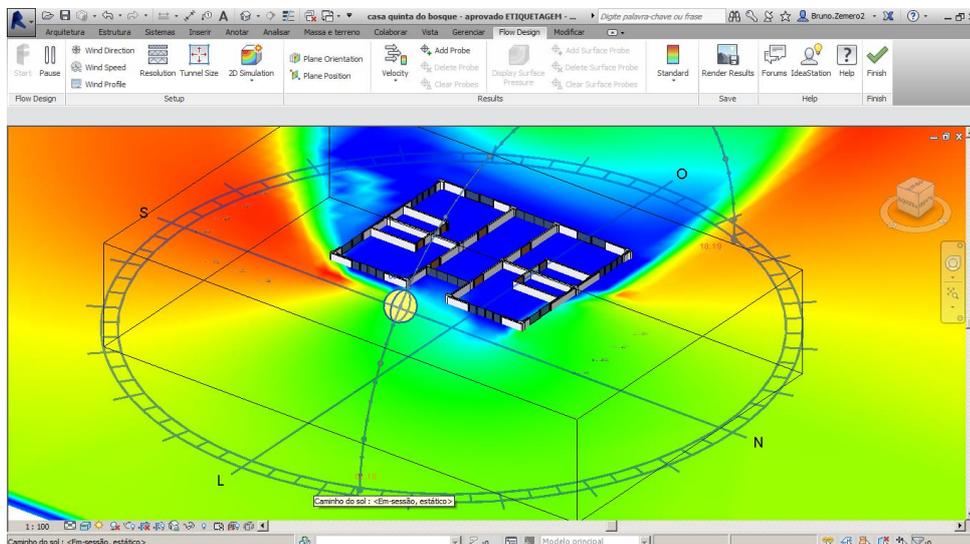
As figuras 34 e 35 apresentam a ventilação cruzada e Sol nascente no pavimento superior, representado pelas setas tracejadas na primeira imagem e na segunda pela simulação CFD (túnel de vento), de forma tridimensional.

Figura 34 – Simulação mostrando fluxo dos ventos predominantes no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 35 - Simulação mostrando fluxo dos ventos predominantes no software Revit (BIM) com o *plugin Flow Design*.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para o potencial de ventilação natural utilizaram-se dados climáticos escolhidos no projeto. Este procedimento calcula o potencial de poupança através da determinação do número anual de horas, quando as temperaturas do ar exterior são suficientes para refrigeração (abaixo do ponto de ajuste do termostato), quando a simulação mostra carga de refrigeração no sistema HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*). Basicamente, ele mostra que durante estas horas você pode resfriar com o ar exterior, e o condicionamento de ar pode ser desligado.

Potenciais economias de energia associadas a não utilização do condicionamento artificial são projetadas. As horas de condicionamento de ar que são necessárias, mesmo com ventilação natural, são estimadas. O cálculo pressupõe que a forma do edifício e aberturas serão projetados para permitir a ventilação cruzada, como dito anteriormente. Os cálculos não levam em conta os posicionamentos reais de abertura. A tabela 10 apresenta o conteúdo descrito:

Tabela 10 – Potencial de ventilação natural no software GBS para edificação como um todo.

<b>Natural Potencial de Ventilação</b>	
Total de Horas de resfriamento mecânica necessária	6.307 Horas
Possíveis Horas de ventilação natural	2.184 Horas
Elétrica Anuais Possíveis poupanças de energia	3.370 kWh
Possível economia anual elétrica	\$ 404
Horas Líquidos de arrefecimento mecânico necessárias	4.123 Horas

Fonte: Elaborada pelo autor

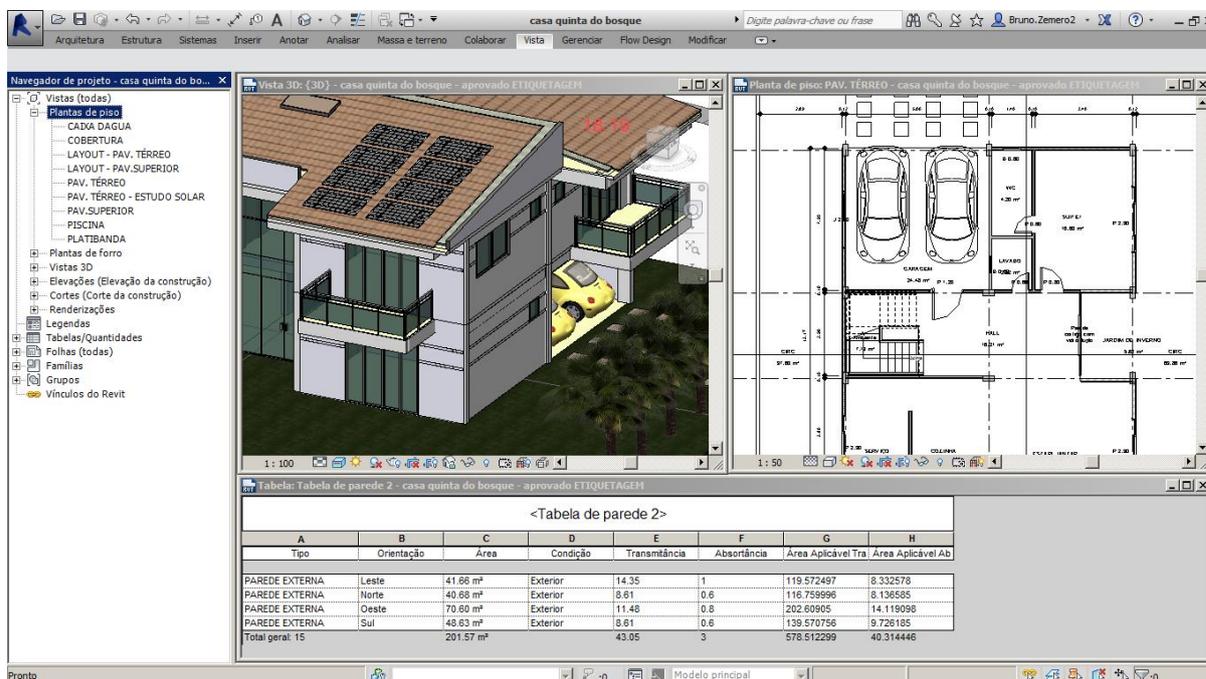
### 6.1.5 Projeto definitivo

Para a etapa de elaboração do projeto, foi utilizado o Software *Autodesk Revit* (BIM). O uso da tecnologia BIM facilitou a elaboração do projeto desde a sua concepção inicial, até a fase de detalhamento, pelo uso de sistema tridimensional que gera vistas automáticas e proporciona criatividade e visão ampla de alternativas.

As atualizações instantâneas do sistema também evitam retrabalho, pois uma vez que há uma alteração em planta, as outras vistas atualizam-se automaticamente, proporcionando velocidade e precisão no ato de criação. A figura 36, apresenta a planta baixa e o quantitativo de paredes, gerados automaticamente pelo modelo BIM.

## Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM

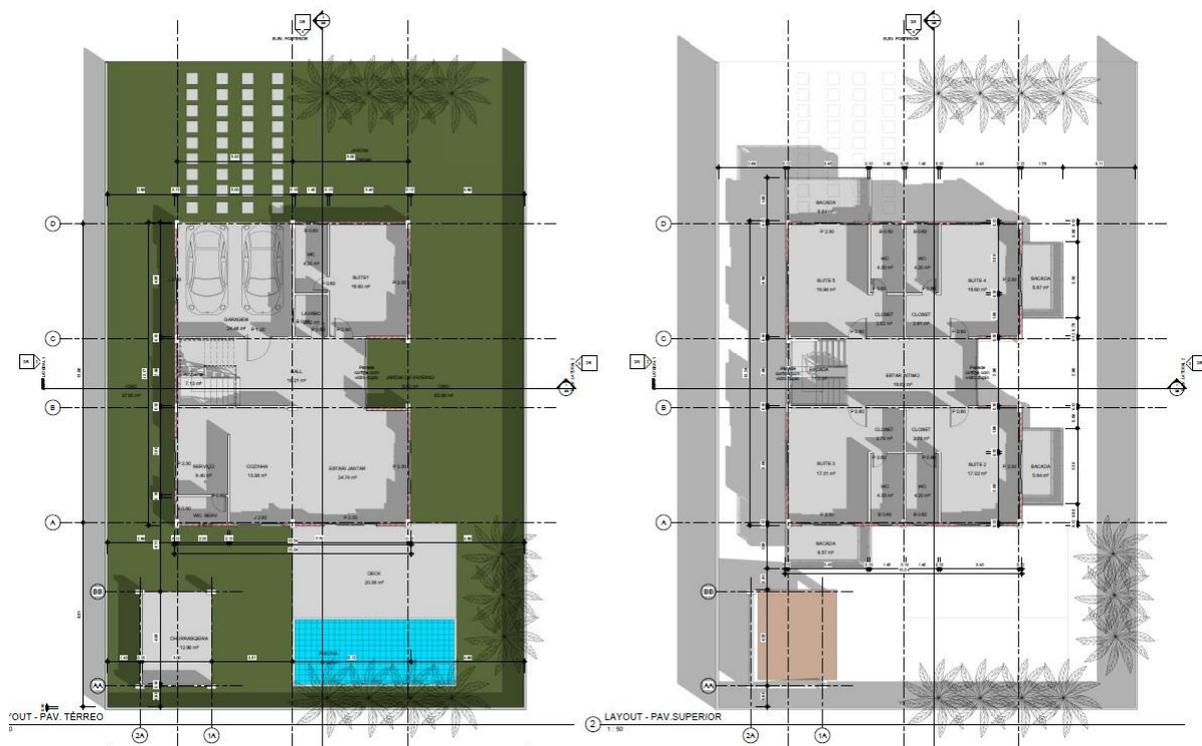
Figura 36 – Vistas e quantitativos de materiais gerados a partir do modelo 3D no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a área externa foram projetados jardins arborizados, na parte frontal, fundos e laterais que auxiliam no sombreamento criando um clima ameno no interior da construção. Preservou-se o máximo de área permeável possível, pensando nos benefícios de conforto térmico que a vegetação proporciona. A figura 37 apresenta o conteúdo descrito.

Figura 37 - Plantas térreo e superior com sombras projetadas às 10 h da manhã no software Revit (BIM).



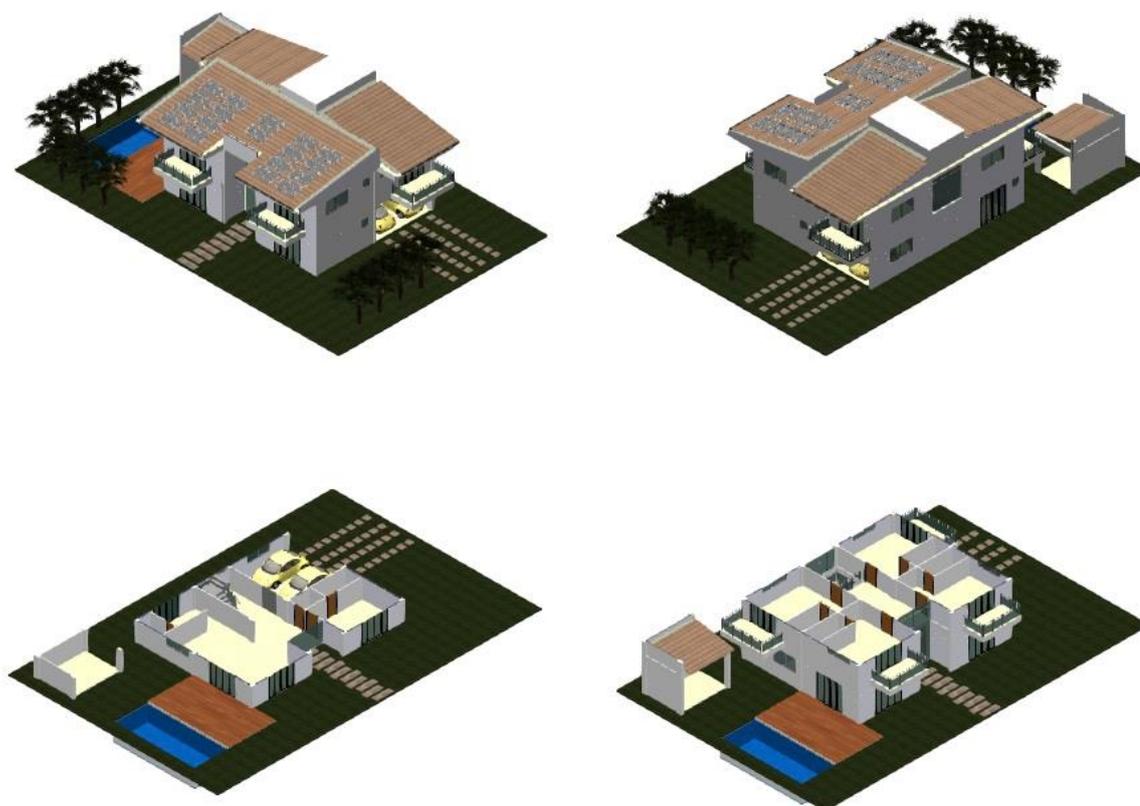
Fonte: Elaborada pelo autor

Atendendo as diretrizes sustentáveis estudadas nas fases anteriores buscou-se a implementação de estratégias passivas da envoltória predial para o uso reduzido dos sistemas ativos. Parte-se então para a confecção das plantas e quantitativos, que é realizada automaticamente pela tecnologia BIM, acelerando o processo e proporcionando precisão, com a mudança de paradigma projetual.

A cobertura foi pensada em 3 inclinações, com forro ventilado, proporcionando menor impacto térmico no interior da construção. O telhado é aparente, eliminando a necessidade de calhas impermeabilizadas, o que evita infiltrações. A envoltória também possui marquises, preservando a ação negativa das águas da chuva nos acabamentos externos.

A figura 38 apresenta isometrias seccionadas, para um melhor entendimento das plantas dos pavimentos. Esta função do corte e visualização em 3D fornece ao projetista uma visão ampla de alternativas que podem influenciar em decisões em prol da sustentabilidade, assim como o maior domínio espacial.

Figura 38 – Isometrias no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Foram gerados quantitativos de materiais e de componentes construtivos pelo Revit. O processo é feito de forma automatizada, tomando como referência as características do modelo 3D. As tabelas contêm informativos importantes, como levantamento de materiais do projeto, contendo parâmetros de desempenho térmico.

Optou-se pelo uso de cores claras na fachada da edificação para melhoria do desempenho da luz natural, pois reflete o calor, amenizando a incidência solar. Utilizaram-se vidros fumê de cor verde, atuando como uma película, que bloqueia uma parcela do calor solar.

O comportamento da transferência de calor entre essas superfícies é ditada pelos materiais. Estas condições afetam a energia para aquecimento e refrigeração necessária para manter o conforto, conforme apresentado na tabela 11.

Tabela 11 – Levantamento de materiais de parede software Revit (BIM).

<b>&lt;Tabela de paredes externas&gt;</b>					
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>Tipo</b>	<b>Orientação</b>	<b>Área</b>	<b>Absortância</b>	<b>Transmitância</b>	<b>Resistência térmica (R)</b>
		563.16 m <sup>2</sup>			
Parede Externa	Leste	41.66 m <sup>2</sup>	0.2	2.87	0.1398 (m <sup>2</sup> .K)/W
Parede Externa	Norte	40.68 m <sup>2</sup>	0.2	2.87	0.1398 (m <sup>2</sup> .K)/W
Parede Externa	Oeste	70.60 m <sup>2</sup>	0.2	2.87	0.1398 (m <sup>2</sup> .K)/W
Parede Externa	Sul	48.63 m <sup>2</sup>	0.2	2.87	0.1398 (m <sup>2</sup> .K)/W
<b>Total geral: 54</b>		<b>764.74 m<sup>2</sup></b>			

Fonte: Elaborada pelo autor

Concluído o projeto arquitetônico adotando diretrizes sustentáveis, partiu-se para os projetos complementares. O ato de aliar a forma e componentes da envoltória aos condicionantes naturais evita o consumo exagerado de sistemas de iluminação e climatização artificial, que serão realizados a seguir.

## 6.2 PROJETOS DE INSTALAÇÕES PREDIAIS

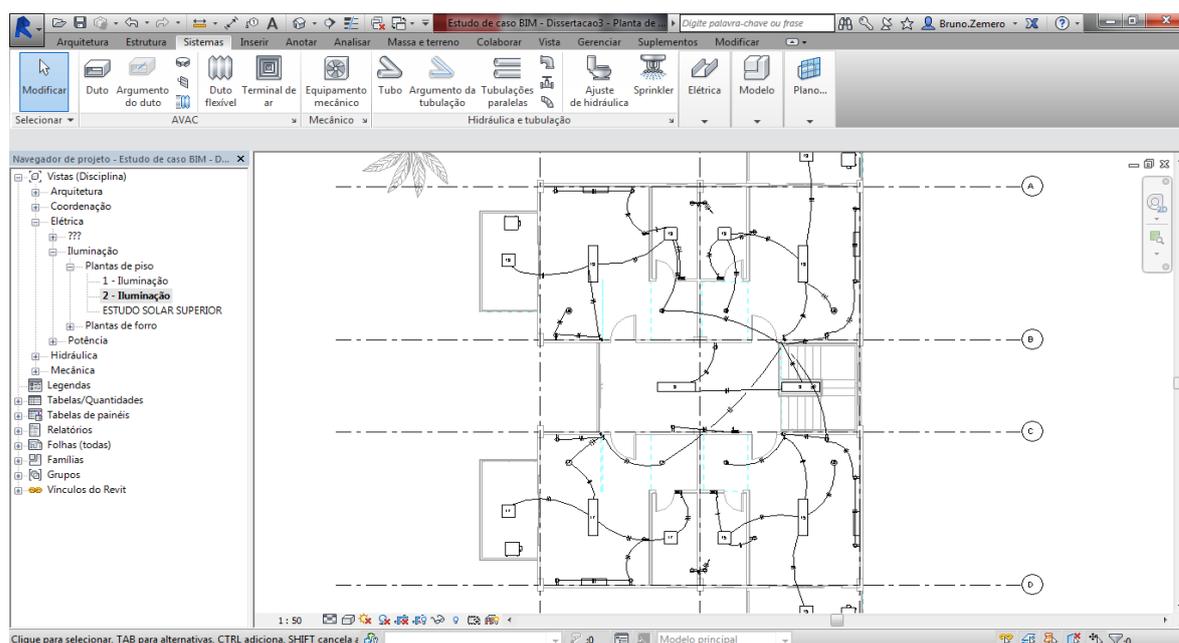
Nesta etapa, foram desenvolvidos os projetos de climatização, iluminação artificial e hidro-sanitário, utilizando o *Software Autodesk Revit* (BIM). Utilizou-se o modelo arquitetônico como base no desenvolvimento dos projetos complementares.

### 6.2.1 Projeto de iluminação artificial

Nesta etapa foi realizado o projeto de iluminação artificial. Realizou-se a inserção dos componentes de iluminação e criaram-se os circuitos de iluminação e potência. Foi levado em consideração a iluminação natural, proveniente das estratégias passivas de projeto, comentadas no item anterior.

Tendo em vista o aproveitamento da luz natural, implementou-se automação do sistema de iluminação com lâmpadas dimerizáveis, que diminuem sua intensidade de acordo com a claridade, proporcionando conforto visual e menor consumo energético. Também foram implementados sensores de presença em ambientes como o corredor, garagem e estar íntimo. A figura 39 apresenta a planta de iluminação.

Figura 39 – Planta de Iluminação Pavimento Superior no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Observou-se que a simbologia do projeto elétrico não atende ao padrão nacional, o que pode ser solucionado com a criação de novas bibliotecas dentro do software e não realiza cálculos de dimensionamento de cabos elétricos, o que não inviabiliza o trabalho, visto que esta etapa pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de outras ferramentas computacionais ou mesmo a criação de *plug-ins* BIM para este fim.

Foram gerados quantitativos de diversos elementos, como equipamento elétrico e luminárias, com informações relevantes para o projeto luminotécnico e para as normas de eficiência energética, como o tipo de lâmpada, a temperatura da coloração e a corrente luminosa, conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Quantitativo de luminárias no software Revit (BIM).

<Tabela de luminárias>					
A	B	C	D	E	F
Família e tipo	Whatts	Dados elétricos	Carga aparente	Corrente luminosa	Temperatura da cor inicial
M_Iluminação de superfície plana: 300x1200 – 120 LED	832 W	120 V/1-64 VA	832 VA	75404 lm	54990 K
M_Iluminação de superfície plana: 600x600 – 120 LED	682 W	120 V/1 62 VA	682 VA	61598 lm	46530 K
M_Luminária embutida – Bocal embutido: 152 mm LED - 120	240 W	120 V/1 60 VA	240 VA	3420 lm	11200 K
M_Luminária embutida – Bocal embutido: 152 mm LED – 120V	72 W	120 V/1 18 VA	72 VA	5000 lm	16920 K
<b>Total Geral: 32</b>	<b>1826 W</b>		<b>1826 VA</b>	<b>145422 lm</b>	<b>129640 K</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

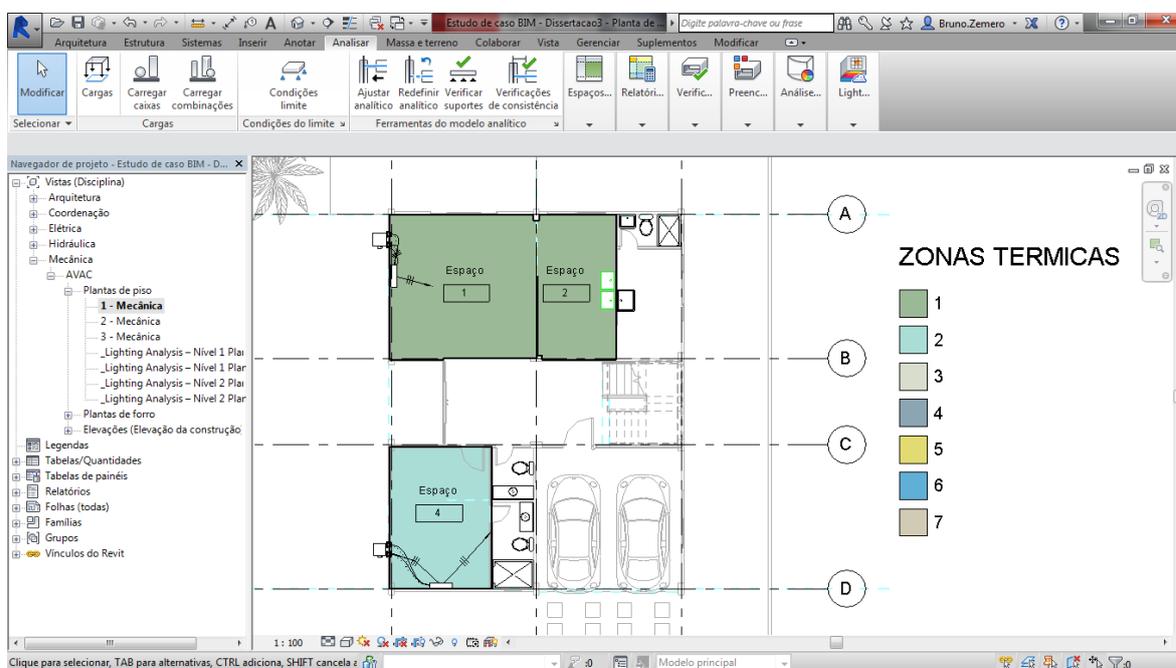
### 6.2.2 Projeto de climatização artificial

O dimensionamento correto do sistema de climatização, requer a compreensão do arrefecimento de cargas dentro do espaço. Edifícios de alto desempenho procuram reduzir essas cargas, sempre quando possível. Um sistema HVAC deve ser dimensionado para um projeto somente após todas as outras características do edifício serem otimizados. Deve-se estruturar os formulários do edifício, massa e aberturas para tirar o máximo proveito de ventilação e iluminação naturais.

Para o projeto de climatização foram criadas zonas térmicas, configurando parâmetros do sistema de climatização e materiais. Também foi levada em consideração a análise de ventilação natural, como estratégia potencial para a economia na projeção do sistema artificial, realizada no partido arquitetônico.

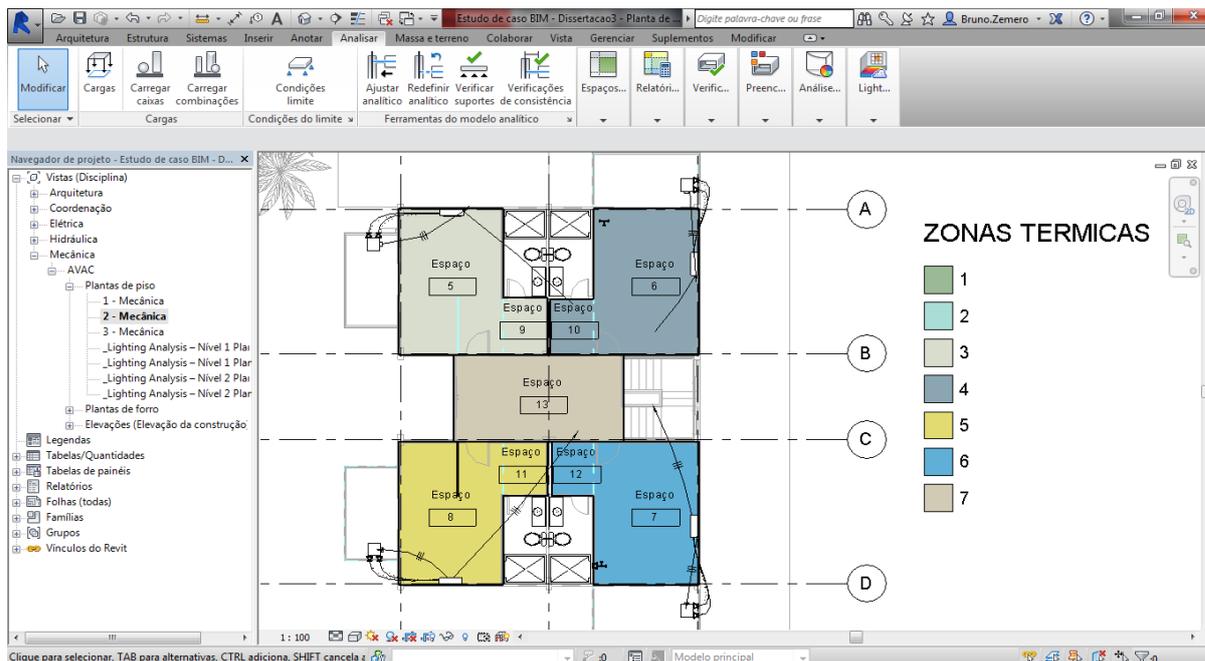
Realizou-se a divisão das zonas térmicas, que representam o ar dentro de um edifício. Estes espaços sofrem troca de calor com o ambiente exterior. A transferência de calor acontece em todas as superfícies do modelo, abstraídas da geometria que representa as paredes, telhado, pisos e janelas do edifício. As figuras 40 e 41 apresentam o conteúdo descrito.

Figura 40 – Zonas térmicas Pav. Térreo no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

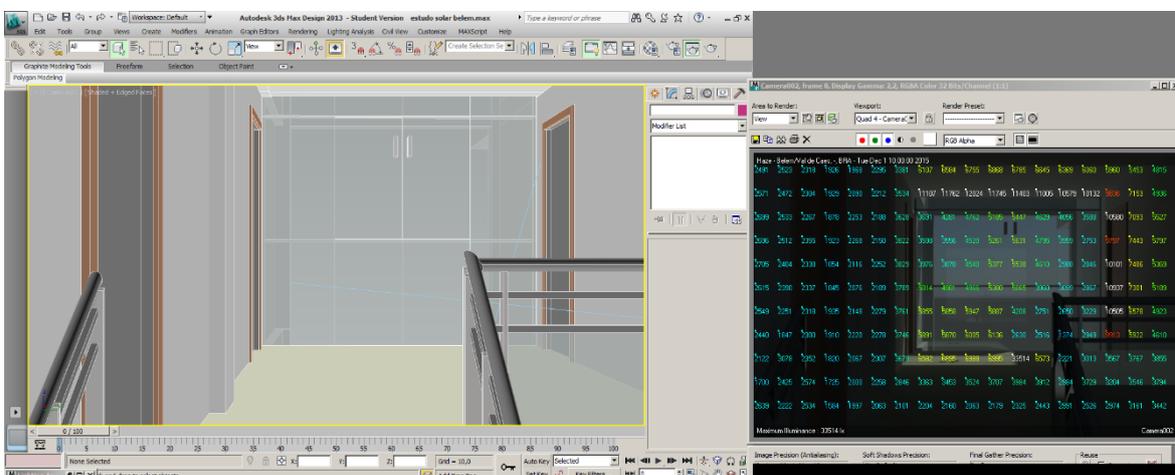
Figura 41 - Zonas térmicas pavimento superior no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

O exemplo disso foi a zona térmica 7, localizada no pavimento superior (figura 41), onde fica facultado o uso ou não de ar condicionado devido à forte incidência de ventilação cruzada, já abordada no projeto arquitetônico, proporcionada pelas paredes de vidro em lados opostos. Foram inseridos componentes como condensadores e splits, criando-se um circuito independente para cada zona térmica. A tecnologia possibilitou a localização do projeto no mapa, para atender às características climáticas do local, conforme apresentado na figura 42.

Figura 42 – Renderização com análise de temperatura na zona 7 no software 3DMax Design.



Fonte: Elaborada pelo autor

## Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM

A tabela 13 mostra o cálculo das cargas de resfriamento para cada zona.

Tabela 13 - Quantitativo de zonas térmicas no software Revit (BIM).

<Tabela de zona>				
A	B	C	D	E
Nome	Nível	Tipo de serviço	Área calculada por carga de resfriamento	Carga calculada de resfriamento
1	Nível 1	<Construção>	11.44 m <sup>2</sup> /kW	3332 W
2	Nível 1	<Construção>	11.40 m <sup>2</sup> /kW	1456 W
3	Nível 2	<Construção>	11.35 m <sup>2</sup> /kW	1742 W
4	Nível 2	<Construção>	11.34 m <sup>2</sup> /kW	1769 W
5	Nível 2	<Construção>	11.32 m <sup>2</sup> /kW	1698 W
6	Nível 2	<Construção>	11.25 m <sup>2</sup> /kW	1732 W
7	Nível 2	<Construção>	3.20 m <sup>2</sup> /kW	5199 W
Padrão		<Construção>	Não calculado	Não calculado

Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 14 mostra o cálculo das cargas de resfriamento para toda a edificação.

Tabela 14 - Cálculo das cargas de aquecimento e resfriamento no software Revit (BIM).

<b>Resultados calculados</b>	
Carga total de pico de resfriamento (W)	14,233
Mês e hora do pico de resfriamento	Fevereiro 14:00
Carga sensível do pico de resfriamento (W)	14,057
Carga latente do pico de resfriamento (W)	176
Capacidade máxima de resfriamento (W)	16,928
Fluxo de ar do pico de resfriamento (L/s)	900.0
Carga do pico de aquecimento (W)	-371
Fluxo de ar do pico de aquecimento (L/s)	0.0
<b>Verificação de somas</b>	
Densidade da carga de resfriamento (W/m <sup>2</sup> )	94.64
Densidade da carga de resfriamento (L/(s.m <sup>2</sup> ))	5.98
Fluxo / Carga de resfriamento (L/(s.kW))	63.23
Área / Carga de resfriamento (m <sup>2</sup> /kW)	10.57
Densidade da carga de aquecimento (W/m <sup>2</sup> )	-2.47
Densidade do fluxo de aquecimento (L/(s.m <sup>2</sup> ))	0.00

Fonte: Elaborada pelo autor

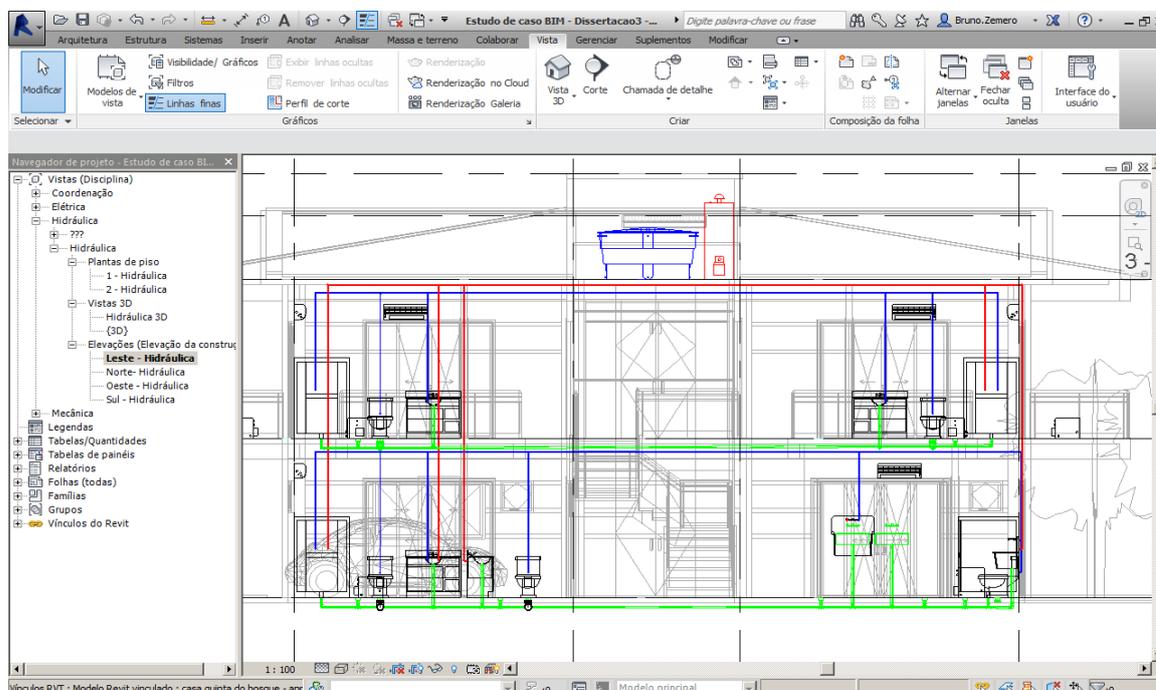
### 6.2.3 Projeto Hidrossanitário

Nesta etapa foi realizado o projeto de Instalações Hidro-sanitárias. Inseridos os componentes hidráulicos foi possível ligá-los a sistemas de água quente, água fria e esgoto. Banheiros acoplados no térreo e superior na mesma prumada auxiliam no projeto econômico dos sistemas de instalações hidráulicas. Foi previsto um sistema de coleta de águas da chuva, para utilização em tarefas domésticas, além do uso de aquecimento solar de água na cobertura, para substituir chuveiros elétricos.

## Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM

A figura 43 apresenta a seção das instalações hidráulicas mostrando o boiler em vermelho (reservatório de água quente) alimentado pelo aquecedor solar e distribuindo pelas tubulações de água quente para o banho, também em vermelho, substituindo a utilização do chuveiro elétrico.

Figura 43 – Seção das instalações hidráulicas no software Revit MEP (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Também foi possível gerar relatórios com informativos detalhados dos sistemas de água quente, água fria e esgoto, conforme apresentado na tabela 15.

Tabela 15 - Sistemas hidráulicos no software Revit (BIM).

<Tabela de sistema de tubulação>				
A	B	C	D	E
Família e tipo	Densidade de fluido	Equipamento de sis	Fluxo	Pressão estática
Sistema de tubulação: Outro	0.0000 kg/m <sup>3</sup>		0.0 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Outro: 12	0.0000 kg/m <sup>3</sup>		0.0 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Sanitário	0.0000 kg/m <sup>3</sup>		0.0 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Sanitário: 2	0.0000 kg/m <sup>3</sup>		0.0 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Água fria doméstica	1997.8228 kg/m <sup>3</sup>	1500 L	3.9 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Água fria doméstica: 2	1997.8228 kg/m <sup>3</sup>		3.9 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Água quente doméstica	983.2133 kg/m <sup>3</sup>		1.0 L/s	0.0 Pa
Sistema de tubulação: Água quente doméstica: 1	983.2133 kg/m <sup>3</sup>		1.0 L/s	0.0 Pa

Fonte: Elaborada pelo autor

### 6.3 COORDENAÇÃO MULTIDISCIPLINAR

Foi realizada Coordenação multidisciplinar no Revit através da ferramenta “detecção de interferências” que aponta elementos de diferentes disciplinas que estejam colidindo. Esta estratégia constitui-se como ponto importante para as alternativas de projeto, pois é quando os profissionais das diferentes áreas se comunicam em prol de alternativas projetuais e sustentáveis. Os modelos devem ser vinculados de forma cruzada e dependem do fluxo de trabalho da equipe. Esta etapa deve ser realizada periodicamente, no decorrer de todo o projeto. Alguns exemplos incluem:

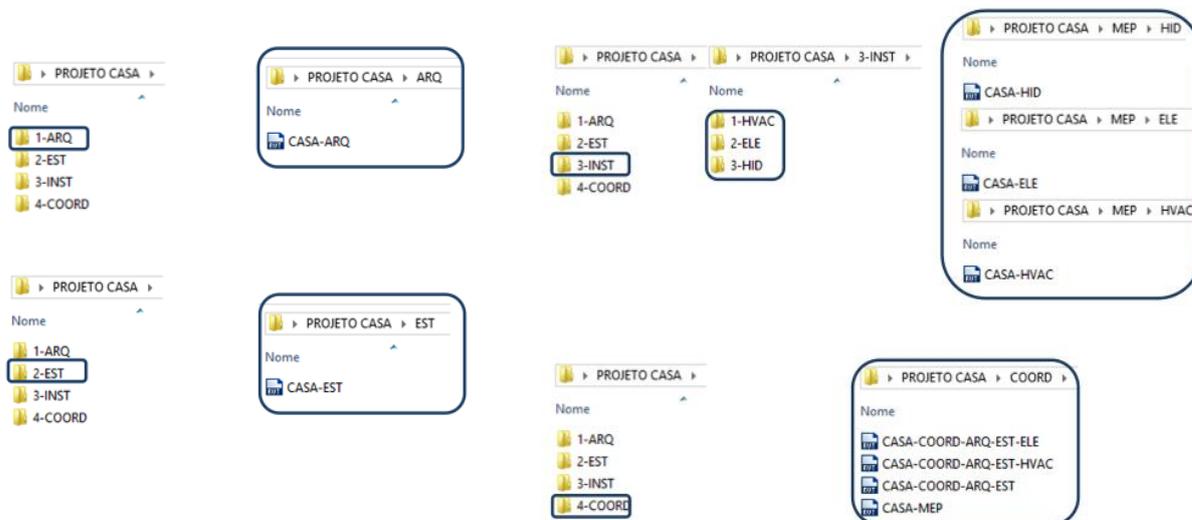
- Arquitetural/Estrutural: O engenheiro estrutural monitora as mudanças que forem feitas no modelo arquitetônico base. O arquiteto pode então usar a checagem de interferências para verificar se os elementos arquitetônicos não estão em conflito com os componentes estruturais;
- Arquitetural/Climatização: O engenheiro mecânico responsável pelo projeto de climatização monitora as mudanças que o arquiteto fizer nos ambientes e nos níveis que estão ligados às zonas de aquecimento e refrigeração. O arquiteto pode vincular o modelo de instalações para mostrar os elementos do sistema mecânico no contexto dos elementos arquitetônicos;
- Estrutural/Climatização: Neste caso, ambos os projetistas se beneficiam com a detecção de interferências, para poder evitar colisões e conflitos potenciais entre os elementos do sistema estrutural e das instalações prediais.

Usando a vinculação cruzada de modelos, as equipes de desenho podem revisar, monitorar e coordenar as mudanças feitas por todos os membros da equipe. Esta abordagem permite que a checagem de interferências e a revisão da coordenação do modelo aconteçam mais cedo e com mais rapidez. Identificou-se grande importância da coordenação de projetos proporcionada pela tecnologia BIM, visto que integra os profissionais de diferentes áreas, a fim de prever erros e buscar soluções sustentáveis durante o processo de concepção.

Para uma melhor organização do projeto, foi elaborada uma organização dos arquivos em pastas, uma para cada disciplina, simulando uma situação da vida real de um coordenador de projeto, conforme apresentado na figura 44.

## Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM

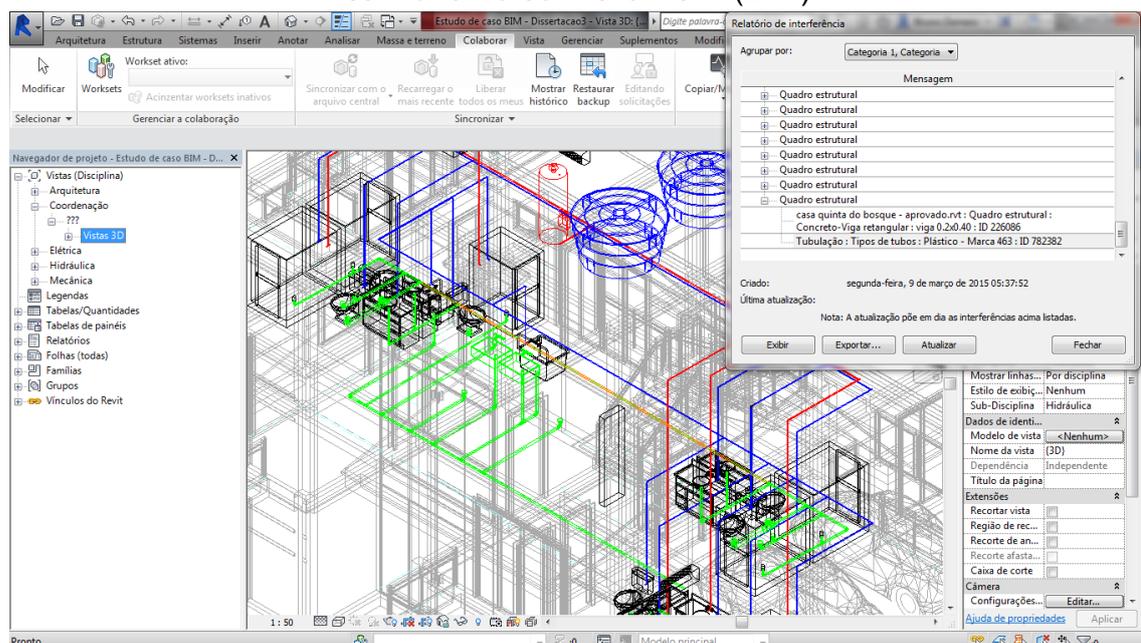
Figura 44 – Proposta de nomenclatura e organização de arquivos multidisciplinares.



Fonte: Elaborada pelo autor

Foi realizada a detecção de elementos que se sobrepõem, nas diferentes disciplinas, observando-se que esta é uma ferramenta potencial para a comunicação dos diferentes agentes de projeto. A figura 45 apresenta a colisão de uma instalação hidráulica com um elemento estrutural, indicada na cor laranja. Foi possível gerar um relatório de conflitos, indicando em 3D, para as devidas correções, executando-a novamente até que o software não apontasse nenhuma colisão.

Figura 45 - Detecção de colisão entre uma viga e uma tubulação sanitária no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

## ***Capítulo 6 – Estudo de caso de projeto adotando diretrizes sustentáveis com o auxílio da Tecnologia BIM***

---

Finalizado o projeto multidisciplinar com o uso da tecnologia BIM, percebeu-se grande potencial na integração de todos os profissionais envolvidos em prol de estratégias sustentáveis, proporcionando otimização de estratégias passivas da arquitetura e a consequente minimização das estratégias ativas oriundas dos sistemas artificiais.

No capítulo a seguir, os níveis de desempenho energético serão medidos através de simulações com o software GBS, identificando o uso dos sistemas artificiais e pontuações LEED relacionadas ao aproveitamento da luz do dia e conforto térmico, que são importantes indicadores de eficiência da envoltória.

***Capítulo 7 - Simulações de energia e  
certificação LEED com o auxílio da Tecnologia  
BIM aplicada ao estudo de caso***

---

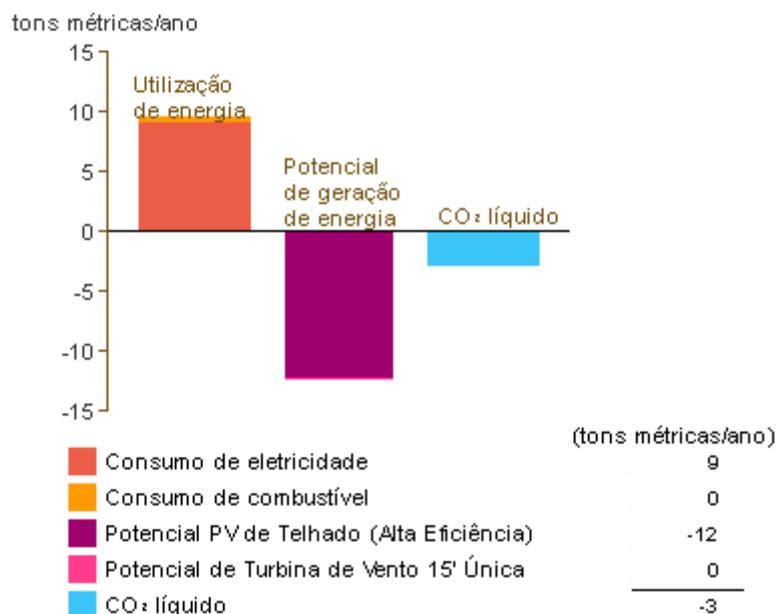
Nesta etapa, foram feitas simulações no software *Green Building Studio* (GBS) apresentado no Capítulo 1. As simulações do GBS mostram dados de consumo e gastos financeiros, conforme a maneira como os diversos elementos da construção foram empregados. O “plugin” também trabalha com a certificação LEED para avaliação da qualidade interna dos ambientes que será realizada para verificar como a tecnologia trabalha, a fim de investigar a possibilidade da criação de um “plugin” com os requisitos do RTQ. Ambos os casos serão analisados a seguir

### 7.1 SIMULAÇÕES DE ENERGIA COM A TECNOLOGIA BIM

Iluminação, condicionamento de ar, aquecedores de água, e todos os aparelhos consomem energia sob a forma de eletricidade ou combustível. Todas esses aspectos foram importantes para compreender e otimizar o projeto de construção de alta performance, e construíram-se como insumos importantes para a simulação de análise energética do edifício inteiro.

A figura 46 representa as emissões de carbono da residência. As simulações foram baseadas no uso local de combustível e nas fontes de combustíveis para a eletricidade da região.

Figura 46 – Emissões anuais de carbono no software GBS.

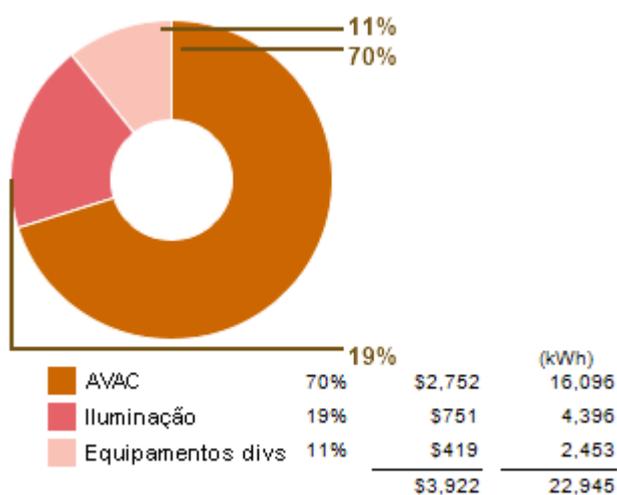
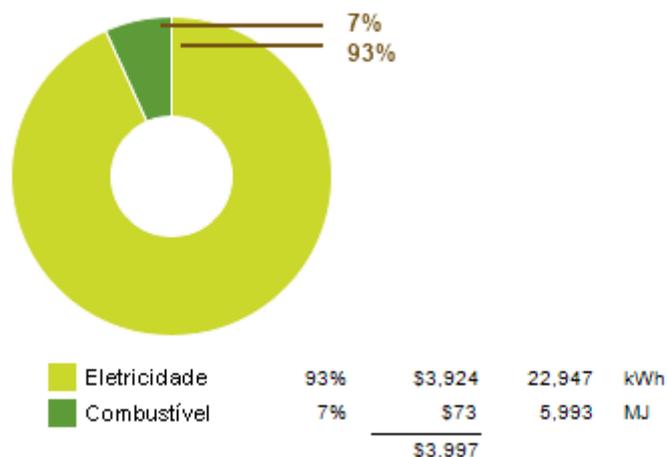


Fonte: Elaborada pelo autor

Foi obtido o uso de energia do projeto, discriminada por fonte de energia (eletricidade, combustíveis) e também pelo uso final (iluminação, climatização e

demaís usos da edificação). O custo pode ser traduzido, multiplicando-se a utilização prevista com as taxas de serviços. Na figura 47 percebe-se uma boa parte de utilização destinada ao condicionamento de ar, representando 70% do total, proveniente das condições climáticas que, quando não ventilada naturalmente, exigem o uso de arrefecimento artificial.

Figura 47 – Utilização anual de energia no software GBS.



Fonte: Elaborada pelo autor

Cargas de aquecimento e refrigeração são atendidas pelo sistema de climatização do edifício, que utiliza a energia para adicionar ou remover calor e condicionar o espaço. Este uso de energia se traduz para o componente de HVAC de um edifício como equipamento e cargas (atendidas por combustível ou eletricidade).

## Capítulo 7 - Simulações de energia e certificação LEED com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

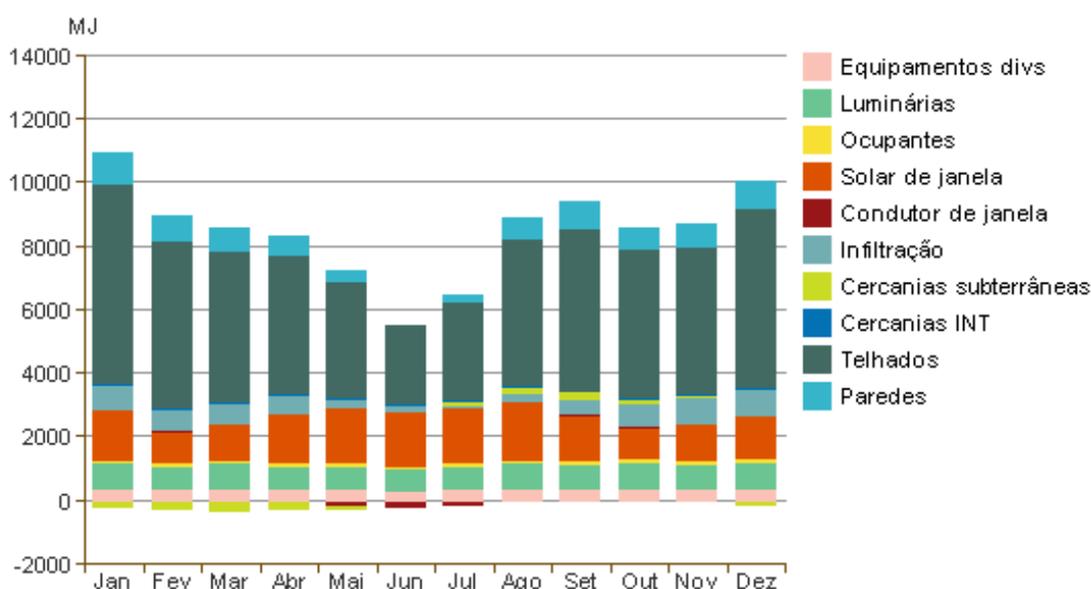
Estas cargas térmicas podem ser traduzidas como cargas de aquecimento (quando o edifício é muito frio) e cargas de resfriamento (quando o edifício é muito quente). Cargas de aquecimento e refrigeração não se trata apenas de temperatura (calor sensível), eles também incluem controle de umidade (calor latente).

O necessário para a modelagem de simulação de energia são as cargas dinâmicas de pessoas no interior do edifício e as condições ambientais no exterior do edifício, com base em dados climáticos. As características apresentadas a seguir influenciam nas cargas de resfriamento:

- O calor e a umidade de pessoas (determinado por quantas pessoas estão no espaço em momentos diferentes, e o que eles estão fazendo);
- Conjunto de pontos, ou as temperaturas alvo dos espaços
- Temperatura do ar exterior;
- Umidade relativa;
- Estação de vento;
- Radiação solar direta e difusa;
- Suposições de infiltração.

A figura 48 apresenta as cargas de resfriamento mensais, geradas pelos componentes da edificação.

Figura 48 - Carga mensal de refrigeração no software GBS.



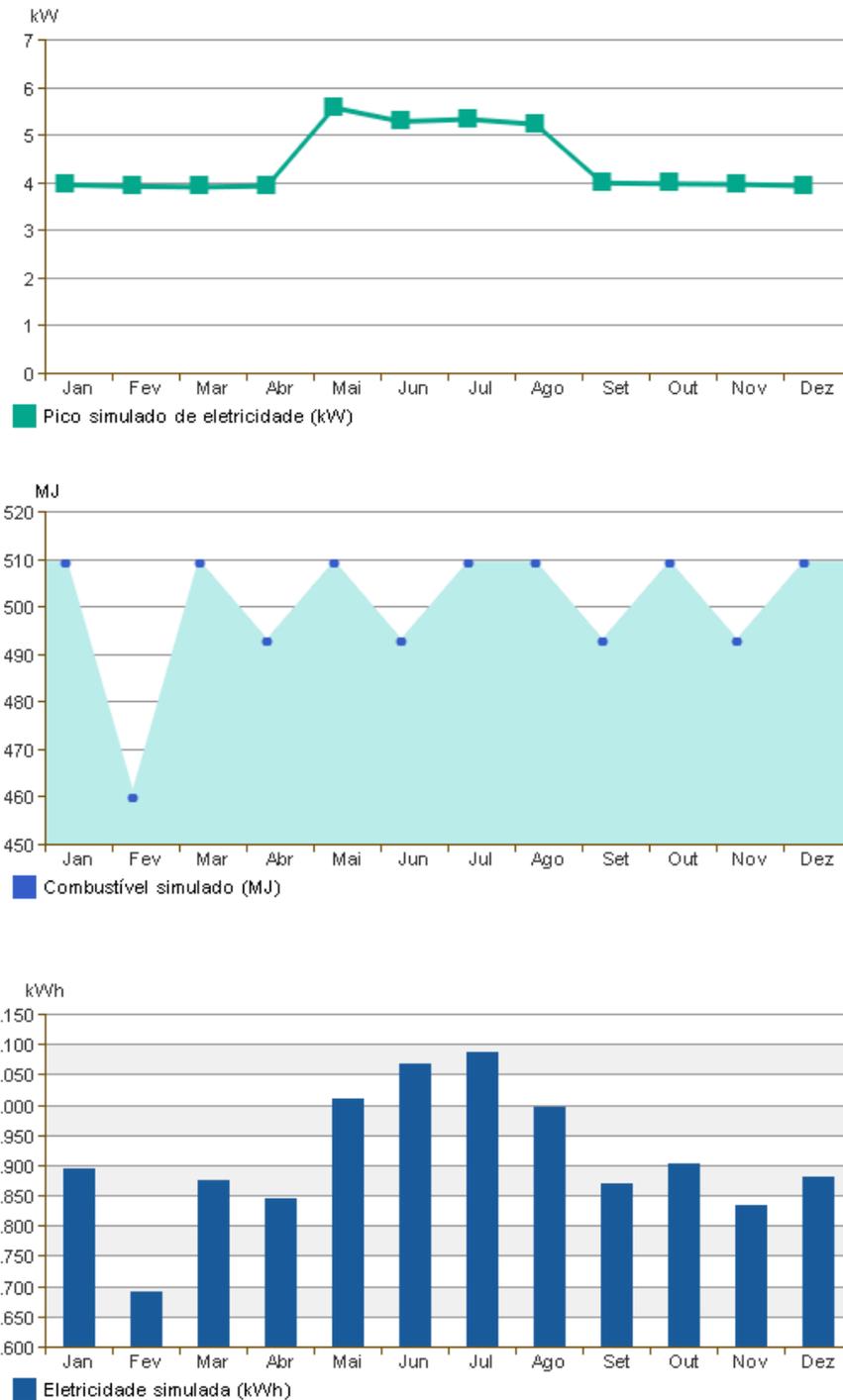
Fonte: Elaborada pelo autor

Por fim, foi gerado o gráfico do consumo mensal de eletricidade, onde observa-se maior consumo de eletricidade, pico e combustível nos meses de junho e

## Capítulo 7 - Simulações de energia e certificação LEED com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

julho devido ao uso de ar condicionado em decorrência das temperaturas elevadas, entre outros usos finais de menor impacto, conforme apresentado na figura 49.

Figura 49 – Consumo mensal de eletricidade no software GBS.

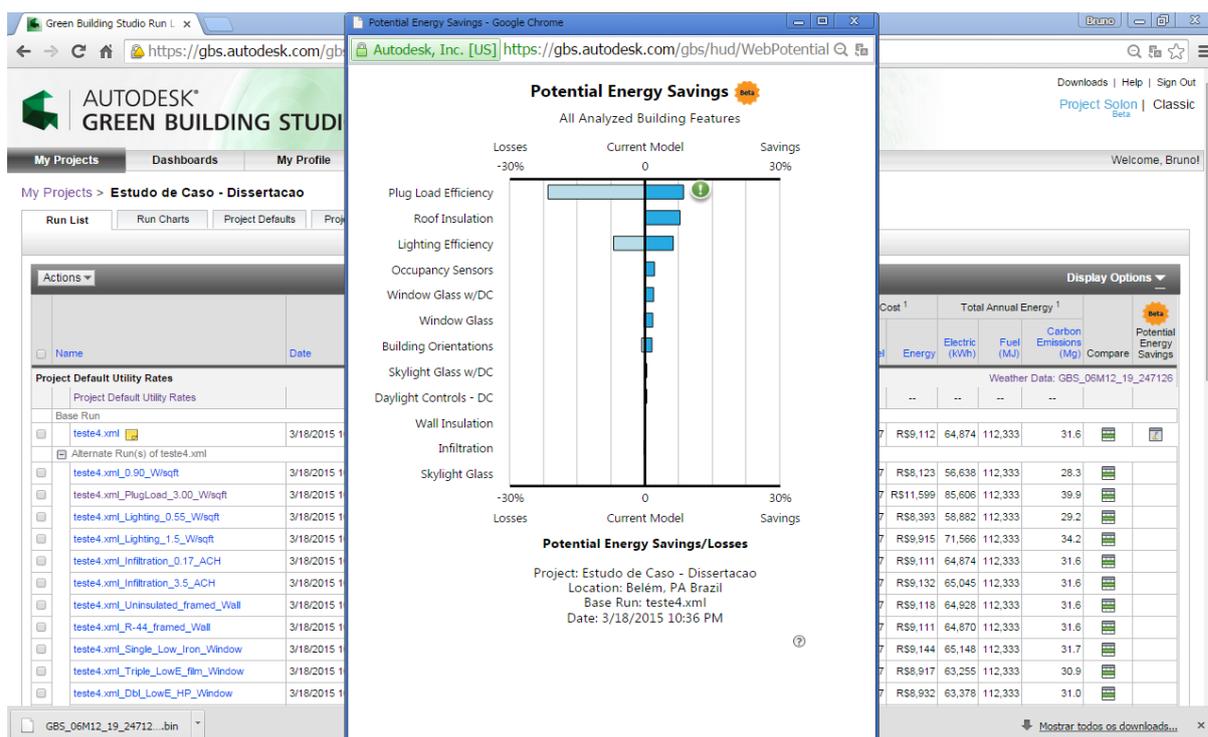


Fonte: Elaborada pelo autor

### 7.2 POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ALCANÇADO

Tendo analisado as características de consumo foi possível realizar análise do nível de eficiência alcançado com as estratégias de projeto adotadas, sendo que neste caso houve potencial positivo conforme apresenta a figura 50 através do sinalizador de exclamação verde.

Figura 50 – Potencial de eficiência energética das estratégias e elementos do projeto no software GBS.

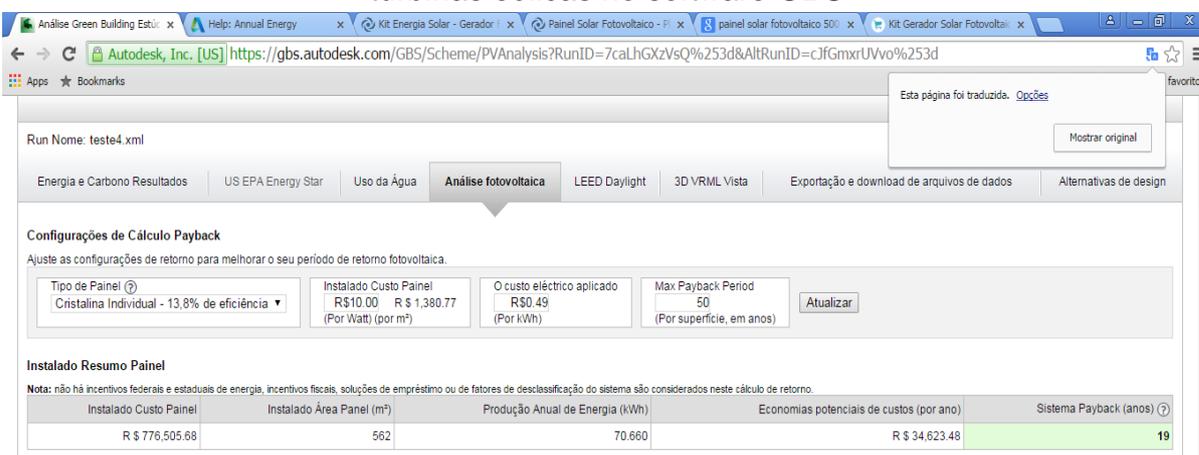


Fonte: Elaborada pelo autor

### 7.3 ESTRATÉGIAS DE PROJETO PARA O ALCANCE DE NÍVEL MAIS ELEVADO DE EFICIÊNCIA

Como estratégia de melhoria, foram adicionados painéis fotovoltaicos no telhado, conectados à rede elétrica de distribuição, para a geração própria de energia através da captação solar. A análise fotovoltaica calculou o potencial de desempenho do sistema, indicando o período de retorno financeiro (*payback*), que foi estipulado em 19 anos, conforme apresentado na figura 51, destacado pela cor verde.

Figura 51 - Potencial de energia renovável no local de fotovoltaicos, Sistemas de turbinas eólicas no software GBS



Fonte: Elaborada pelo autor

### 7.4 CERTIFICAÇÃO LEED COM A TECNOLOGIA BIM

Finalizadas as simulações no *Green Building Studio*, o modelo foi exportado para verificar o potencial do BIM para obtenção de certificação LEED. Foi possível gerar simulações utilizando o *plugin Lighting Analysis* no Revit seguindo pré-requisitos estabelecidos pelo LEED.

As pontuações LEED relacionadas à qualidade ambiental interna promovem a qualidade ambiental interna do ar, essencial para ambientes com alta permanência de pessoas, com foco na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controlabilidade de sistemas, conforto térmico e priorização de espaços com vista externa e luz natural.

No estudo de caso, foi realizada simulação com o *Plugin Lighting Analysis* (BIM) que obtém os níveis alcançados de qualidade interna LEED EQc7.1 (Conforto Térmico) e LEED Ieqc8.2 (Iluminação Natural).

#### 7.4.1 LEED Eqc7.1/ EQc7.2 (Qualidade ambiental interna –HVAC e Conforto Térmico)

A análise executada de acordo com a classificação LEED EQc7.1, requer que os projetos de HVAC cumpram os requisitos do padrão ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning*) 55-2004, que lida com o conforto

térmico dos ocupantes do edifício. O ASHRAE 55 exige equipes de projeto para trabalhar a temperatura do ar, temperatura radiante, umidade e velocidade do ar.

Ganhar este crédito também define ganhar EQc7.2: Conforto Térmico-Verificação. Na maioria dos casos, a concepção de um sistema que está em conformidade com a ASHRAE-55 consiste em uma prática padrão e documentação, é o requisito apenas específicas do LEED para a realização do crédito.

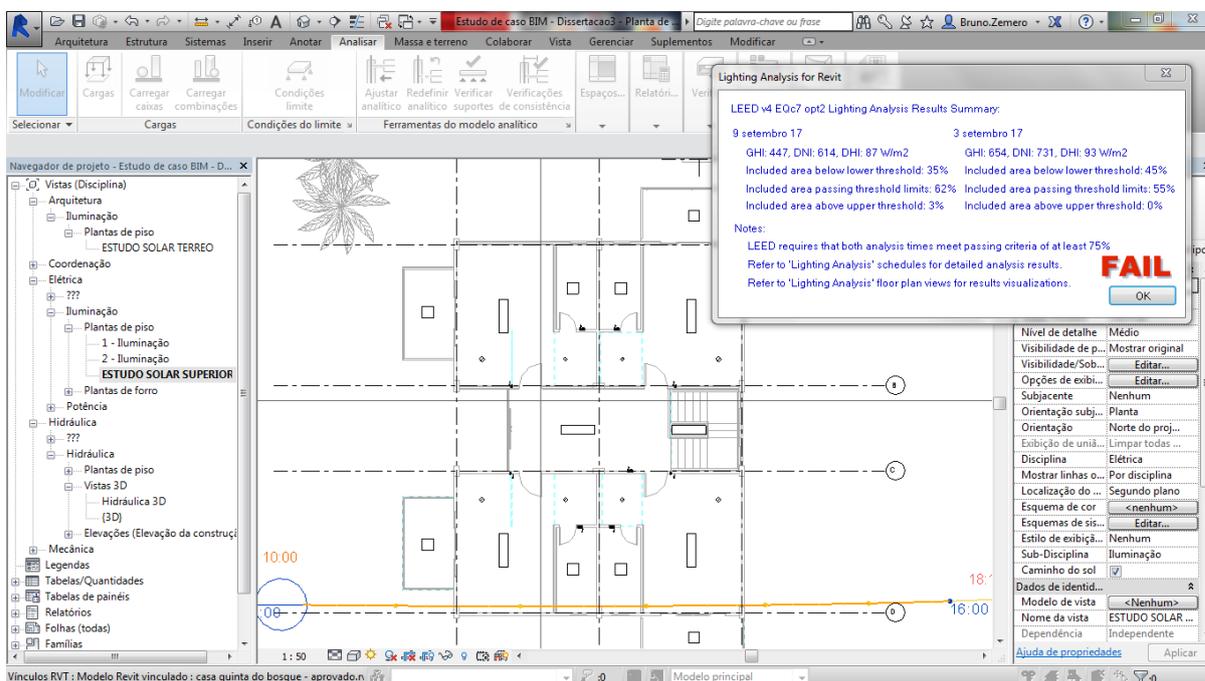
Na Norma 55-2004, o benefício da prestação de controle pessoal de janelas operáveis para os ocupantes do edifício foi acrescentado através da inclusão de um modelo adaptativo de conforto térmico (com base em observações de campo em edifícios ventilados naturalmente). Quando as condições térmicas de um edifício são reguladas principalmente pelos ocupantes, através da abertura e fechamento de janelas, o modelo adaptativo permite uma gama mais ampla de temperaturas operatórias para serem consideradas como condições térmicas aceitáveis.

A realização deste crédito em espaços ventilados naturalmente é complicado, porque é difícil garantir que as condições térmicas continuam dentro da faixa necessária. Alguns tipos de espaços muitas vezes operam fora dos intervalos definidos pela ASHRAE-55, o que pode colocar o projeto em conflito com a concepção de sistemas, quer mecânicos ou passivos, que atendam aos requisitos de crédito.

A mensagem “Fail” é apontada ao final da análise, sinalizando que o projeto não atende aos requisitos de classificação. A análise assume toda a área útil do projeto e a pontuação deve ser superior a 75 por cento de conforto ambiental alcançado para se qualificar para pontos LEED EQc7.1, conforme apresentado na figura 52, através do sinalizador de resultados.

## Capítulo 7 - Simulações de energia e certificação LEED com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Figura 52 - Resultado negativo do projeto de acordo com a LEED v4 EQc7 no software Revit (BIM) com o plugin Lighting Analysis.



Fonte: Elaborada pelo autor

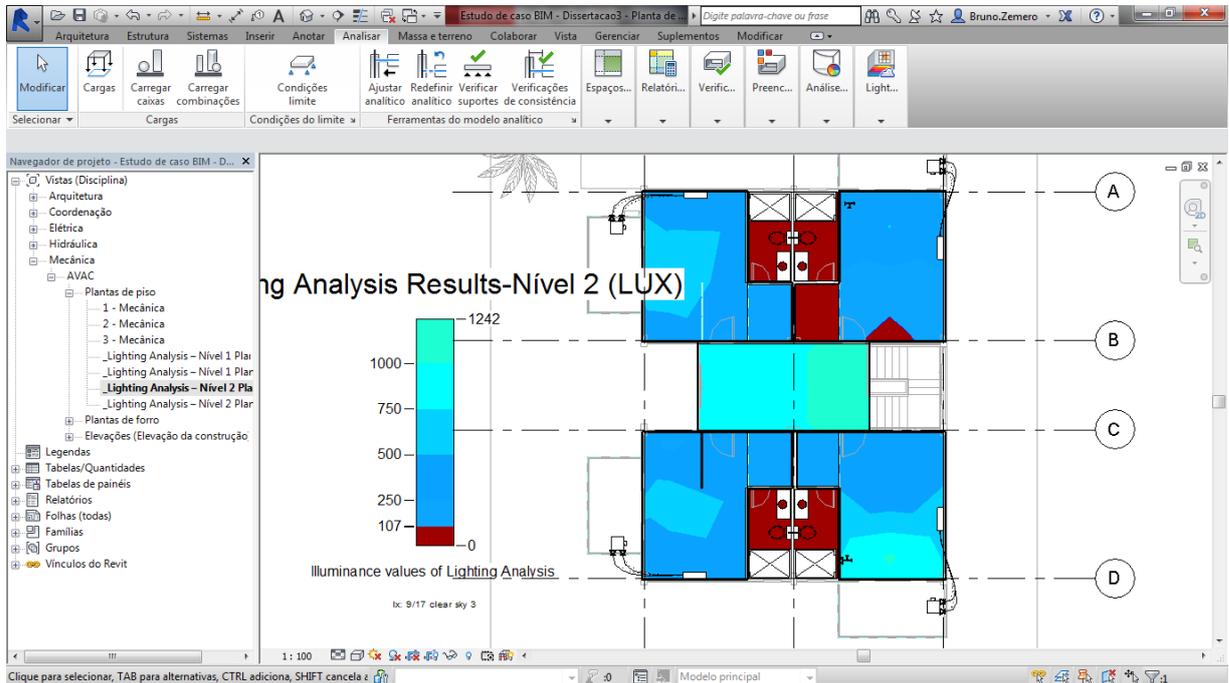
### 7.4.2 LEED IEQc8.2 (Qualidade ambiental interna - Iluminação Natural)

O aumento da luz do dia através do aumento da área de aberturas pode ajudar na classificação LEED IEQc8.2. Quando projetado com controle de brilho próprio e ganho de calor solar minimizado, iluminação natural fornece luz de alta qualidade, enquanto reduz o consumo de energia para iluminação e para o resfriamento. O aumento da luz do dia através do aumento vidros visão pode ajudar a ganhar projetos IEQc8.2 para o acesso a pontos de vista.

Com as estratégias de projeto passivas abordadas no projeto arquitetônico, obteve-se a mensagem "Pass" apontada ao final da análise, sinalizando que o projeto atende aos requisitos de classificação. A análise assume toda a área útil do projeto e a pontuação deve ser superior a 75 por cento de iluminação natural aproveitada para se qualificar para pontos LEED IEQc8.2, conforme apresentado nas figuras 53 e 54.

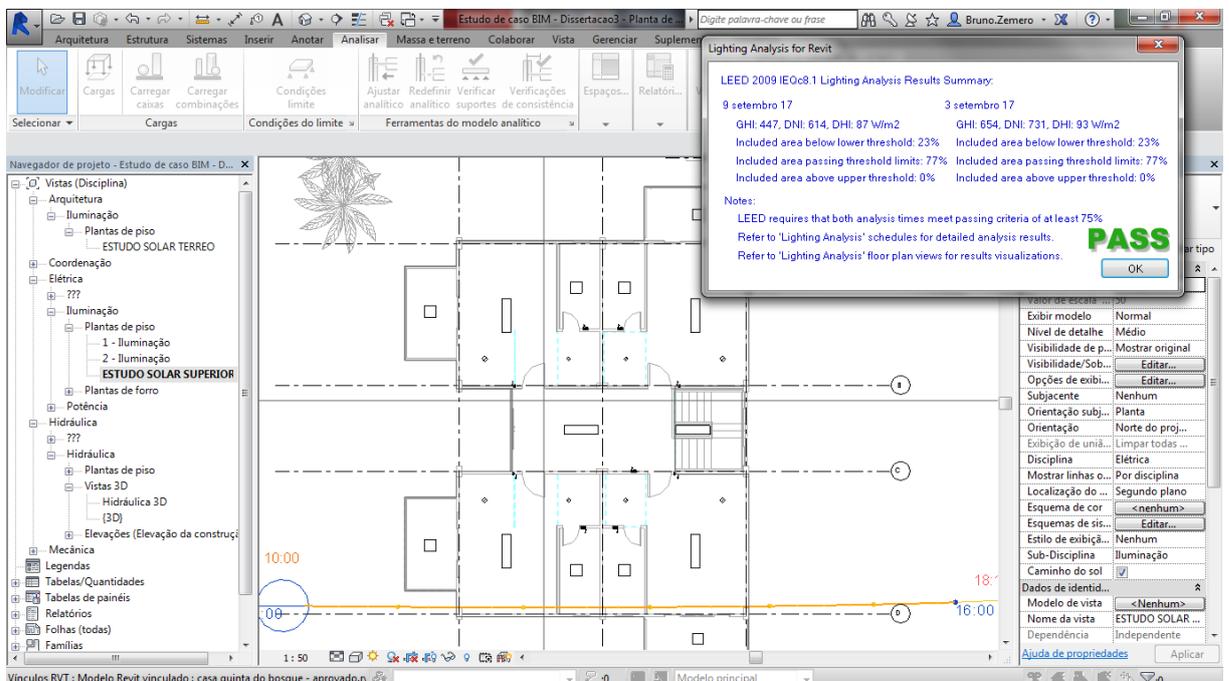
## Capítulo 7 - Simulações de energia e certificação LEED com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Figura 53 – Simulação da iluminação natural no software Revit (BIM) com o *Plugin Lighting Analysis*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 54 - Resultado positivo do projeto de acordo com a LEED IEQc8.1 no software Revit (BIM) com o *Plugin Lighting Analysis*.



Fonte: Elaborada pelo autor

## **Capítulo 7 - Simulações de energia e certificação LEED com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

---

A ferramenta se mostrou muito produtiva e eficaz, resolvendo o problema de comunicação e produtividade, proporcionando projetos com maior eficiência e qualidade, em tempo reduzido, funcionando de forma eficaz para obtenção de selo LEED, que é uma das certificações já utilizadas no Brasil, de forma voluntária.

Tomando como referência o método de trabalho para certificação do LEED pelo Revit, percebeu-se que este sistema também seria uma alternativa potencial para a inserção do RTQ-C na tecnologia BIM, através da criação de um *plugin* motor de simulação que atenda aos requisitos necessários para gerar a etiqueta. No capítulo seguinte serão realizadas análises de compatibilidade da tecnologia BIM com o método prescritivo e o método de simulação, ressaltando sua viabilidade, vantagens e limitações.

***Capítulo 8 - Etiquetação do Procel com o  
auxílio da Tecnologia BIM aplicada ao estudo  
de caso***

---

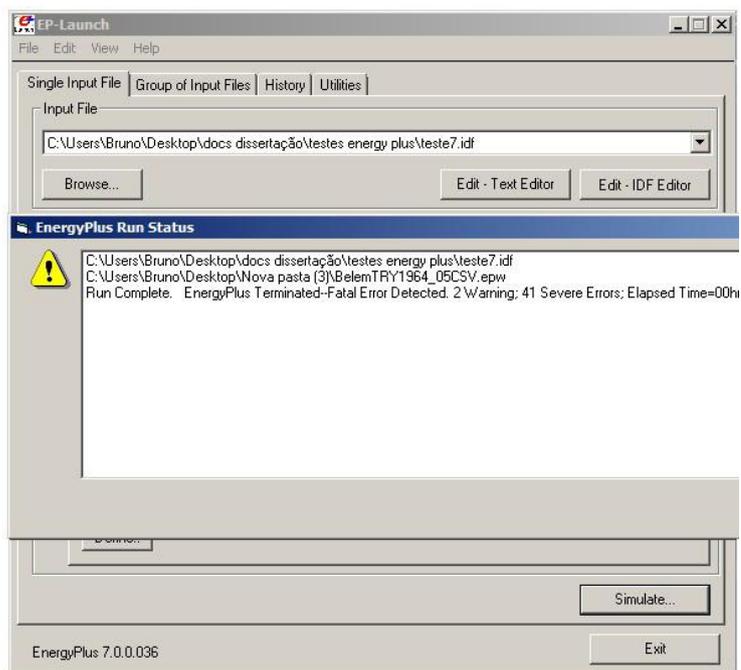
## 8.1 MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ X BIM

### a) Tentativa de simulação do modelo do Revit simulado pelo *Energy Plus*

A interoperabilidade do BIM com softwares de simulação detalhada, como o *Energy Plus* é de fundamental importância para projetos mais eficientes energeticamente e para certificações que utilizam essa plataforma para verificar o nível de eficiência energética alcançado, como a etiquetagem do Procel pelo método da simulação.

Verificou-se que esta ainda é uma barreira, no quesito interoperabilidade da Tecnologia BIM com o *Energy Plus*, pois constatou-se erro ao executar a simulação. Como primeira tentativa de leitura do arquivo BIM pelo *Energy Plus*, exportou-se para o formato gbxml para a leitura no software *Energy Plus*. O motor de simulação apresentou erro, conforme a figura 55.

Figura 55 – Erro de interoperabilidade entre o BIM e *Energy Plus*.



Fonte: Elaborada pelo autor

### b) Tentativa de simulação do modelo do Revit transferido para o Sketchup e simulado pelo *Plugin Open Studio do Energy Plus*.

Como segunda tentativa de leitura do arquivo BIM pelo *Energy Plus*, exportou-se para o formato *dxf* para a leitura no software *Sketchup* (figura 69), que

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

possui um *plugin* para simulações do *Energy Plus*. O resultado também não foi satisfatório, uma vez que o arquivo *dwf* não armazena os parâmetros necessários para as simulações energéticas, caracterizando uma volumetria 3D sem desempenho energético de materiais, condicionamento de ar e iluminação artificial e iluminação natural, necessários para a simulação do consumo energético. O resultado é mostrado na tabela 16, onde foi possível realizar a relatório de energia detalhado, porem com os dados de usos finais nulos.

Tabela 16 – Erro na simulação do arquivo BIM exportado para dxf para simulação no Open Studio (*Plugin* do *Energy Plus* para *Sketchup*)

### End Uses

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Additional Fuel [GJ]	District Cooling [GJ]	District Heating [GJ]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Elaborada pelo autor

c) Tentativa de simulação do modelo do Revit transferido para o *Design Builder* que possui módulo do *Energy Plus* integrado

Como terceira tentativa exportou-se o arquivo *gbxml* para o software *Design Builder* que trabalha em conjunto com o simulador *Energy Plus* e verificou-se que é possível gerar simulação do consumo dos usos finais da edificação utilizando os dados armazenados pelo modelo BIM, conforme apresenta a tabela 17.

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Tabela 17 – Sucesso na simulação do arquivo BIM exportado para simulação no *Design Builder* (Software 3D que possui o *Energy Plus* integrado).

### End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	32299.25	0.00	0.00
Interior Lighting	5909.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	4065.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	353.80	5.54
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	9975.02	0.00	0.00	32299.25	353.80	5.54

Fonte: Elaborada pelo autor

## 8.2 MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ X BIM

Nesta etapa, verificou-se o nível de contribuição do BIM para obtenção dos dados requeridos pelo RTQ-C pelo método prescritivo, para obtenção da etiqueta parcial de envoltória, iluminação, condicionamento de ar e a etiqueta geral da edificação. O estudo de caso é uma residência com uso comercial.

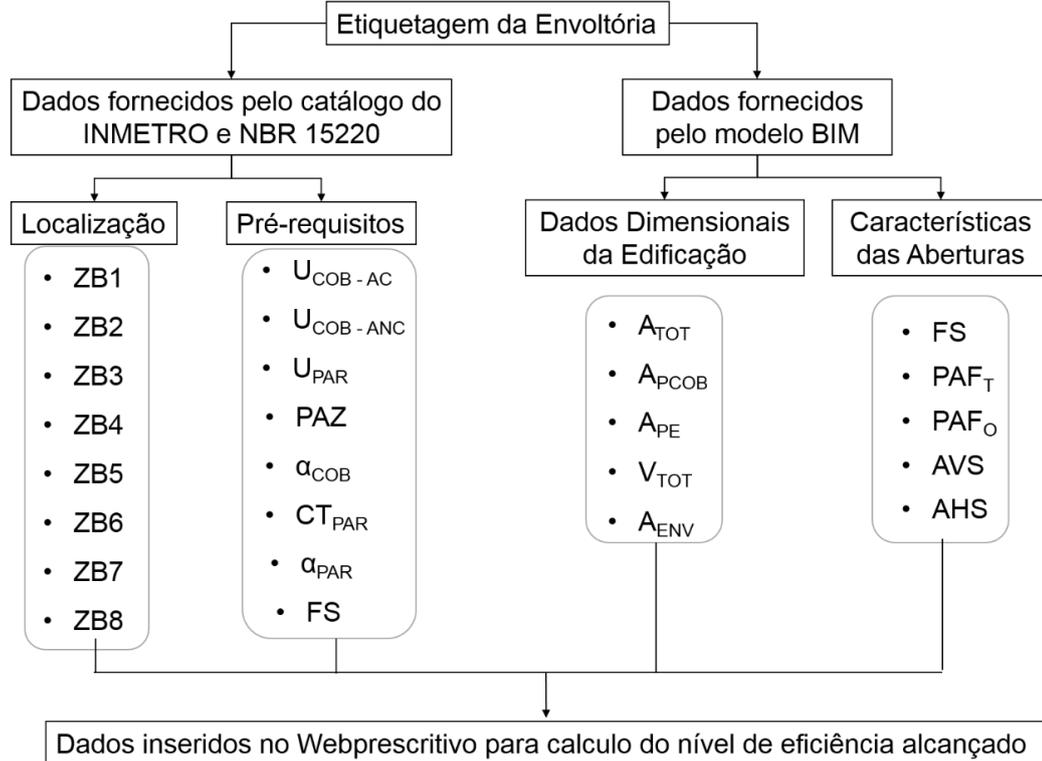
A seguir, serão coletados os dados necessários para classificação da envoltória segundo o método prescritivo do RTQ-C. Após o processo de coleta dos dados necessários para a etiquetagem, foram realizadas alterações no modelo BIM para o alcance do nível máximo de eficiência, conforme consta nas “Diretrizes para obtenção do Nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas Zona Bioclimática 8”

Por fim, para o cálculo do nível de classificação será utilizado o aplicativo webprescritivo que gera o resultado através da inserção dos dados coletados. O aplicativo é disponibilizado no link: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>.

### 8.2.1 Etiqueta parcial de Envolvória

A seguir é apresentado o organograma com o método utilizado para obtenção no nível de eficiência da envoltória.

Organograma 2 – Método de etiquetagem da envoltória com o auxílio da tecnologia BIM e Webprescritivo.



Fonte: Elaborada pelo autor

#### a) Pré-requisitos

UCOB: Transmitância Térmica da Cobertura ( $W/(m^2K)$ ): transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes (RTQ-C, 2009). Ver AC e ANC.

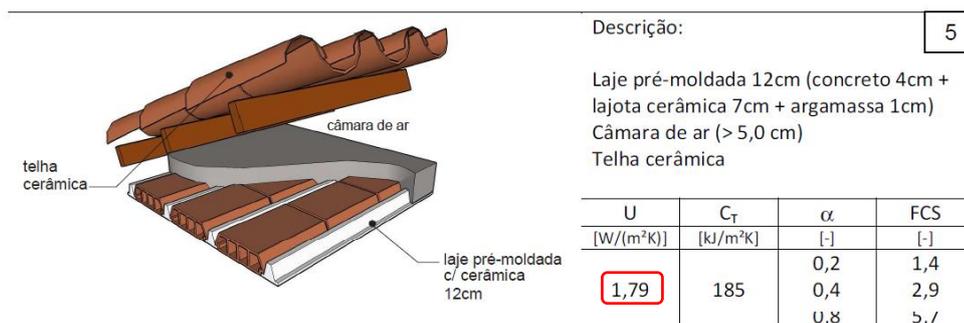
- AC: Área Condicionada ( $m^2$ ): área útil dos ambientes condicionados, ou seja, ambientes fechados (incluindo fechamento por cortinas de ar) atendidos por sistema de condicionamento de ar. De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A este parâmetro deve ser  $U \leq 1,00$ ;
- ANC: Área Não Condicionada ( $m^2$ ): área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de conforto

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

conforme descrito no item 6 do RTQ-C. De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A este parâmetro deve ser  $U \leq 2,00$ .

A cobertura escolhida para o projeto foi a apresentada na figura 56, a qual apresenta valor aproximado à recomendação descrita anteriormente, coletada do Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas do INMETRO

Figura 56 – Transmitância Térmica da Cobertura.



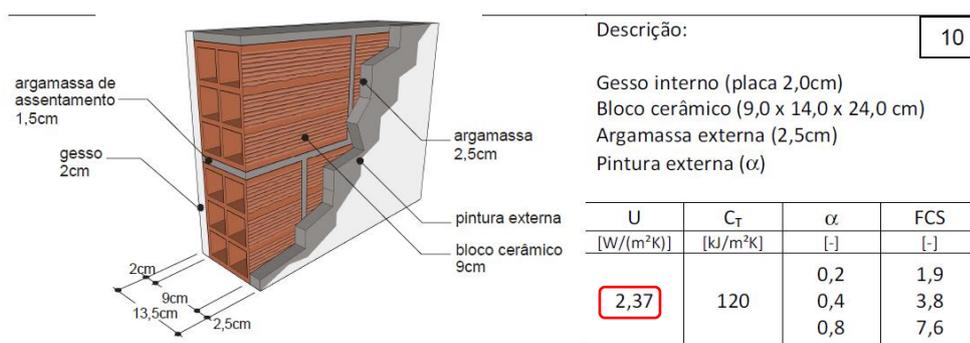
Fonte: Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013

UPAR: Transmitância Térmica das Paredes (W/(m²K)): transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas), incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes (RTQ-C, 2009).

De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser  $U \leq 2,50$  ( $CT \leq 80\text{kJ/m}^2\text{K}$ );  $U \leq 3,7$  ( $CT > 80\text{kJ/m}^2\text{K}$ ).

A parede escolhida para o projeto foi a apresentada na figura 57, a qual apresenta valor aproximado à recomendação descrita anteriormente, coletada do Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas do INMETRO.

Figura 57 – Transmitância Térmica das Paredes.



Fonte: Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013

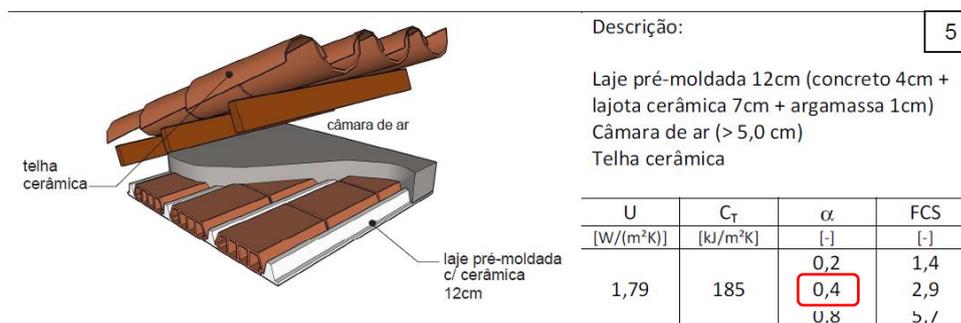
PAZ: Percentual de Abertura Zenital (%): percentual de área de abertura zenital na cobertura. Refere-se exclusivamente a aberturas em superfícies com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Deve-se calcular a projeção horizontal da abertura. Acima desta inclinação, ver PAFT (RTQ-C, 2009).

De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser 0 a 2% para paredes externas e 2,1 a 3%, 3,1 a 4%, 4,1 a 5% para coberturas. O projeto não apresenta abertura zenital, logo PAZ=0

$\alpha$ COB: Absortância Solar da Cobertura (%): quociente da taxa de radiação solar absorvida pela cobertura pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma (RTQ-C, 2009).

De acordo com as diretrizes, para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser  $\alpha \leq 0,50$ . A cobertura escolhida para o projeto foi a apresentada na figura 58, a qual apresenta valor aproximado à recomendação descrita anteriormente, coletada do Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas do INMETRO.

Figura 58 – Absortância Térmica da Cobertura.

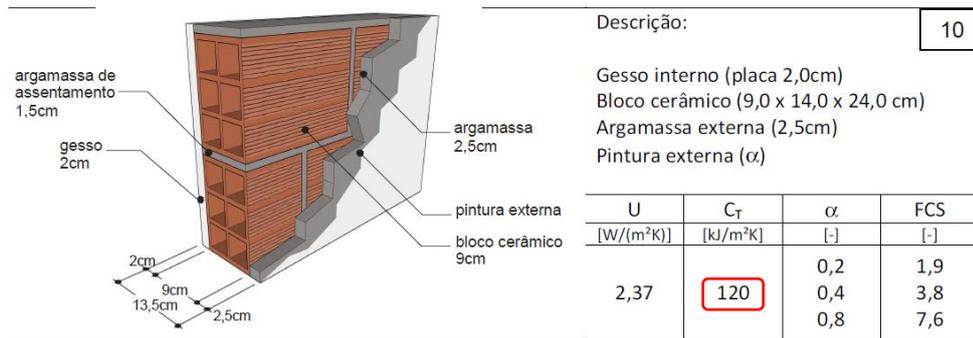


Fonte: Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013

CTPAR: Capacidade Térmica das Paredes (kJ/(m²K)): quociente da quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura das paredes pela sua área (RTQ-C, 2009).

De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser (CT ≤ 80kJ/m²K); (CT > 80kJ/m²K). A parede escolhida para o projeto foi a apresentada na figura 59, descrita anteriormente, coletada do Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas do INMETRO.

Figura 59 – Capacidade Térmica das Paredes.



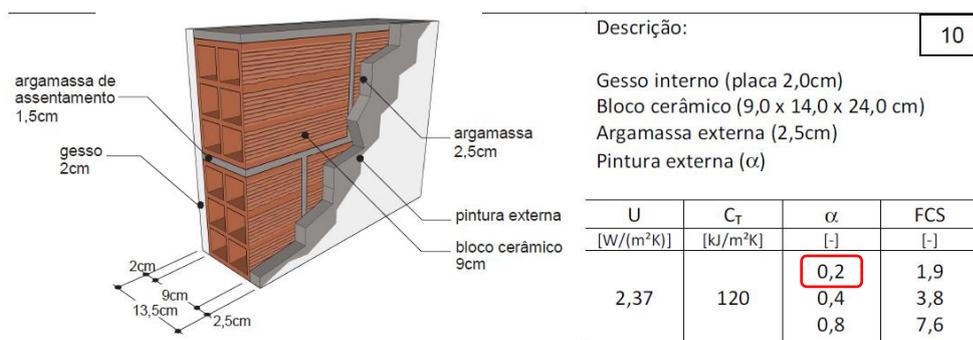
Fonte: Anexo da portaria INMETRO N° 50/ 2013

$\alpha$ PAR: Absortância Solar das Paredes (%): quociente da taxa de radiação solar absorvida pelas paredes pela taxa de radiação solar incidente sobre as mesmas (RTQ-C, 2009).

De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser  $\alpha \leq 0,50$ .

A parede escolhida para o projeto foi à apresentada na figura 60, a qual apresenta valor aproximado à recomendação descrita anteriormente, coletada do Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas do INMETRO

Figura 60 – Absortância Térmica das Paredes.



Fonte: Anexo da portaria INMETRO N° 50/ 2013

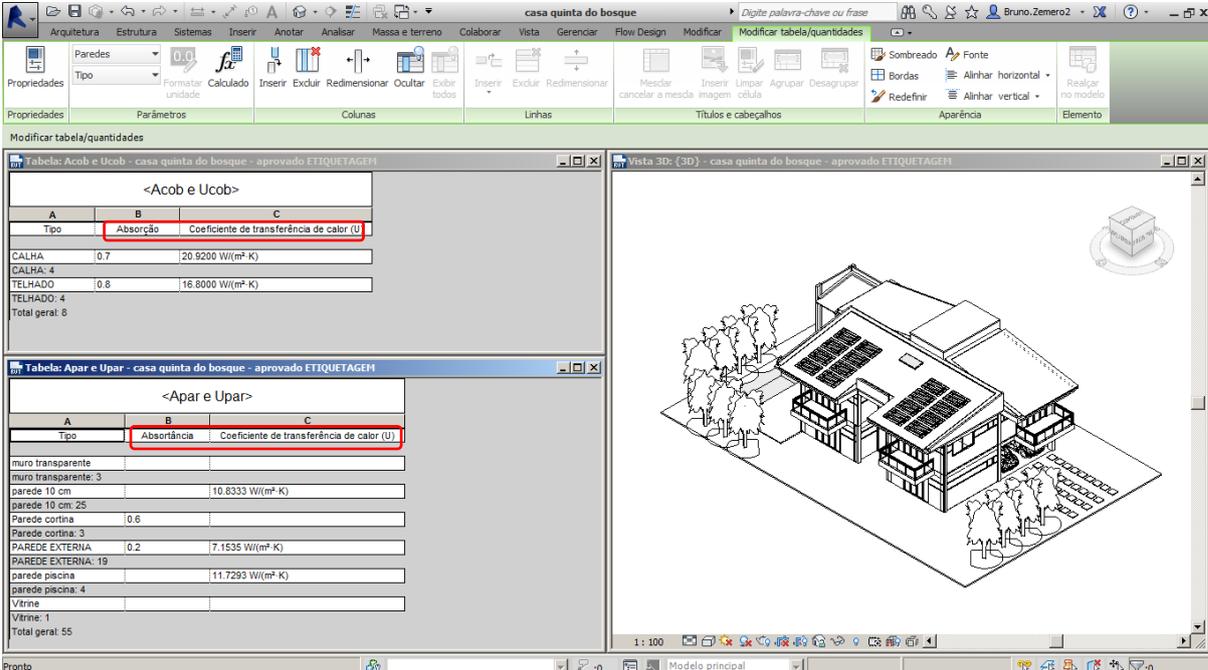
FS: Fator Solar: razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é reirradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal à abertura (RTQ-C, 2009).

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

De acordo com as diretrizes para obtenção do nível A, este parâmetro deve ser 0,87 para paredes externas e 0,67, 0,52 ou 0,3 para coberturas. Como o projeto não apresenta abertura zenital, o fator solar é nulo.

Diante dos parâmetros de desempenho térmico dos materiais, coletados dos catálogos, pode-se perceber que a tecnologia BIM armazena esses dados, podendo manipulá-los, criando modelos com desempenho energético de materiais pré-definidos, conforme apresentado na figura 61.

Figura 61 – Absortância e Transmitância da Cobertura e paredes no software Revit (BIM).



The screenshot shows the Revit software interface with two tables open. The top table, titled '<Acob e Ucob>', lists thermal properties for roof elements. The bottom table, titled '<Apar e Upar>', lists thermal properties for wall elements. In both tables, the 'Absorção' (Absorptance) and 'Coeficiente de transferência de calor (U)' (Coefficient of heat transfer) columns are highlighted with red boxes.

A	B	C
Tipo	Absorção	Coeficiente de transferência de calor (U)
CALHA	0.7	20.9200 W/(m²·K)
CALHA: 4		
TELHADO	0.6	16.8000 W/(m²·K)
TELHADO: 4		
Total geral: 8		

A	B	C
Tipo	Absortância	Coeficiente de transferência de calor (U)
muro transparente		
muro transparente: 3		
parede 10 cm		10.8333 W/(m²·K)
parede 10 cm: 25		
Parede cortina	0.6	
Parede cortina: 3		
PAREDE EXTERNA	0.2	7.1535 W/(m²·K)
PAREDE EXTERNA: 19		
parede piscina		11.7293 W/(m²·K)
parede piscina: 4		
Vitrine		
Vitrine: 1		
Total geral: 55		

Fonte: Elaborada pelo autor

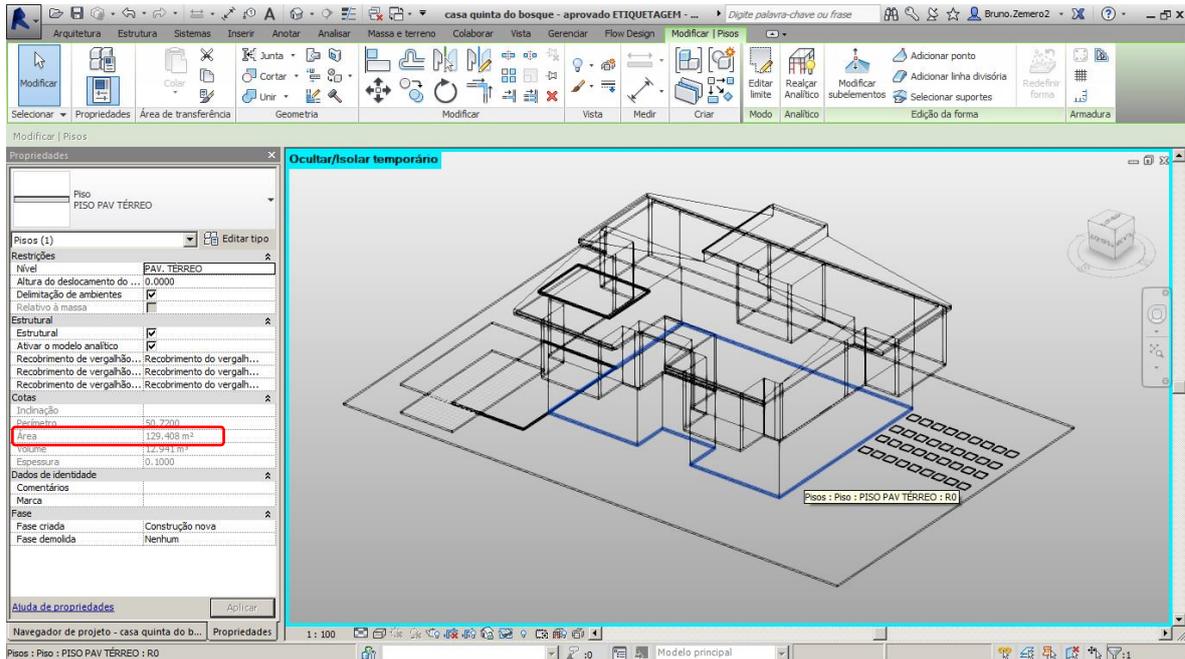
### b) Dados Dimensionais da Edificação

ATOT: Área Total Construída (m<sup>2</sup>): soma das áreas de piso dos ambientes fechados da construção, medidas externamente (RTQ-C, 2009).

Para este parâmetro, o projeto possui 129,48 m<sup>2</sup> térreo, mais 155,34 m<sup>2</sup> do pav. Superior correspondendo a 284,82 m<sup>2</sup> de área total. As figuras 62 e 63 mostram o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

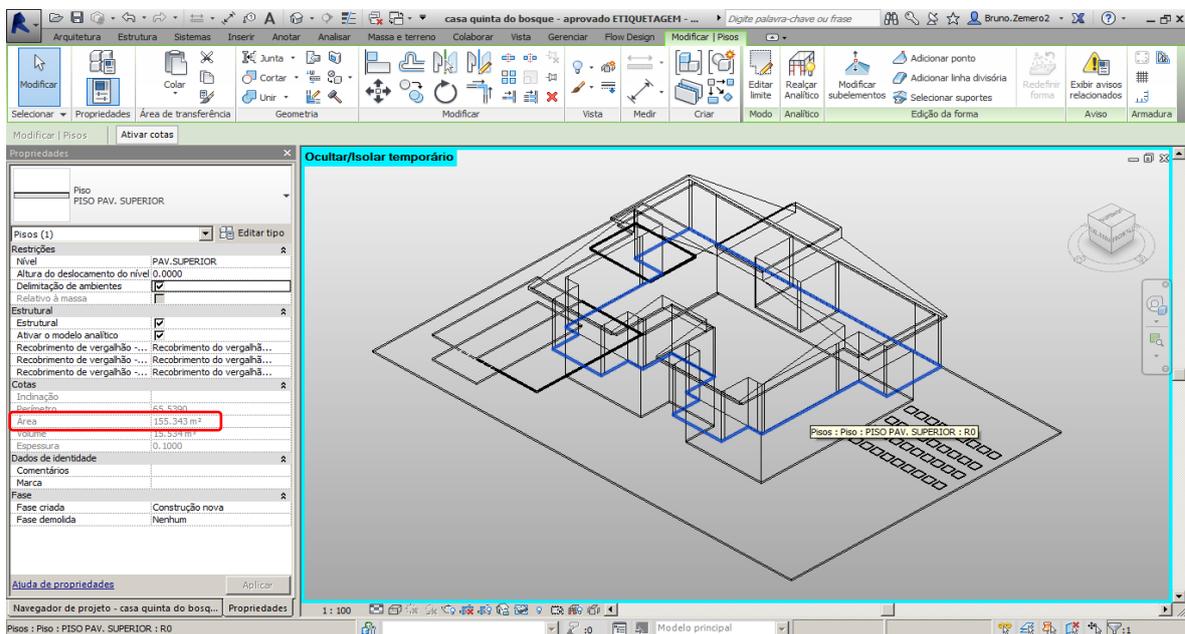
## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Figura 62 – Área do Pav. Térreo no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 63 – Área do Pav. Superior no software Revit (BIM).



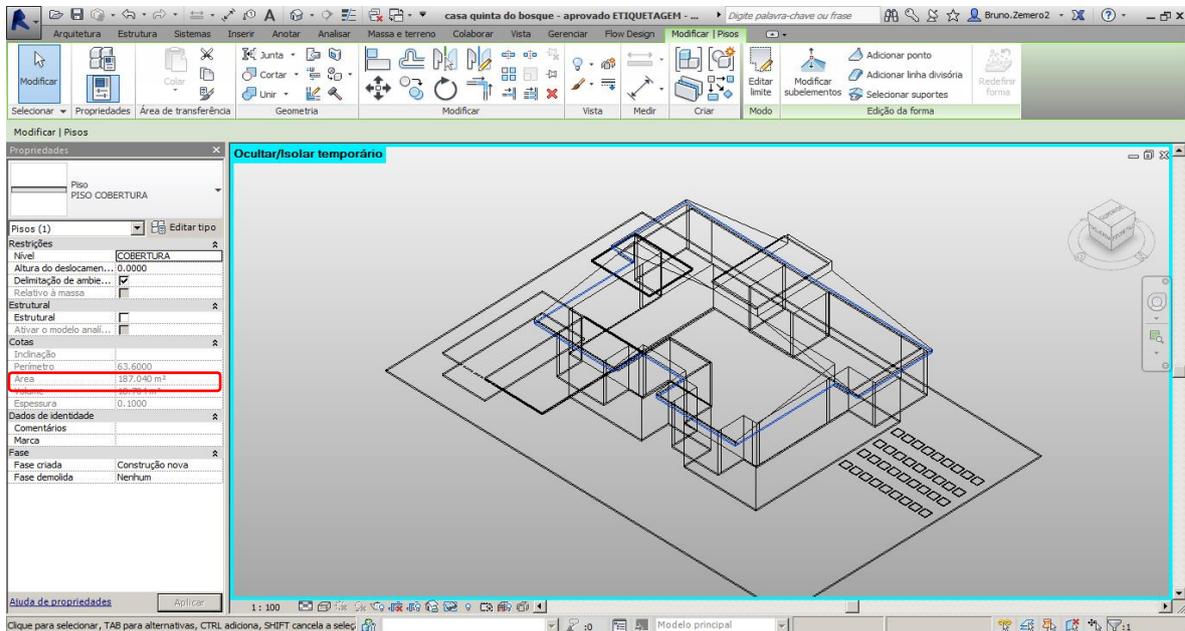
Fonte: Elaborada pelo autor

APCOB: Área de Projeção da Cobertura (m<sup>2</sup>): área da projeção horizontal da cobertura, incluindo terraços cobertos ou descobertos e excluindo beirais, marquises e coberturas sobre varandas – esta última, desde que fora do alinhamento do edifício (RTQ-C, 2009).

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Para este parâmetro, o projeto possui 187,40 m<sup>2</sup>. A figura 64 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Figura 64 – Área de Projeção da Cobertura no software Revit (BIM).

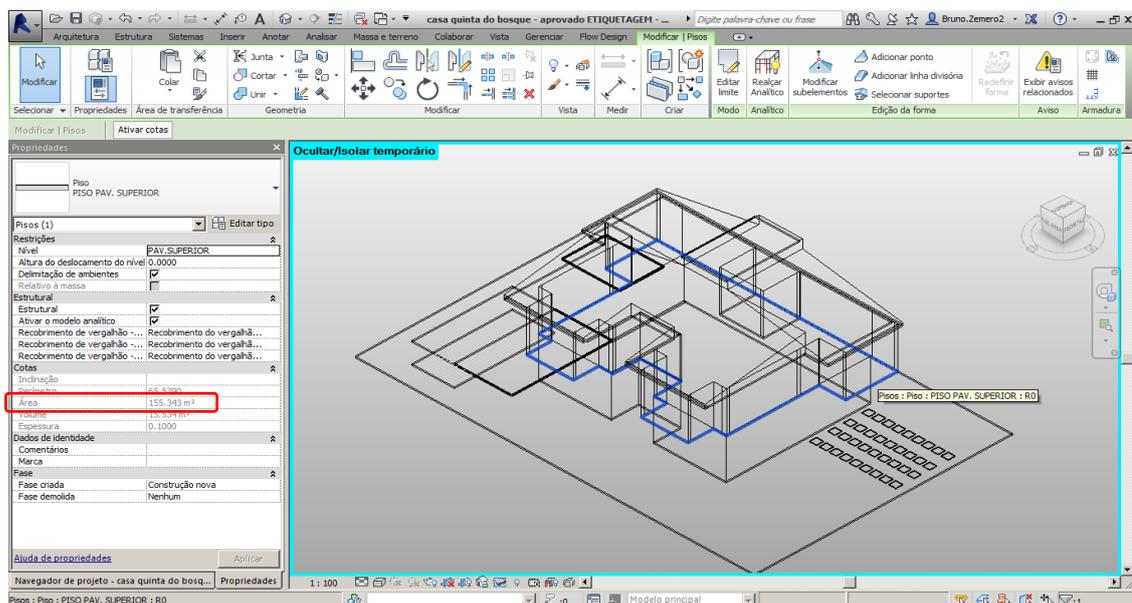


Fonte: Elaborada pelo autor

APE: Área de Projeção do Edifício (m<sup>2</sup>): área de projeção média dos pavimentos, excluindo subsolos (RTQ-C, 2009).

Para este parâmetro, o projeto possui 155 m<sup>2</sup>. A Figura 65 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Figura 65 – Área de Projeção do Edifício no software Revit (BIM).



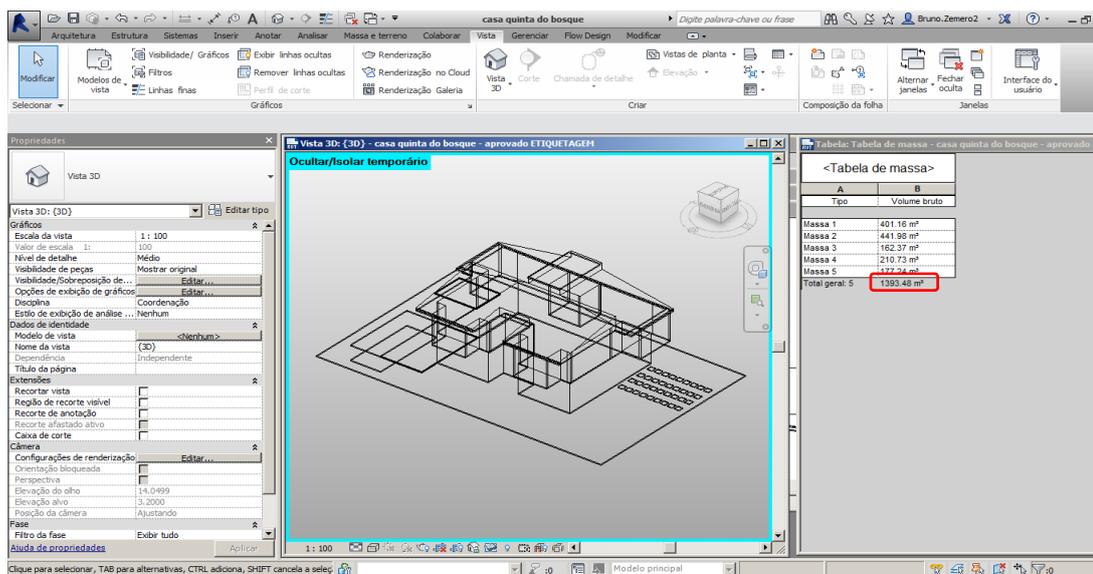
Fonte: Elaborada pelo autor

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

VTOT: Volume Total da Edificação ( $m^3$ ): volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos (RTQ-C, 2009).

Para este parâmetro, o projeto possui  $1393,48 m^3$ . A Figura 66 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Figura 66 – Volume Total da Edificação no software Revit (BIM).

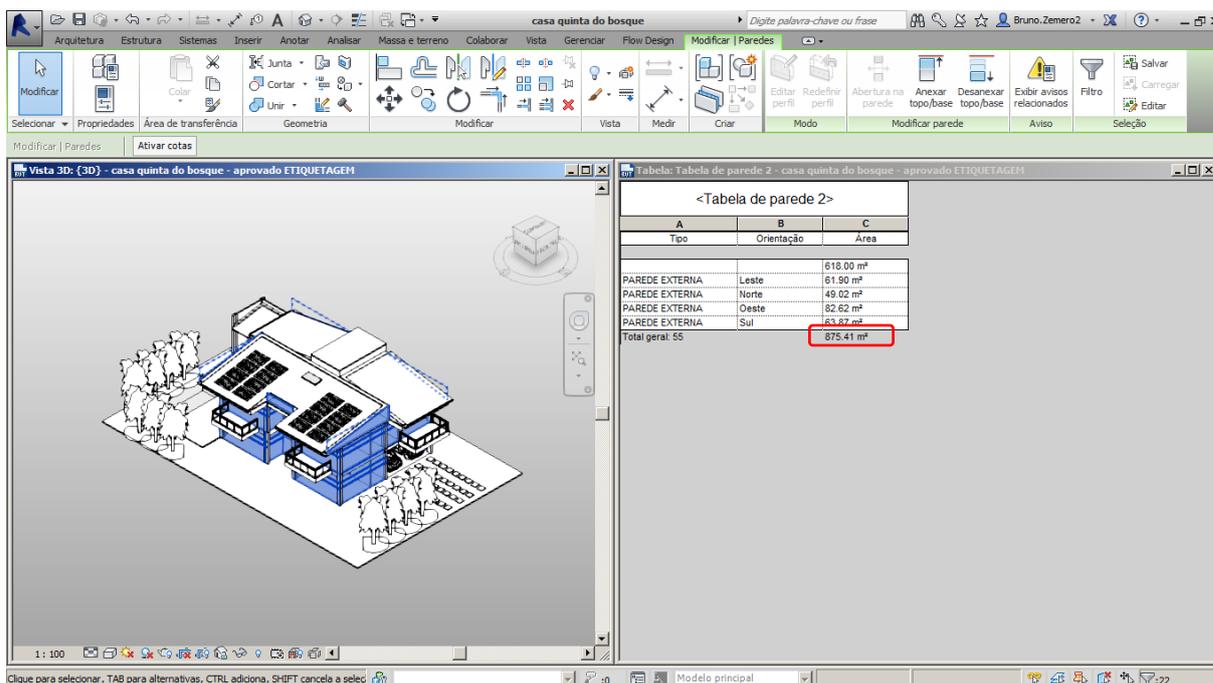


Fonte: Elaborada pelo autor

AENV: Área da Envoltória ( $m^2$ ): soma das áreas das fachadas, empenas e cobertura, incluindo as aberturas (RTQ-C, 2009).

Para este parâmetro, o projeto possui  $287 m^2$  de parede e  $187 m^2$  de cobertura. A Figura 67 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Figura 67 – Área da Envoltória no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

### c) Características das Aberturas

FS: Fator Solar: razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo vidro e a radiação solar absorvida, que é reirradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal à abertura (RTQ-C, 2009). O vidro escolhido é apresentado na tabela 18, que apresenta fator solar de 0,37, coletado do catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros do INMETRO.

Tabela18 – Fator solar dos vidros.

Nº	Tipo de vidro	Camadas e espessuras (mm)	FS	α	U
09	Laminado verde A	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	0,37	50%	5,7

Fonte: Anexo geral V – catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros

PAFT: Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (%): é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento

## Capítulo 8 - Etiquetação do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. Refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou “sheds” mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura. Exclui área externa de caixa d’água da área de fachada, mas inclui a área da caixa de escada até o ponto mais alto da cobertura (cumeeira) (RTQ-C, 2009).

Para cálculo do PAFT, devem-se determinar as áreas de materiais transparentes ou translúcidos de cada abertura, excluindo os materiais opacos das esquadrias. Nas tabelas de 19 a 24 são apresentados estes dados, coletados no Revit e somados no Excel.

Tabela 19 – Áreas de todas as janelas de vidro das fachadas no software Revit (BIM).

<Tabela de janela>			
A	B	C	D
pp	Largura	Altura	Área
B 0.60	0.60	0.60	2.52 m <sup>2</sup>
B 0.60: 7			2.52 m <sup>2</sup>
J 2.00	2.00	1.10	13.20 m <sup>2</sup>
J 2.00: 6			13.20 m <sup>2</sup>
Total geral: 13			15.72 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 20 – Áreas de todas as paredes de vidro das fachadas no software Revit (BIM).

Parede cortina	Parede de vidro abertura deslizante	8.47 m <sup>2</sup>
Parede cortina	Parede de vidro abertura deslizante	6.76 m <sup>2</sup>
Parede cortina	Parede de vidro abertura deslizante	8.70 m <sup>2</sup>
Parede cortina: 3		

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 21 – Áreas de todas as portas de vidro das fachadas no software Revit (BIM).

<Tabela de porta>			
A	B	C	D
Tipo	Largura	Altura	Área
P 0.60			
P 0.60	4.20	15.40	9.24 m <sup>2</sup>
P 0.60: 7	4.20	15.40	9.24 m <sup>2</sup>
P 0.80			
P 0.80	4.00	11.00	8.80 m <sup>2</sup>
P 0.80: 5	4.00	11.00	8.80 m <sup>2</sup>
P 1.20			
P 1.20	1.20	2.20	2.64 m <sup>2</sup>
P 1.20: 1	1.20	2.20	2.64 m <sup>2</sup>
P 2.30			
P 2.30	18.40	17.60	40.48 m <sup>2</sup>
P 2.30: 8	18.40	17.60	40.48 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 22 – Soma de todas as áreas das aberturas de vidro das fachadas no Excel.

Aberturas de vidro	Área
Balancins	2,52
Janelas	13,2
Paredes de vidro	23,93
Portas de vidro	40,48
<b>Total</b>	<b>80,13 m<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 23 – Áreas de todas as fachadas no software Revit (BIM).

<Tabela de parede>		
A	B	C
Tipo	Orientação	Área
		340.05 m <sup>2</sup>
: 36		340.05 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Leste	41.66 m <sup>2</sup>
Leste: 5		41.66 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Norte	40.68 m <sup>2</sup>
Norte: 3		40.68 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Oeste	70.60 m <sup>2</sup>
Oeste: 4		70.60 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Sul	48.63 m <sup>2</sup>
Sul: 3		48.63 m <sup>2</sup>
Total geral: 51		541.62 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 24 – Soma de todas as áreas das aberturas das fachadas no Excel.

<b>Paredes</b>	<b>Área</b>
Parede Fachada Norte	40,68
Parede Fachada Sul	48,63
Parede Fachada Leste	41,66
Parede Fachada Oeste	70,6
<b>Total</b>	<b>201,57m<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir é apresentado o cálculo do PAFT, que é a Razão entre o somatório das aberturas presentes nas fachadas pela área total de fachadas (PAFT) realizado no Excel.

$$\text{PAFT} = \frac{80,13}{201,57} = \mathbf{0,39}$$

PAFO: Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste (%): é calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, da fachada oeste e a área da fachada oeste (RTQ-C, 2009).

Nas tabelas de 25 e 26 são apresentados o somatório das aberturas da fachada oeste e a área da parede oeste, respectivamente.

Tabela 25 – Cálculo das áreas de todas as aberturas da fachada oeste no software Excel.

<b>Aberturas</b>	<b>Área</b>
Parede de vidro Fachada Oeste	6,76
Janelas Fachada Oeste	6,6
Balancim Fachada Oeste	0,36
Porta de vidro Fachada Oeste	5,06
<b>Total</b>	<b>18,78m<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 26 – Área da fachada oeste no software Revit (BIM).

<Tabela de parede>		
A	B	C
Tipo	Orientação	Área
		340.05 m <sup>2</sup>
: 36		340.05 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Leste	41.66 m <sup>2</sup>
Leste: 5		41.66 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Norte	40.68 m <sup>2</sup>
Norte: 3		40.68 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Oeste	70.60 m <sup>2</sup>
Oeste: 4		70.60 m <sup>2</sup>
PAREDE EXTERNA	Sul	48.63 m <sup>2</sup>
Sul: 3		48.63 m <sup>2</sup>
Total geral: 51		541.62 m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir é apresentado o cálculo do PAFo, que é Razão entre o somatório das aberturas presentes na fachada oeste pela área de Fachada Oeste (PAFo), realizado no Excel.

$$PAFo = \frac{18,78}{70,6} = 0,26$$

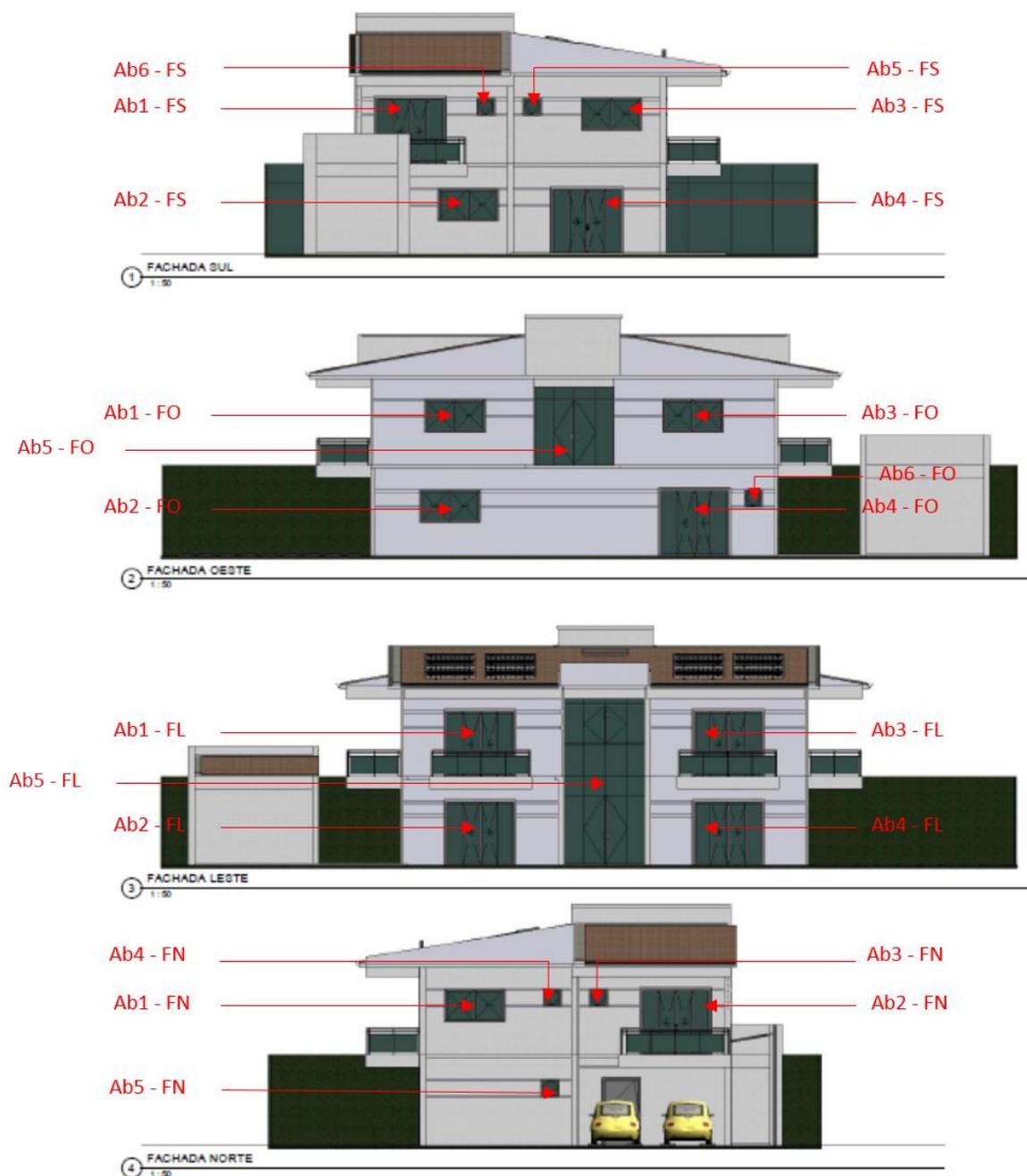
Ângulos de sombreamento: São ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. No RTQ são usados dois ângulos: ângulo vertical de sombreamento (AVS - referente a proteções horizontais) e ângulo horizontal de sombreamento (AHS - referente a proteções verticais) (RTQ-C, 2009).

Para as Zonas Bioclimáticas 6 e 8, com uma Ape menor que 500 m<sup>2</sup> o AVS possui uma restrição maior, com um limite de 25°. Este limite visa a evitar o uso de proteções excessivas que possam prejudicar a penetração da luz natural difusa nos ambientes internos.

A Figura 68 identifica as aberturas com as proteções solares que serão calculadas para obtenção dos ângulos de sombreamentos, adotando códigos para cada abertura, por exemplo, “Ab1 – FS”, ou seja, Abertura 1 - Fachada Sul e assim sucessivamente para as fachadas norte, leste e oeste.

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Figura 68 – Identificação das aberturas com proteções solares no software Revit (BIM) para o cálculo de AVS e AHS.

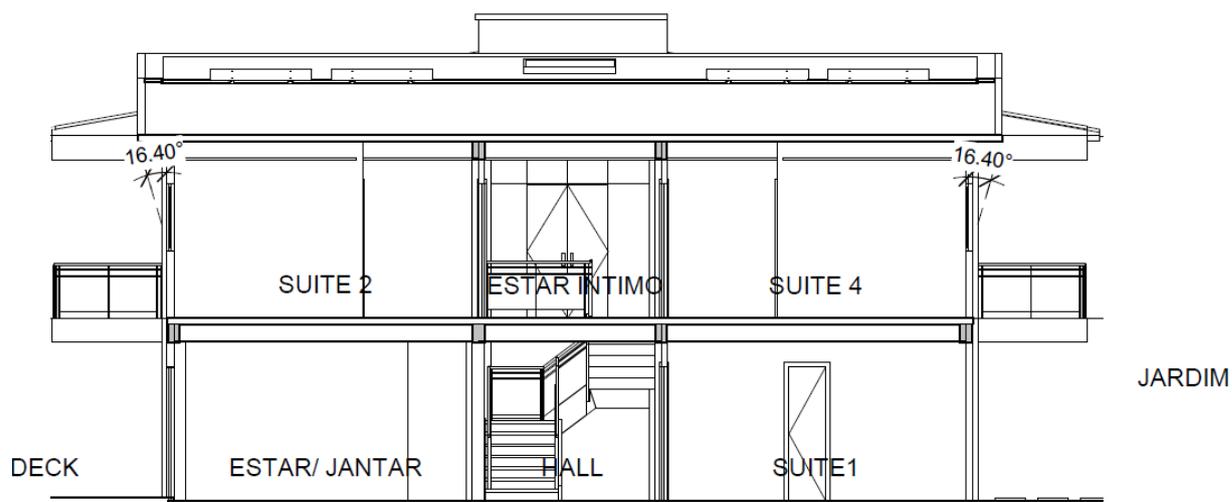


Fonte: Elaborada pelo autor

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento: ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura (RTQ-C, 2009).

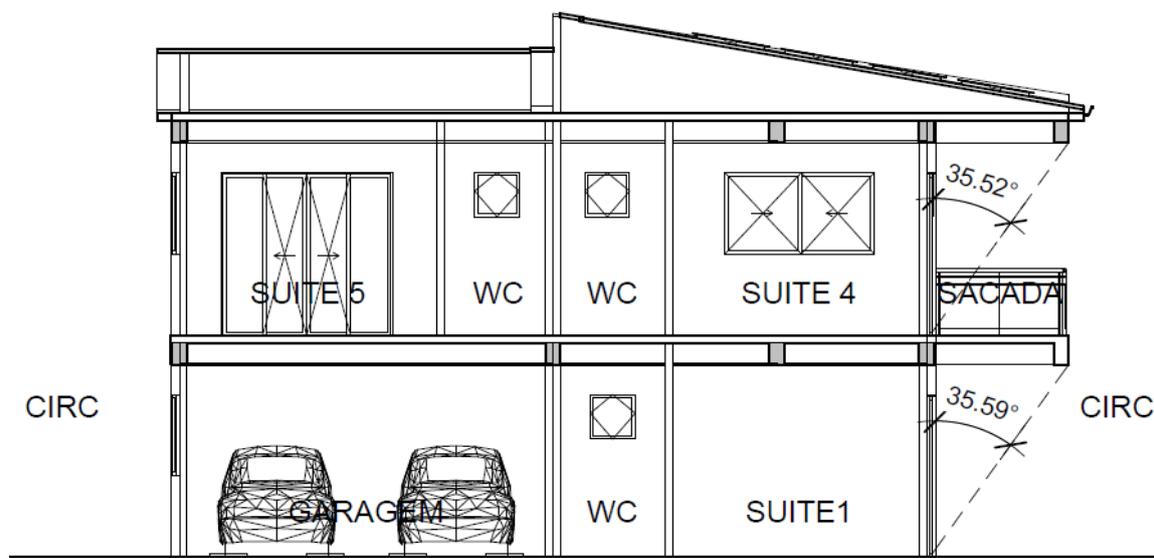
As Figuras 69 a 73 mostram o fornecimento dos AVS, no software Revit (BIM).

Figura 69 – Secção longitudinal 1 mostrando os AVS no software Revit (BIM)



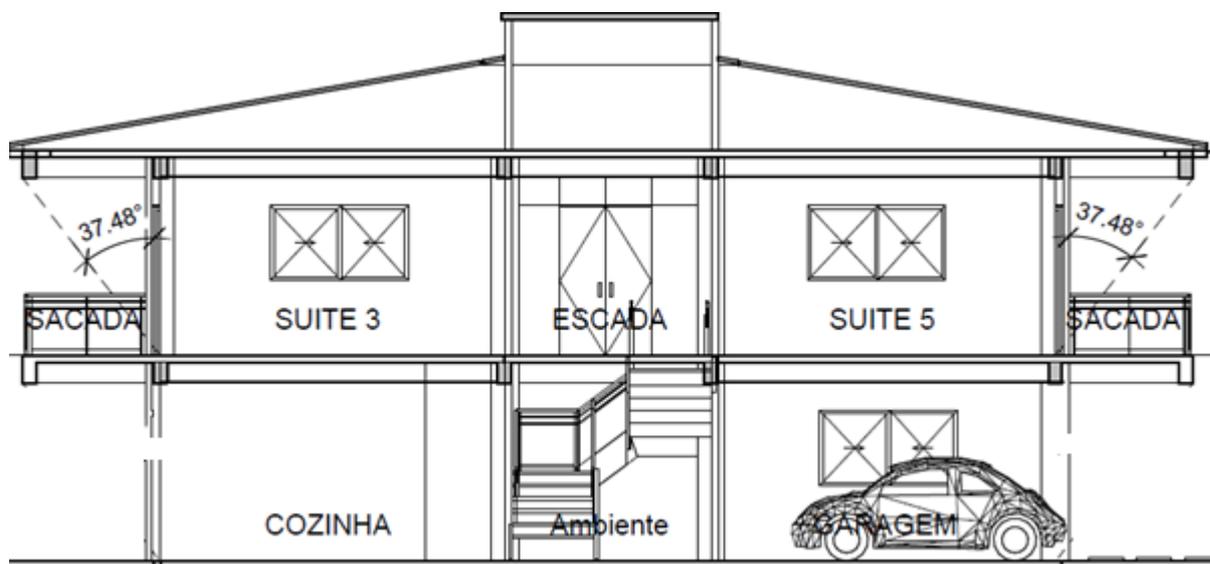
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 70 – Seção transversal 1 mostrando os AVS no software Revit (BIM).



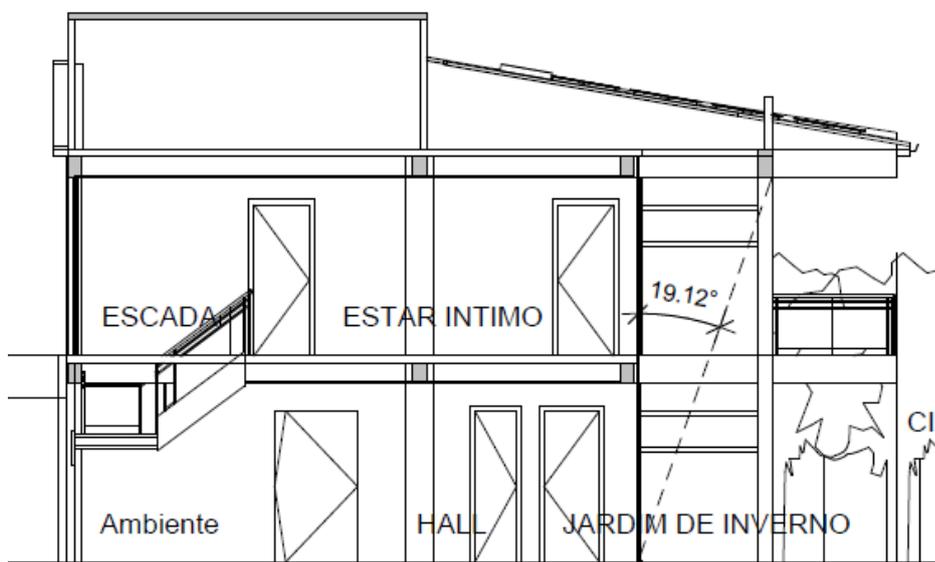
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 71 – Seção longitudinal 2 mostrando os AVS no software Revit (BIM).



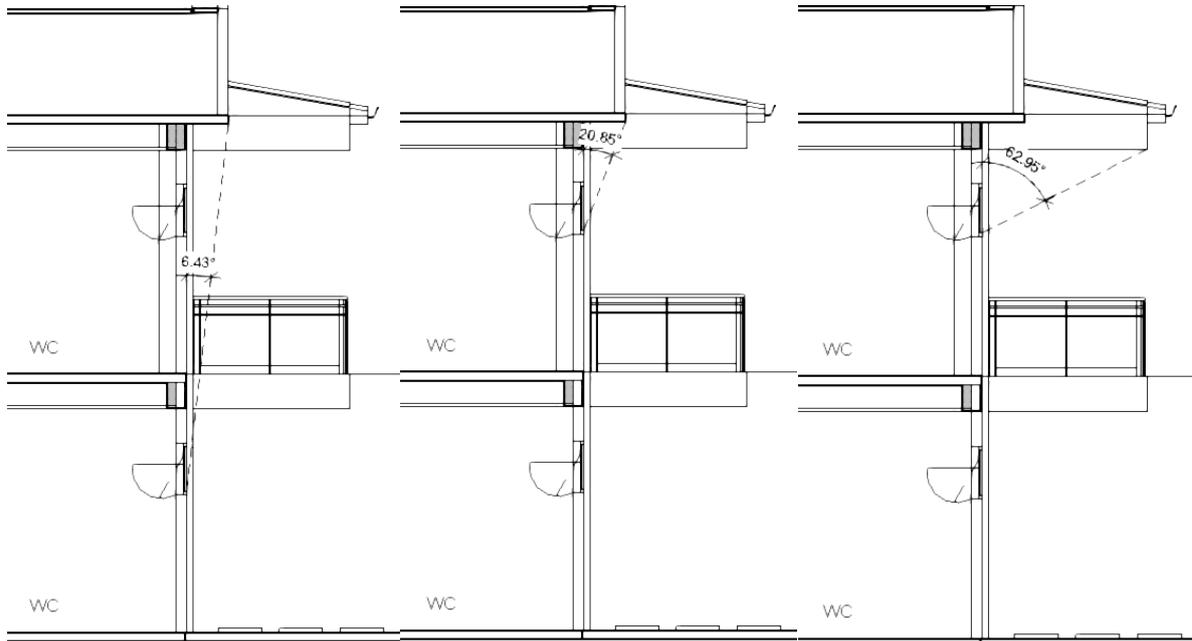
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 72 – Seção transversal 2 mostrando os AVS no software Revit (BIM).



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 73 – Secções longitudinais 4, 5, 6 mostrando os AVS no Revit.



Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 27 apresenta a área das aberturas de vidro das fachadas, que também são necessárias para os cálculos dos ângulos de sombreamento.

Tabela 27 – Área das aberturas das Fachadas no software Revit (BIM).

<Tabela de porta>			
A	B	C	D
Tipo	Largura	Altura	área
P 0.60			
P 0.60	0.60	2.20	1.32 m <sup>2</sup>
P 0.60: 7			
P 0.80	0.80	2.20	1.76 m <sup>2</sup>
P 0.80: 5			
P 1.20	1.20	2.20	2.64 m <sup>2</sup>
P 1.20: 1			
P 2.30	2.30	2.20	5.06 m <sup>2</sup>
P 2.30: 8			

<Tabela de janela>			
A	B	C	D
pp	Largura	Altura	área
B 0.60	0.60	0.60	0.36 m <sup>2</sup>
B 0.60: 7			
J 2.00	2.00	1.10	2.20 m <sup>2</sup>
J 2.00: 6			
Total geral: 13			

Parede cortina	parede de vidro abertura deslizante	8.47 m <sup>2</sup>
Parede cortina	parede de vidro abertura deslizante	6.76 m <sup>2</sup>
Parede cortina	parede de vidro abertura deslizante	8.70 m <sup>2</sup>
Parede cortina: 3		

Fonte: Elaborada pelo autor

## **Capítulo 8 - Etiquetação do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

---

Para o cálculo do AVS, primeiro encontra-se o AVS da fachada e, depois, o do edifício. Este edifício possui duas angulações diferentes para o AVS, uma de 14°, e outra de 34, 40° na fachada norte. A equação mostra como tirar a média da fachada sul, sendo que para as demais deve-se fazer o mesmo procedimento:

$$AVSN = \frac{(AVS1 \times Aabertura1) + (AVS2 \times Aabertura2)}{AaberturaN}$$

Coletados os ângulos das fachadas, multiplica-se pela área das suas respectivas aberturas e, em seguida, somam-se todos os valores. Na sequência, divide-se pela soma total das aberturas:

$$AVS = \frac{(AVSN \times AaberturaN) + (AVSS \times AaberturaS) + (AVSL \times AaberturaL) + (AVSO \times AaberturaO)}{AaberturaN}$$

A tabela 28 apresenta a coleta dos dados de aberturas obtidos através das tabelas geradas no software Revit (BIM) e, na sequência, o cálculo do AVS realizado com o auxílio do software Excel.

**Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

Tabela 28 – Dados das aberturas e seus respectivos AVSs.

Aabertura N	Área	Ângulo de somb, Vert	Área x ângulo de somb. Vert	Aabertura S	Área	Ângulo de somb, Vert	Área x ângulo de somb. Vert
Ab1 - FN	2,2	16,4	36,08	Ab1 - FS	5,06	37,48	189,64
Ab2- FN	5,06	37,48	189,64	Ab2- FS	2,2	0	0
Ab3- FN	0,36	62,95	22,662	Ab3- FS	2,2	16,4	36,08
Ab4 - FN	0,36	20,85	7,506	Ab4 - FS	5,06	0	0
Ab5 - FN	0,36	6,43	2,3148	Ab5 - FS	0,36	20,85	7,506
				Ab6 - FS	5,06	62,95	318,52
<b>Total</b>	<b>8,34</b>			<b>Total</b>	<b>19,94</b>		

Aabertura L	Área	Ângulo de somb, Vert	Área x ângulo de somb. Vert	Aabertura O	Área	Ângulo de somb, Vert	Área x ângulo de somb. Vert
Ab1 - FL	5,06	35,52	179,73	Ab1 - FO	2,2	0	0
Ab2- FL	5,06	35,52	179,73	Ab2- FO	2,2	0	0
Ab3- FL	5,06	35,52	179,73	Ab3- FO	2,2	0	0
Ab4 - FL	5,06	35,52	179,73	Ab4 - FO	5,06	0	0
Ab5 - FL	17,17	19,12	328,29	Ab5 - FO	6,76	0	0
				Ab6 - FO	0,36	0	0
<b>Total</b>	<b>37,41</b>			<b>Total</b>	<b>18,78</b>		

**Cálculo do AVS no software Excel**

AVS N	$\frac{= 258,2116}{8,34}$	$= 30,96^{\circ}$	x	Aabertura N	8,34 m <sup>2</sup>	AVSn	$= 258,21^{\circ}$
					+		+
AVS S	$\frac{= 551,7618}{19,94}$	$= 27,67^{\circ}$	x	Aabertura S	19,94 m <sup>2</sup>	AVSs	$= 551,76^{\circ}$
					+		+
AVS L	$\frac{= 1047,2152}{37,41}$	$= 27,99^{\circ}$	x	Aabertura L	37,41 m <sup>2</sup>	AVSL	$= 1047,21^{\circ}$
					+		+
AVS O	$\frac{= 0}{18,78}$	$= 0^{\circ}$	x	Aabertura O	18,78 m <sup>2</sup>	AVSo	$= 0^{\circ}$
				Área total das aberturas	$= 84,47m^2$	Soma das Áreas x ângulos de somb.=	$= 1857,1886$
AVS =	$\frac{1857,1886}{84,47}$	$= 21,98^{\circ}$					

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento: ângulo formado entre dois planos verticais. O processo de cálculo do AHS é o mesmo do AVS (RTQ-C, 2009).

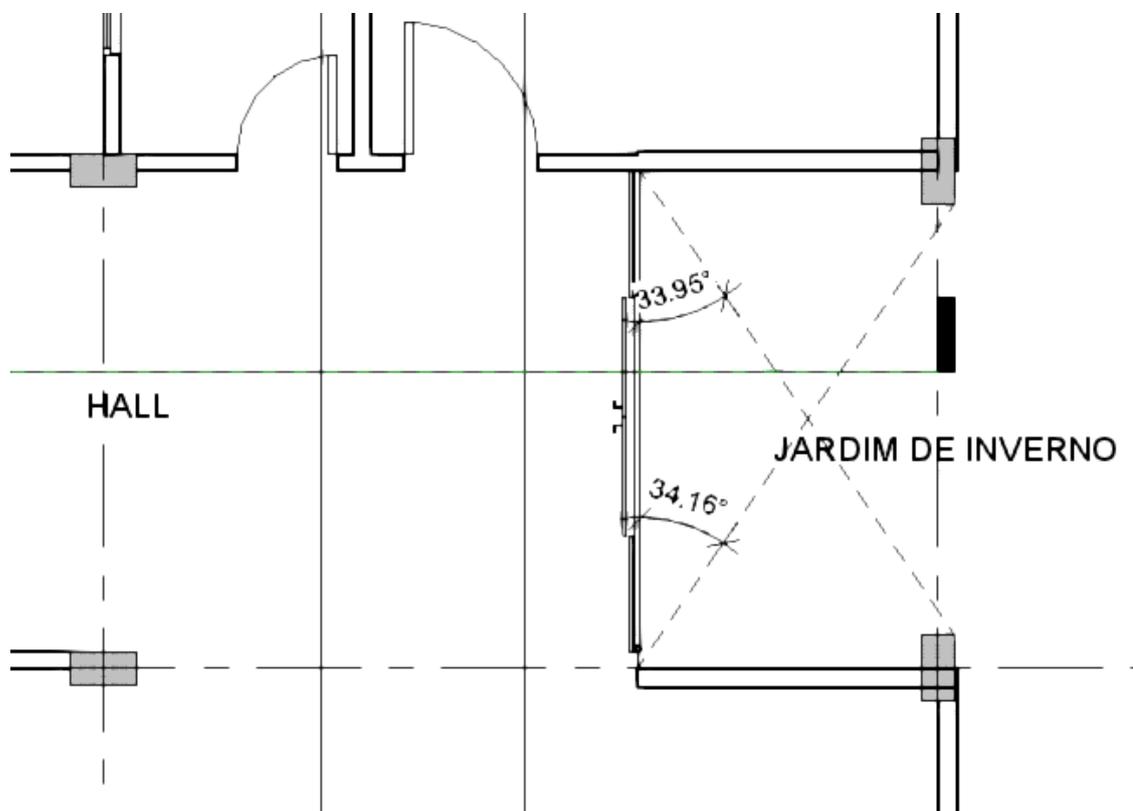
Primeiro encontra-se o AHS da fachada e, depois, o do edifício:

$$AHSL = \frac{(AHS1 + AHS2)}{2}$$

$$AHS = \frac{(AHSN \times AaberturaN) + (AHSS \times AaberturaS) + (AHSL \times AaberturaL) + (AHSO \times AaberturaO)}{AaberturaN}$$

A figura 74 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Figura 74 – Planta baixa mostrando os AHS no Revit.



Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 29 apresenta a coleta dos dados de aberturas obtidos através das tabelas geradas no software Revit (BIM) e, na sequência, o cálculo do AHS realizado com o auxílio do software Excel.

**Capítulo 8 - Etiquetação do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

Tabela 29 – Dados das aberturas e seus respectivos AHSs.

Aabertura N	Área	Ângulo de somb, Horiz	Área x ângulo de somb. Horiz	Aabertura S	Área	Ângulo de somb, Horiz	Área x ângulo de somb. Horiz
Ab1 - FN	2,2	0	0	Ab1 - FS	5,06	0	0
Ab2- FN	5,06	0	0	Ab2- FS	2,2	0	0
Ab3- FN	0,36	0	0	Ab3- FS	2,2	0	0
Ab4 - FN	0,36	0	0	Ab4 - FS	5,06	0	0
Ab5 - FN	0,36	0	0	Ab5 - FS	0,36	0	0
				Ab6 - FS	5,06	0	0
<b>Total</b>	<b>8,34</b>			<b>Total</b>	<b>19,94</b>		

Aabertura L	Área	Ângulo de somb, Horiz	Área x ângulo de somb. Horiz.	Aabertura O	Área	Ângulo de somb, Horiz	Área x ângulo de somb. Horiz
Ab1 - FL	5,06	0	0	Ab1 - FO	2,2	0	0
Ab2- FL	5,06	0	0	Ab2- FO	2,2	0	0
Ab3- FL	5,06	0	0	Ab3- FO	2,2	0	0
Ab4 - FL	5,06	0	0	Ab4 - FO	5,06	0	0
Ab5 - FL	17,17	34	583,78	Ab5 - FO	6,76	0	0
				Ab6 - FO	0,36	0	0
<b>Total</b>	<b>37,41</b>			<b>Total</b>	<b>18,78</b>		

**Cálculo do AHS no software Excel**

AHS N	$\frac{0^\circ}{8,34}$	= 0	x	Aabertura N	8,34 m <sup>2</sup>	AHSn	= 0°
					+		+
AHS S	$\frac{0^\circ}{19,94}$	= 0	x	Aabertura S	19,94 m <sup>2</sup>	AHSs	= 0°
					+		+
AHS L	$\frac{34^\circ}{37,41}$	= 0,90	x	Aabertura L	37,41 m <sup>2</sup>	AHSL	= 34°
					+		+
AHS O	$\frac{0^\circ}{18,78}$	= 0	x	Aabertura O	18,78 m <sup>2</sup>	AHSo	= 0°
				Área total das aberturas	= 84,47m <sup>2</sup>	Soma das Áreas x ângulos de somb	= 34
AHS =	$\frac{34}{84,47}$	= 0,40°					

## Capítulo 8 - Etiketagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Após a coleta de todos os dados necessários para a etiquetagem, com o auxílio do modelo BIM, os mesmos foram inseridos no software Webprescritivo para a obtenção da etiqueta parcial de envoltória, que atingiu o nível C de eficiência, limitado pela transmitância térmica da cobertura (área condicionada) que apresentasse fora do limite recomendado para a ZB8, conforme mostrado na figura 75 no enunciado em azul.

Figura 75 – ENCE parcial de Envoltória no software Webprescritivo.

WebPrescritivo - Etiqueta

www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html

Pré-requisitos gerais

Circuitos elétricos

- A edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final
- A edificação não possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final ou não se aplica

Aquecimento de água

- Atende pré-requisito para A
- Atende pré-requisito para B
- Atende pré-requisito para C
- A edificação possui isolamento de tubulações
- Este pré-requisito não se aplica à edificação
- Não atende

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8  Cidade Belém PA

Pré-requisitos

U<sub>COB-AC</sub> 1.79 W/(m<sup>2</sup>K)  q<sub>COB</sub> 0.8 %

U<sub>COB-ANC</sub> 1.79 W/(m<sup>2</sup>K)  CT<sub>PAR</sub> 120 kJ/(m<sup>2</sup>K)

U<sub>PAR</sub> 2.37 W/(m<sup>2</sup>K)  q<sub>PAR</sub> 0.2 %

PAZ 0 %  FS 0

Dados Dimensionais da Edificação

ATOT 284 m<sup>2</sup>  FA: 0.66

APCOB 187 m<sup>2</sup>

APE 155 m<sup>2</sup>

VTOT 10393.48 m<sup>3</sup>  FF: 0.08

AENV 875.41 m<sup>2</sup>

Características das Aberturas

FS 0.62

PAF 0.39 %

PAF<sub>o</sub> 0.26 %

AVS 21.98 °

AHS 0.4 °

\* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados.

Calcular Eficiência Limpar

■ ■ ■ C ■ ■

Fonte: Elaborada pelo autor

Após pressionar o botão “calcular eficiência”, observou-se que a edificação obteve o nível C de eficiência da envoltória, o que demanda melhorias nas diretrizes sustentáveis implementadas no projeto, no que tange à geometria, materiais e aberturas. Estes parâmetros podem ser alterados no modelo BIM e depois realizados os cálculos novamente atentando para os limites sugeridos pelo documento “Diretrizes para obtenção do Nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas Zona Bioclimática 8” citado anteriormente.

### 8.2.2 Etiqueta parcial de Iluminação

Os sistemas eficientes são definidos através da densidade de potência instalada do sistema de iluminação. Mas há outros métodos a serem utilizados de forma suplementar, como pré-requisitos específicos para os sistemas de iluminação,

## **Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

a fim de garantir que o sistema de iluminação só funcione quando é efetivamente necessário. Para atingir o selo A, é necessário que o projeto atenda aos requisitos da tabela 30, os quais foram previstos no estudo de caso.

Tabela 30 – Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência da etiqueta de iluminação artificial.

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
4.1.1 Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
4.1.2 Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
4.1.3 Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

Fonte: RTQ-C

Com os requisitos para obtenção do selo A devidamente aplicados como estratégias de projeto passivo, contidos no capítulo 6, partiu-se para o cálculo da eficiência do sistema de iluminação. Também foi utilizado o webprescritivo e foi adotado o método das áreas, abordado no item 4.1.3 do capítulo 4, que calcula os limites de potência em iluminação para as edificações como um todo e deve ser aplicado somente em casos em que a edificação possua no máximo três atividades principais, ou quando as atividades ocupam mais de 30% da área do edifício. A tabela 32 mostra o fornecimento da área dos ambientes iluminados no software Revit (BIM).

Tabela 31– Área dos ambientes iluminados no software Revit (BIM).

PAV. TÉRREO			
WC. SERV.	PAV. TÉRREO	2.40 m <sup>2</sup>	Iluminado
LAVABO	PAV. TÉRREO	2.52 m <sup>2</sup>	Iluminado
WC	PAV. TÉRREO	4.20 m <sup>2</sup>	Iluminado
SUITE1	PAV. TÉRREO	16.60 m <sup>2</sup>	Iluminado
COZINHA	PAV. TÉRREO	13.38 m <sup>2</sup>	Iluminado
SERVIÇO	PAV. TÉRREO	8.40 m <sup>2</sup>	Iluminado
HALL	PAV. TÉRREO	16.21 m <sup>2</sup>	Iluminado
ESTAR JANTAR	PAV. TÉRREO	24.74 m <sup>2</sup>	Iluminado
PAV. TÉRREO: 8		88.46 m <sup>2</sup>	
PAV. SUPERIOR			
WC	PAV. SUPERIOR	4.20 m <sup>2</sup>	Iluminado
WC	PAV. SUPERIOR	4.20 m <sup>2</sup>	Iluminado
ESTAR INTIMO	PAV. SUPERIOR	16.63 m <sup>2</sup>	Iluminado
ESCADA	PAV. SUPERIOR	7.13 m <sup>2</sup>	Iluminado
WC	PAV. SUPERIOR	4.35 m <sup>2</sup>	Iluminado
WC	PAV. SUPERIOR	4.35 m <sup>2</sup>	Iluminado
SUITE 2	PAV. SUPERIOR	17.02 m <sup>2</sup>	Iluminado
SUITE 3	PAV. SUPERIOR	17.31 m <sup>2</sup>	Iluminado
CLOSET	PAV. SUPERIOR	2.76 m <sup>2</sup>	Iluminado
CLOSET	PAV. SUPERIOR	2.76 m <sup>2</sup>	Iluminado
CLOSET	PAV. SUPERIOR	2.61 m <sup>2</sup>	Iluminado
CLOSET	PAV. SUPERIOR	2.52 m <sup>2</sup>	Iluminado
SUITE 5	PAV. SUPERIOR	16.98 m <sup>2</sup>	Iluminado
SUITE 4	PAV. SUPERIOR	16.60 m <sup>2</sup>	Iluminado
SACADA	PAV. SUPERIOR	6.64 m <sup>2</sup>	Iluminado
SACADA	PAV. SUPERIOR	5.67 m <sup>2</sup>	Iluminado
SACADA	PAV. SUPERIOR	5.64 m <sup>2</sup>	Iluminado
SACADA	PAV. SUPERIOR	6.57 m <sup>2</sup>	Iluminado
PAV. SUPERIOR: 18		143.93 m <sup>2</sup>	
Iluminado: 26		232.38 m <sup>2</sup>	
Não Iluminado			
PAV. TÉRREO			
GARAGEM	PAV. TÉRREO	24.48 m <sup>2</sup>	Não Iluminado
PAV. TÉRREO: 1		24.48 m <sup>2</sup>	

## Capítulo 8 - Etiquetação do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Fonte: Elaborada pelo autor

Foram escolhidas lâmpadas LED nível A, coletadas do catálogo de lâmpadas LED do PROCEL, disponível em (<http://www.procelinfo.com.br/>). As lâmpadas possuem potência de 9 W e eficiência energética de 90 lm/W.

Após a coleta de todos os dados necessários, com o auxílio do modelo BIM, os mesmos foram inseridos no software Webprescritivo. Foram especificadas as potências das lâmpadas e as metragens referentes aos dois pavimentos para a obtenção da etiqueta parcial de Iluminação, que atingiu o nível A de eficiência, conforme mostrado na figura 76.

Figura 76 – ENCE parcial de Iluminação no software Webprescritivo.

	-	Atividade	+	No. de Unidades	Potência [W]	Área [m <sup>2</sup> ]
1		Escritório		1	9	88.46
2		Escritório		1	9	146.93

Fonte: Elaborada pelo autor

### 8.2.3 Etiqueta parcial de Condicionamento do Ar

Os sistemas de condicionamento de ar compostos por equipamentos do tipo janela ou *split*, avaliados pelo INMETRO, possuem pré-requisito apenas para nível de eficiência A. Este pré-requisito consiste em conferir se a unidade de condicionamento de janela ou a unidade condensadora do sistema de *split* do ambiente em questão está sempre sombreada, o qual foi previsto no estudo de caso. Caso este pré-requisito não seja cumprido, o nível do equipamento cairá para B, mesmo ele tendo a etiqueta A do INMETRO. Além disso, o nível de eficiência, é baseado nas áreas condicionadas da edificação. A tabela 32 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

## Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Tabela 32 – Área dos ambientes condicionados no software Revit (BIM).

<b>Condicionado</b>			
ESTAR ÍNTIMO	PAV. SUPERIOR	Condicionado	16.63 m <sup>2</sup>
SUÍTE 1	PAV. TÉRREO	Condicionado	16.60 m <sup>2</sup>
SUÍTE 2	PAV. SUPERIOR	Condicionado	17.02 m <sup>2</sup>
SUÍTE 3	PAV. SUPERIOR	Condicionado	17.31 m <sup>2</sup>
CLOSET	PAV. SUPERIOR	Condicionado	2.76 m <sup>2</sup>
CLOSET	PAV. SUPERIOR	Condicionado	2.76 m <sup>2</sup>
CLOSET	PAV. SUPERIOR	Condicionado	2.61 m <sup>2</sup>
CLOSET	PAV. SUPERIOR	Condicionado	2.52 m <sup>2</sup>
SUÍTE 5	PAV. SUPERIOR	Condicionado	16.98 m <sup>2</sup>
SUÍTE 4	PAV. SUPERIOR	Condicionado	16.60 m <sup>2</sup>
ESTAR/JANTAR	PAV. TÉRREO	Condicionado	24.74 m <sup>2</sup>
COZINHA	PAV. TÉRREO	Condicionado	13.38 m <sup>2</sup>
<b>Condicionado: 12</b>			<b>149.91 m<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborada pelo autor

A tabela 33 mostra os limites de eficiência, definidos pelo INMETRO, para o caso de referência utilizam-se o nível de eficiência mínimo da tabela. Estes limites são frequentemente atualizados pelo INMETRO. Os dados apresentados na tabela a seguir foram retirados da tabela de maio de 2009. Além disso, devem-se cumprir os pré-requisitos do capítulo 5 do RTQ-C, citados no item 4.1.4 do capítulo 4 deste trabalho.

Tabela 33 – Limites de eficiência definidos pelo INMETRO de condicionadores de ar do tipo Split para cada nível de eficiência.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (CEE)	
	Mínimo	Máximo
A	2,94	
B	2,76	2,94
C	2,58	2,76
D	2,39	2,58
E		2,39

Fonte: INMETRO

Foram escolhidos equipamentos do tipo *Split* selo A, coletados do catálogo de condicionadores de ar do PROCEL, disponível em (<http://www.procelinfo.com.br/>). As especificações dos equipamentos são de 12000 Btu/h e eficiência energética de 3,27 W/W.

Após a coleta dos dados necessários, com o auxílio do modelo BIM e escolhido o equipamento no catálogo do PROCEL, os dados foram inseridos no software Webprescritivo para verificação do nível de eficiência energética alcançado.

## Capítulo 8 - Etiquetação do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso

Foram especificadas as metragens dos ambientes condicionados e a capacidade e eficiência de seus respectivos equipamentos para a obtenção da etiqueta parcial de condicionamento do ar, que atingiu o nível A de eficiência, conforme apresentado na figura 77.

Figura 77 – ENCE parcial de Condicionamento do arno software Webprescritivo.

The screenshot displays the 'WebPrescritivo - Etiquetação' interface. At the top, there's a browser window showing the URL 'www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html'. Below this, the 'Condicionamento do Ar' section is active. It includes a 'Pré-Requisitos Gerais' section with radio buttons for 'Possui isolamento de tubulações' (selected) and 'Não possui isolamento de tubulações'. The main part of the interface is divided into two tables:

**Condicionadores de ar etiquetados**

	- Ambiente +	Nº. de Unidades	Tipo	Capacidade [BTU/h]	Eficiência [W/W]	Etiqueta
1	Estar intimo	1	split	12000	3.27	A
2	Suite 1 + closet	1	split	12000	3.27	A
3	Suite 2 + closet	1	split	12000	3.27	A
4	Suite 3 + closet	1	split	12000	3.27	A
5	Suite 4 + closet	1	split	12000	3.27	A
6	Suite 5/Home theater	1	split	12000	3.27	A
7	Cozinha	1	split	12000	3.27	A

**Condicionadores de ar não etiquetados**

- Condicionador de ar +	Capacidade [BTU/h]	Nível de eficiência	Pré-requisitos	Classe de eficiência	
1	Estar/Jantar	24000	A	<input checked="" type="checkbox"/> Visualizar Cálculo de carga térmica: Atende ▼ Controle de temperatura por zona: Atende ▼ Faixa de temperatura de controle: Atende ▼ Aquecimento suplementar: Atende ▼ Aquecimento e resfriamento simultâneo: Atende ▼ Sistema de desligamento automático: Atende ▼ Isolamento de zonas: Atende ▼ Controles e dimensionamento do sistema de ventilação: Atende ▼ Controles de sistema de ventilação para áreas com altas taxas de ocupação: Atende ▼ Controles e dimensionamento dos sistemas hidráulicos: Atende ▼ Sistemas de vazão de líquido variável: Atende ▼ Isolamento de bombas: Atende ▼ Controles de reajuste da temperatura de água gelada e quente: Atende ▼ Equipamento de rejeição de calor: Atende ▼ Controle de velocidade do ventilador: Atende ▼	A

At the bottom, there are input fields for 'AU' (266.86 m²) and 'AC' (149.91 m²), buttons for 'Calcular Eficiência' and 'Limpar', and a color-coded efficiency scale with 'A' highlighted in green.

Fonte: Elaborada pelo autor

### 8.2.4 Etiqueta Geral

Terminado o cálculo da eficiência destes três sistemas (Iluminação, Condicionamento de ar e Envoltória), os resultados parciais são inseridos na equação geral para verificar o nível de eficiência global da edificação, que leva em consideração os seguintes critérios:

## **Capítulo 8 - Etiquetagem do PROCEL com o auxílio da tecnologia BIM aplicada ao estudo de caso**

- APT: Área de Permanência Transitória (m<sup>2</sup>): área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados. Garagens e estacionamentos não entram no cálculo da APT;

A tabela 34 mostra o fornecimento desse parâmetro no software Revit (BIM).

Tabela 34 – APT no software Revit (BIM).

<b>Condicionado</b>				
SUITE1	PAV. TERREO	16.60 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
SUITE 2	PAV.SUPERIOR	17.02 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
SUITE 3	PAV.SUPERIOR	17.31 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
SUITE 5	PAV.SUPERIOR	16.98 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
SUITE 4	PAV.SUPERIOR	16.60 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
COZINHA	PAV. TERREO	13.38 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
ESTAR JANTAR	PAV. TERREO	24.74 m <sup>2</sup>	Prolongado	Condicionado
Condicionado: 7		122.64 m <sup>2</sup>		
<b>Não condicionado</b>				
SERVIÇO	PAV. TERREO	8.40 m <sup>2</sup>	Prolongado	Não condicione
Não condicionado: 1		8.40 m <sup>2</sup>		
Prolongado: 8		131.04 m <sup>2</sup>		
<b>Transitória</b>				
<b>Condicionado</b>				
ESTAR INTIMO	PAV.SUPERIOR	16.63 m <sup>2</sup>	Transitória	Condicionado
CLOSET	PAV.SUPERIOR	2.76 m <sup>2</sup>	Transitória	Condicionado
CLOSET	PAV.SUPERIOR	2.76 m <sup>2</sup>	Transitória	Condicionado
CLOSET	PAV.SUPERIOR	2.61 m <sup>2</sup>	Transitória	Condicionado
CLOSET	PAV.SUPERIOR	2.52 m <sup>2</sup>	Transitória	Condicionado
Condicionado: 5		27.27 m <sup>2</sup>		
<b>Não condicionado</b>				
WC	PAV.SUPERIOR	4.20 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
WC	PAV.SUPERIOR	4.20 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
ESCADA	PAV.SUPERIOR	7.13 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
WC. SERV.	PAV. TERREO	2.40 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
LAVABO	PAV. TERREO	2.52 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
WC	PAV. TERREO	4.20 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
WC	PAV.SUPERIOR	4.35 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
WC	PAV.SUPERIOR	4.35 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
SACADA	PAV.SUPERIOR	6.64 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
SACADA	PAV.SUPERIOR	5.67 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
SACADA	PAV.SUPERIOR	5.64 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
SACADA	PAV.SUPERIOR	6.57 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
HALL	PAV. TERREO	16.21 m <sup>2</sup>	Transitória	Não condicione
Não condicionado: 13		74.08 m <sup>2</sup>		
Transitória: 18		101.35 m <sup>2</sup>		
Total geral: 70		232.38 m <sup>2</sup>		

Fonte: Elaborada pelo autor

- ANC: Área Não Condicionada (m<sup>2</sup>): área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de conforto conforme descrito no item 6 do RTQ-C;
- EqNumV: Equivalente Numérico de ambientes não condicionados e/ou Ventilados naturalmente: número representativo do conforto dos ambientes não condicionados artificialmente obtido por simulação;

- Como não foi possível simular o modelo BIM no software *Energy Plus*, é necessário que seja utilizado o pior caso, que seria quando o sistema recebe nota E. Conseqüentemente, deve-se utilizar o valor 1 para o EqNumV;
- Bonificações: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.  
O projeto atingiu bonificações com pontuação igual a 1, visto que atende aos seguintes requisitos:
  - ✓ a. Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, proporcionando uma economia de 20% do consumo anual de água: estão incluídas torneiras com arejadores, sanitários com sensores ou com válvula de descarga com duplo acionamento, sistemas de aproveitamento de água pluvial, redução de perdas por condensação da água de torres de arrefecimento, reuso de água, dentre outras soluções;
  - ✓ b. Sistemas ou fontes renováveis de energia: aquecimento de água, com atendimento igual ou superior a 60% da demanda de água quente: válido para edifícios que possuam demanda de água quente, como restaurantes, hotéis, motéis, hospitais, clínicas, clubes, academias, dentre outros; não é válido para edifícios de escritórios e supermercados, salvo casos especiais em que esta demanda seja significativa; energia eólica ou painéis fotovoltaicos, com uma economia mínima de 10% do consumo anual;
  - c. Cogeração, gerando uma economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
  - ✓ d. Inovações técnicas ou sistemas que aumentam a eficiência, proporcionando uma economia de 30% no consumo anual de energia elétrica: este item abrange qualquer tipo de inovação em eficiência energética que seja lançada no mercado ou soluções que não estejam previstas neste regulamento. Sistemas de aproveitamento da luz natural ou estratégias bioclimáticas que reduzam ou eliminem o uso do sistema de condicionamento de ar, já são previstos no texto e devem ser explorados no item de simulação, salvo haja alguma forma de comprovar uma economia anual no consumo de energia elétrica de 30% através de memória de cálculo ou medição.

Após a coleta de todos os dados necessários, com o auxílio do modelo BIM, os mesmos foram inseridos no software Webprescritivo para a obtenção da etiqueta geral, que atingiu o nível A de eficiência, conforme apresentado na figura 78.

Figura 78 – ENCE geral no software Webprescritivo.

Bonificações

Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso de água. Economia : 20 %

Sistemas ou fontes renováveis de energia (aquecimento de água). Economia : 60 %

Sistemas ou fontes renováveis de energia (energia eólica ou fotovoltaica). Economia : 30 %

Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas. Economia : 0 %

Elevadores. Economia : 0 %

Classificação VDI 4707 : -

Etiqueta Geral

APT 74.08 m<sup>2</sup> ?

ANC 32.8700000000 m<sup>2</sup> ?

EqNumV 1 ?

b 1 ?

Calcular Eficiência Limpar

\* Desde que observados os pré-requisitos gerais de circuitos elétricos, aquecimento de água e elevadores.

Pontuação: 5.29

A

Fonte: Elaborada pelo autor

Com os resultados obtidos neste capítulo, foi possível constatar que a tecnologia BIM trouxe dinamismo no processo de etiquetagem, podendo ser utilizada tanto pela indústria quanto por laboratórios especializados para acelerar e dar precisão aos seus processos. Os resultados também apontaram que, com o auxílio de softwares especializados como o *Design Builder*, foi possível realizar simulações do modelo BIM no motor de simulação detalhada *Energy Plus*, viabilizando o método da simulação do RTQ.

## ***Capítulo 9 – Resultados e Conclusão***

---

A tecnologia BIM apresentou bom desempenho para fins de projeto sustentável e etiquetagem, destacando sua produtividade e fluxo de trabalho capaz de atender aos condicionantes locais para simular o horizonte energético e de conforto ambiental do projeto proposto. A comunicação aprimorada do BIM em relação ao CAD tradicional também destaca-se como um importante instrumento para a eficiência energética, uma vez que proporciona estratégias passivas de projeto e comunicação aprimorada entre arquitetura e instalações prediais, assim como conteúdo paramétrico que permite simulações de energia e consumo do projeto.

A abordagem de construção em 3D, baseada em parâmetros, proporciona personalização por parte do usuário; este, por sua vez, pode criar modelos de projetos e biblioteca de acordo com normas de etiquetagem e certificações. Para esta tecnologia substituir o processo CAD tradicional é necessário investimento por parte das empresas, assim como dedicação na mudança do paradigma projetual.

Alcançada a expertise, as indústrias produzirão com rapidez, qualidade e sustentabilidade, conforme apresentado no trabalho. Diante dos resultados, observa-se o potencial da tecnologia BIM no processo de projeto sustentável, constituindo um mercado de constante ascensão pela abordagem inovadora de projeto. A seguir, são pontuadas as vantagens e limitações encontradas com o desenvolvimento do estudo de caso.

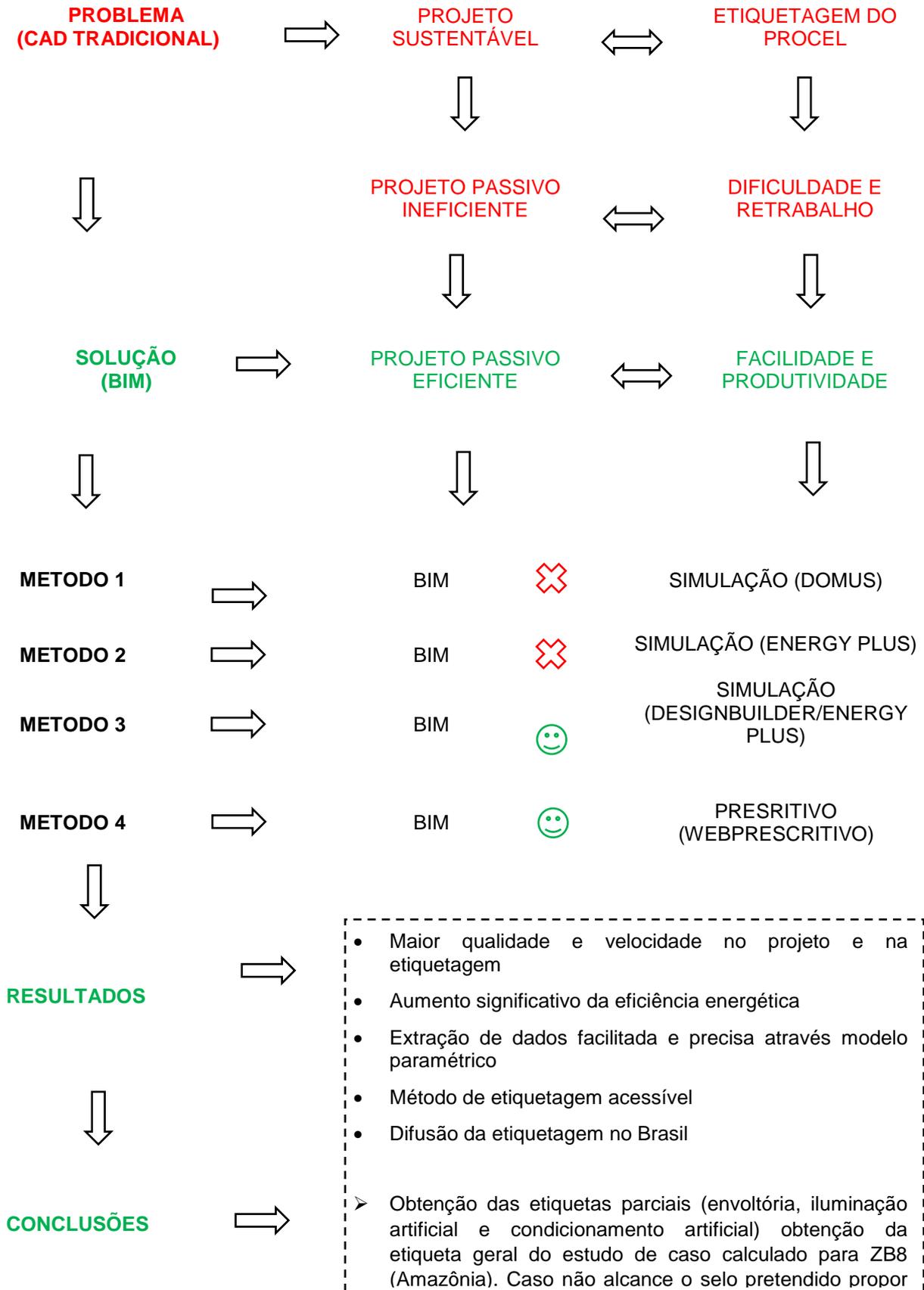
Para a identificação da aplicabilidade do BIM no PBEE foram feitos testes apontando limitações e alternativas de aplicabilidade do BIM na etiquetagem pelo método prescritivo e da simulação. Testes estes com os simuladores *Domus*, *Energy Plus*, *Design Builder* e *Webprescritivo*, apontando a compatibilidade com o RTQ-C e RTQ-R:

- No método 1 - BIM & MÉTODO SIMULAÇÃO (DOMUS) - O Domus não lê arquivos BIM, o usuário precisa criar novamente o modelo para simulá-lo;
- No método 2 - BIM MÉTODO SIMULAÇÃO (ENERGY PLUS) – O software apresentou erro de interoperabilidade, inviabilizando o processo produtivo com o aproveitamento de parâmetros de simulação fornecidos pelo BIM;
- No método 3 - BIM MÉTODO SIMULAÇÃO (DESIGN BUILDER / ENERGY PLUS) – Foi possível a transferência do modelo BIM para ser simulado conforme procedimento para determinação da eficiência da envoltória;

- No método 4 - BIM MÉTODO PRESCRITIVO (WEBPRESCRITIVO) – Apesar de utilizar a base do método prescritivo, o processo com este método acabou sendo o mais acessível, devido a facilidade de extração de dados que o modelo BIM proporciona, possibilitando a geração de quantitativos com os parâmetros requeridos pelo método. A base para cálculo atende os requisitos climáticos das 8 zonas bioclimáticas definidas pelo PBE. Inseridas as variáveis de envoltória, iluminação artificial e condicionamento artificial, foi possível obter as etiquetas parciais e geral.

O quadro sinóptico 2 apresenta a problemática atual da etiquetagem e no processo projetual e as soluções para contornar essa realidade com o advento de métodos e ferramentas computacionais apresentados neste trabalho.

Quadro sinóptico 2 – Problemática.



### 9.1 DESEMPENHO DA TECNOLOGIA BIM PARA PROJETOS SUSTENTÁVEIS

#### 9.1.1 Vantagens encontradas

- Ferramentas proporcionam facilidade na adoção de estratégias passivas da envoltória;
- Certificação LEED para conforto ambiental e iluminação natural apresentou bom desempenho;
- Modelo paramétrico proporciona informações simuláveis de energia;
- Integração de todas as disciplinas envolvidas no projeto, tornando mais eficaz a comunicação entre os profissionais envolvidos, promovendo estratégias potenciais de eficiência energética;
- Identificação prévia de interferências e erros de projeto, permitindo o estudo de soluções alternativas, em prol da sustentabilidade;
- Sombreamento da edificação pode ser realizado de forma interativa realizando animações da posição solar o que facilita o estudo das máscaras de sombreamento das aberturas;
- Diminuição de resíduos na obra, pela detecção prévia de colisões que antes era realizada em duas dimensões, gerando erros *in loco*;
- Redução do consumo e desperdício de energia e materiais pelas simulações e estratégias corretivas que o software dispõe;
- Ferramenta de HVAC atende aos padrões do mercado brasileiro, pois utiliza definições da norma americana;
- Versão estudantil gratuita de todos os softwares utilizados no estudo de caso. (Autodesk).

#### 9.1.2 Limitações encontradas

- Softwares demandam treinamento extensivo até o alcance da expertise;
- Necessita de maior desenvolvimento na compatibilidade com softwares de simulação detalhada.

### 9.2 DESEMPENHO DA TECNOLOGIA BIM NA ETIQUETAGEM DO PROCEL

#### 9.2.1 Vantagens encontradas

- BIM facilita a geração de quantitativos de material e componentes requeridos pelo RTQ-C para etiquetagem de envoltória, iluminação e ar condicionado, com a possibilidade de criação de arquivos modelos que podem ser utilizados por outros usuários para fins de etiquetagem;
- Potencial do BIM para criação de plugin que atenda aos requisitos do RTQ-C, visto que a tecnologia fornece biblioteca de componentes construtivos com parâmetros de desempenho térmico;
- Fabricantes de produtos nacionais e projetos institucionais já desenvolvem bibliotecas BIM para utilização do mercado de projeto.

### **9.2.2 Limitações encontradas**

- Biblioteca de componentes do Revit, precisa atender aos padrões do RTQ para atender à criação de “plugin” que gere a etiqueta;
- Dados térmicos de alguns materiais divergem dos parâmetros estabelecidos por norma, o que pode ser facilmente alterado, com a possibilidade de criação de arquivo modelo com padrões definidos, para facilitar nas simulações futuras;
- Software Domus não se comunica com o modelo BIM, sendo necessário o retrabalho de construir um novo modelo para ser simulado

### **9.3 CONCLUSÃO**

Apresentar estudos de casos e compartilhar a experiência e o conhecimento que se adquire ao trabalhar com certificações ambientais de edificações e tecnologias de projeto em constante ascensão, constitui-se um importante tema para a evolução desta área de conhecimento.

A temática abordada neste trabalho buscou o aprimoramento do processo projetual no Brasil para fins sustentáveis e de etiquetagem nacional, através do estudo das tecnologias de projeto e simulação utilizadas na atualidade, tendo como propósito o melhor dimensionamento do tempo de trabalho e a consequente prática de forma mais racional e sustentável, buscando o aprimoramento com o estudo de tecnologias potenciais que vêm se destacando internacionalmente, como a tecnologia BIM.

O estudo de caso apontou importante contribuição da tecnologia BIM para a elaboração do projeto a nível multidisciplinar, resolvendo o problema de

comunicação entre os projetistas e a consequente melhoria na eficiência energética da edificação, oriundas dos sistemas ativos, que foram dimensionados de acordo com as estratégias passivas do projeto arquitetônico visando ao máximo de economia de energia.

Para que esse fluxo de trabalho seja viável é necessário que todos os profissionais envolvidos no projeto estejam trabalhando com a plataforma BIM, para que haja uma correta comunicação entre as disciplinas envolvidas. Atualmente, grande parte do mercado ainda trabalha na plataforma CAD tradicional, o que acaba dificultando a mudança imediata desse processo, mas essa realidade está mudando de forma acelerada, tendo em vista a dinamização e velocidade desta tecnologia.

A respeito da etiquetagem brasileira, pode-se perceber que o grande entrave para a não disseminação está na dificuldade e falta de interoperabilidade, com outras plataformas dos softwares disponíveis para etiquetagem. Quando se pensa em método de simulação, associa-se à facilitação dos processos através de ferramentas computacionais, porém no contexto nacional é diferente. O método prescritivo acaba sendo mais utilizado em virtude da grande dificuldade dos profissionais em simular o modelo conforme os requisitos requeridos pelo Regulamento Técnico da Qualidade.

O *Energy Plus*, software americano usado no RTQ-C, possibilita ao usuário criar o modelo em outras plataformas, porém é necessário simular um modelo real e de referência, além do regulamento exigir uma grande quantidade de variáveis específicas para se obter o nível de eficiência alcançado, o que acaba dificultando o processo, além de sua interface ser pouco didática. Estes programas, também necessitam adaptar-se a peculiaridades do clima brasileiro, para que se possam realizar análises mais precisas.

Com o estudo de caso, identificou-se que o método de transferência do modelo BIM para o software *Design Builder* proporcionou simulações no *Energy Plus* por trabalhar com o motor de simulação integrado ao software, sendo uma alternativa eficaz para quem trabalha com a tecnologia BIM.

O software *Domus Procel Edifica*, software brasileiro usado no RTQ-C, possibilita ao usuário criar o modelo, mas não simula modelos criados em outros programas, como a tecnologia BIM por exemplo. Além disso, o *Domus* só gera a etiqueta para o RTQ-C. Se o usuário quiser etiquetar uma residência, ele precisa usar o *Energy Plus*, devido o RTQ-R considerar a ventilação natural. Isso acaba

gerando um retrabalho por parte do projetista, que possui prazos apertados e precisa de dinamização nos processos.

Todos esses fatores acabam demandando mais etiquetagem pelo método prescritivo, que sempre tende a ser mais trabalhoso por envolver cálculos realizados pelo profissional, resultando na etiquetagem deficiente por parte do mercado de projeto nacional.

O estudo de caso apontou que, por enquanto, a tecnologia BIM e o webprescritivo são a solução mais viável para o projeto e etiquetagem, realizado de forma quantitativa e qualitativa. Com as análises realizadas por meio dos “plugins” existentes para certificação LEED no BIM, pode se perceber que a criação de um “plugin” do RTQ-C ou adaptação do Software Domus Procel Edifica para o BIM constitui-se como uma possível estratégia para alavancar a etiquetagem no Brasil pelo método da simulação computacional, por ter uma abordagem mais rápida e interativa.

Os resultados apontaram importante contribuição da tecnologia BIM para com o método prescritivo, pois foi possível a coleta dos dados necessários para a etiquetagem, realizada com o auxílio do aplicativo WEPRESCRITIVO do LABEEE, que fornece uso acessível e explicação dos parâmetros, mesmo que o projetista não tenha conhecimento aprofundado do método. As somatórias e o relacionamento da geometria às propriedades físicas dos elementos foram às contribuições mais significativas da tecnologia BIM para etiquetagem.

Deste modo, a união da tecnologia BIM com o método prescritivo se mostrou à alternativa mais eficaz para a aplicação do método RTQ e a consequente difusão da etiquetagem no Brasil. Porém, se tratando de edificações residenciais, o método não abrange o cálculo de ventilação natural, o que configura-se como uma limitação, servindo apenas para edificações comerciais, sendo necessária a transferência do modelo BIM para ser simulado no software *Design Builder/Energy Plus*, que se mostrou compatível com o modelo BIM, proporcionando simulações de energia dos usos finais e, conseqüentemente, sendo válido para o método de simulação do RTQ.

Com o estudo de caso pode-se constatar que o processo de projeto utilizando a tecnologia BIM com diretrizes sustentáveis proporcionou nível máximo de eficiência energética, segundo o RTQ-C. Sabe-se que os softwares BIM exigem investimento por parte das empresas, logo o desenvolvimento só valerá a pena se o mercado já tiver aderido ao BIM. Atualmente, grande parte do mercado já usa o BIM,

porém muitos profissionais ainda usam ferramentas 2D para projetar, o que dificulta este processo.

É importante que se invista nessa mudança para alavancar a sustentabilidade, pois é um nicho ainda pouco explorado, tendo em vista que a etiquetagem ainda é realizada apenas por um laboratório acreditado pelo INMETRO no país e com o método proposto será possível difundir a etiquetagem para a indústria, e assim, descentralizar a demanda que vem crescendo cada vez mais.

### 9.4 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS:

Para potencializar a etiquetagem de edificações no Brasil, a solução mais viável seria uma ferramenta de simulação computacional para o RTQ, que gere a etiqueta e, se possível, trabalhando em conjunto com a Tecnologia BIM. Esta ferramenta não precisa modelar o prédio, pode ser apenas um motor de simulação, como o *Energy Plus*, pois a tecnologia BIM se encarregará de fornecer os parâmetros de desempenho energético necessários para a simulação do modelo, que foram identificadas previamente neste trabalho.

Como proposta para trabalhos futuros e aprimoramento do tema abordado neste trabalho, se propõe:

- Desenvolvimento de programa computacional ou “plugin” que promova a interação do RTQ-C e RTQ-R com a Tecnologia BIM para fins de etiquetagem;
- Desenvolvimento de “plugin” do webprescritivo com a Tecnologia BIM para fins de etiquetagem;
- Desenvolvimento de motor de simulação do software Domus Procel Edifica que leia arquivos BIM para fins de etiquetagem.

## REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, set. 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 15965**. Sistema de classificação da informação da construção. Parte 1 publicada, Parte 2 em consulta, demais em andamento. Rio de Janeiro, 2011.

AUTODESK, Inc. **Autodesk Ecotect Analysis**, version 2011. [S.l.]: Autodesk Brasil, 2010a.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Revit Architecture**, version 2011. [S.l.]: Autodesk Brasil, 2010b.

\_\_\_\_\_. AutoCAD Architecture: purpose-built for productivity. Autodesk Inc. **Homepage na internet...** 2010c. Disponível em: <[http://images.autodesk.com/adsk/files/autocad\\_architecture\\_2012\\_brochure.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/autocad_architecture_2012_brochure.pdf)> Acesso em: 26 jul. 2011.

BASBAGILL, J.; FLAGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER, M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment** 60 81 e 92, 2013.

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

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 4.059**, de 19 de dezembro de 2001a. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/D4059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm)>. Acesso em: 08 nov. 2014.

BRASIL. **Lei nº 10.295**, de 17 de outubro de 2001b. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/L10295.htm)>. Acesso em: 08 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Inmetro nº 372**, de 17 de setembro de 2010. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do art. 4º da Lei nº 5.966, de 11/12/1973, no inciso I do artigo 3º da Lei nº 9.933, de 20/12/1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275, de 28/11/2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria nº 17**, de 16 de janeiro de 2012. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do artigo 4º da Lei n.º 5.966, de 11/12/1973, nos incisos I e IV do artigo 3º da Lei n.º 9.933, de 20/12/1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275, de 28/11/2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001787.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do artigo 4º da Lei n.º 5.966, de 11 de dezembro de 1973, no inciso I e IV do artigo 3º da Lei n.º 9.933, de 20 de dezembro de 1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275, de 28 de novembro de 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria nº 50**, de 01 de fevereiro de 2013. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do artigo 4º da Lei n.º 5.966, de 11 de dezembro de 1973, nos incisos I e IV do artigo 3º da Lei n.º 9.933, de 20 de dezembro de 1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275, de 28 de novembro de 2007. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RTAC001961.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria nº 299**, de 19 de junho de 2013. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do artigo 4º da Lei n.º 5.966, de 11 de dezembro de 1973, nos incisos I e IV do artigo 3º da Lei n.º 9.933, de 20/12/1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275, de 28/11/2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001982.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria nº 126**, de 19 de março de 2014. O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, em exercício, designado pelo Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, por Portaria publicada no Diário Oficial da União de 17/06/2011, e em atendimento ao artigo 20 do Decreto nº 6.275, de 28/11/2007, no uso de suas atribuições, conferidas no § 3º do artigo 4º da Lei nº 5.966, de

11/12/1973, nos incisos I e IV do artigo 3º da Lei nº 9.933, de 20/12/1999, e no inciso V do artigo 18 da Estrutura Regimental da Autarquia, aprovada pelo Decreto nº 6.275/2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002100.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

BREEAM. **How does BREEAM work?** Disponível em: <<http://products.bre.co.uk/breeam/index.html>>. Acesso em: 13 ago. 2008.

BYNUM, P.; RAJA, R.A.; ISSA, F. ASCE, S.O.; ASCE, A.M. Building information modeling in support of sustainable design and construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, jan. 2013, 139: 24-34.

CASALS, X.G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 5, p. 381-392. 2005.

COLE, R.J.; LARSSON, N. **Green Building Challenge 2002**: GBTool User Manual. 2002.

CUNHA, A.V.L.; CLARO, A. **Avaliação do Programa APOLUX SEGU protocolos de modelos de céu do relatório técnico CIE 171:2006**. 2011. 186f. Dissertação - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

DEGANI, C.M. **Modelo de gerenciamento da sustentabilidade de facilidades construídas**. 2010. 210p. Tese. Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2010.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. Campinas-SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2006.

DIAS, D.S.; SILVA, P.F.G. **Estudo de viabilidade da aplicação do Programa Procel Edifica em edifícios comerciais já existentes**: estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba. 2010. 108p. TCC. Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

DOMUS – PROCEL EDIFICA. Software de simulação termoenergética de edificações. **Manual do usuário**. Curitiba: PUCPR, 2013.

FARIA, J.R.G. Inclusão digital no ensino de iluminação natural. XII ENCONTRO NACIONAL e VIII LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO- ENAC/ELACAC. Brasília, 2013.

FERREIRA, S.L. Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DE PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 7. 2007, Curitiba. **Anais**

**eletrônicos...** Curitiba, UFPR, 2007. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-44.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios**: o caso de escritórios em Florianópolis. 2008. 342 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação**: Edifícios do Setor de Serviços – Processo AQUA. Disponível em: <<http://www.geaconstruction.com/arquivos/HQEFCAV2007Completo151007v21semr evisões-rm2-ca..pdf>>. Acesso em: 11 set. 2008.

GOULART S.V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1988.

JRADE, A.; JALAEI, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. **Build Simul**, vol. 6, n. 4, p. 429-444, 2013.

429-444, 2013.

KWOK-WAIWONG, Johnny; KUAN, Ka-Lin. Implementing 'BEAM Plus' for BIM-based sustainability analysis. *Automation in Construction* 44 (2014) 163-175.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

\_\_\_\_\_; XAVIER, A.A.P. **Conforto térmico e stress térmico**. Florianópolis: Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

\_\_\_\_\_; GHISI, E.; RAMOS, G. **Impactos da adequação climática sobre a eficiência energética e o conforto térmico de edifícios de escritórios no Brasil**. Florianópolis, 2006.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. ABREU, A.L.P.; CARLO, J.C.; BATISTA, J.O.; MARINOSKI, D.L. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. PEREIRA, C.D.; BATISTA, J.O. **Casa eficiente**: consumo e geração de energia. Volume 2. Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2010a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Casa eficiente**: uso racional da água. Volume 3. Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2010b.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Casa eficiente**: simulação computacional do desempenho termo-energético. Volume 4. Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2010c.

LAMBERTS, R. (Coord.) **Manual-R**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações–CB3E – UFSC, 2013.

LORENZO, A. CEO - Syene Empreendimentos.

MACIEL, A.A.; MACIEL, M.A. A eficiência energética como caminho para as construções sustentáveis – parte II: uma análise dos cenários normativos brasileiro e europeu. Arquitetura e engajamento. 13 fev. 2013.

MANUAL para Etiquetagem de Edificações Públicas. **Gestor público**. Eletrobrás/Procel, 2014. Disponível em: <[http://www.comprasgovernamentais.gov.br/arquivos/sustentabilidade/manual\\_etiquet\\_edific\\_publicas\\_20141010.pdf](http://www.comprasgovernamentais.gov.br/arquivos/sustentabilidade/manual_etiquet_edific_publicas_20141010.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2015.

MARTINS, P.C.F. **A interoperabilidade entre sistemas BIM e simulação ambiental computacional**: estudo de caso. 2011, 229p. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2011.

MAY, V.C. **O uso do BIM como tecnologia de processo de projetos integrados de arquitetura sustentável**. 2014. 49p. Monografia. Especialização em Construções Sustentáveis, Universidade da Cidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

MELO, A.P.; BARCELOS, M.M. Engenheiros e arquitetos se rendem ao EnergyPlus. **Portal EA**. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/noticias/impressao/Default.aspx?noticia=417>>. Acesso em: 04 jan. 2015.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; CUNHANETO, J.A.B. 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./dez. 2005.

MISZURA L. **MBA em Gestão de Projetos de engenharia e arquitetura**. Instituto de Pós-Graduação e Graduação – IPOG. **Revista On-Line IPOG Especialize**. Goiânia, GO, jul. 2013.

NASCIMENTO, A.F.; LUKE, W.G.M. **Implantação e difusão da organização da informação da construção (BIM) no Brasil com o uso de ferramentas Autodesk**. Autodesk Univesity Brasil 2013.

OLIVEIRA, M.C.A.; VALADARES, N.A.; AMORIM, L.K.B. Aplicação do conceito do selo procel edifica em edificações do Campus de PALMAS/UFT. **Desafios**: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 1, n. 1, p. 114-127, jul./dez. 2014.

PATRICIO, R.M.R.; GOUVINHAS, R. P. Avaliação de Desempenho Ambiental em Edificações: Diretrizes para o Desenvolvimento de uma nova metodologia adaptada à realidade do Nordeste. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL/10º ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo, 2004.

PEDRINI, A.; DRUMOND, A.; OVÍDIO, C.; GERMANO, M.; ALVES, A. Estratégias bioclimáticas associadas à simulação computacional no processo projetual em clima quente seco: aplicação no projeto da plataforma solar - Petrolina/PE. VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Artigo Técnico. Brasília-DF, 2013.

PERRONE, F.P.D. Domus, o software brasileiro do Procel Edifica. **AECweb**. Disponível em: <[http://www.aecweb.com.br/cont/n/domus-o-software-brasileiro-do-procel-edifica\\_4907](http://www.aecweb.com.br/cont/n/domus-o-software-brasileiro-do-procel-edifica_4907)>. Acesso em: 20 nov. 2014.

PERRONE, F.P.D.; MENDES, N. **Primeira avaliação Domus-Procel Edifica**. Projeto Eletrobras-PUCPR, ECV 283a/2011. Curitiba, 03 jan. 2013.

SILVA, E. **Uma introdução ao projeto arquitetônico**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

SILVA, S. M.; ALMEIDA, M. G. Avaliação do impacto energético e econômico de diferentes soluções construtivas. **Engenharia civil - UM**. Repositório institucional da Universidade do Minho. Universidade do Minho, Portugal, v. 18, p. 45-61, set. 2003.

SKOPEK, J.; Bryan, H. **Green globes**: and online assessment tool for benchmarking building performance. Canadá, 2002.

SOUZA, R.V.G. (Coord.). Sustentabilidade e eficiência energética no ambiente construído. Belo Horizonte: CREA/MG, 2009.

SOUZA, I. Ufpa tem centro de eficiência energética. **Beira do Rio**. Jornal da Universidade Federal do Pará. Ano XXX, n. 127. out./nov. 2015. Disponível em: <<http://www.jornalbeiradorio.ufpa.br/novo/index.php/2010/114-edicao-84--junho-e-julho/1057-ufpa-tem-centro-de-eficiencia-energetica> >. Acesso em: 02 ago. 2015;

TEIXEIRA, M.M. **Análise da sustentabilidade no mercado imobiliário residencial brasileiro**. 2010. 136p. Dissertação. Mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

TELLO, R.; RIBEIRO, F.B. **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012.

TOSTES, M.E. **Metodologia para Análise de Sistemas de Iluminação Visando a Eficiência Energética**. CLAGTEE - The VII Congress took place in Valparaiso City, Chile, 2007.

US GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **US Environmental Protection Agency**. Sustainable building technical manual: green building design, construction and operation. Washington, U.S., 1996.

VASCONCELLOS, A.B.; NOVELO, F.; SILVA, L.O.; BUOSI, A.R.M.; ANABUKI, E.T. **Determinação da fatura de energia elétrica de uma unidade consumidora**

**utilizando software energyplus.** 2012. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/95812.PDF>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

VELOSO, A.C.O. **Análise comparativa do desempenho dos programas DOMUS e EnergyPlus.** 2012. 133p. Dissertação. Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e arquitetura.**São Paulo: Virtus, 2001.

WONG, Kam-din; FAN, Qing. Building information modeling (BIM) for sustainable buildingdesign. **Facilities**, vol. 31 n. 3/4, 2013, p. 138-157.

## ANEXO

### **MORFOLOGIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO POR ELVAN SILVA** **(Resumo extraído do livro: SILVA, E. Uma introdução ao projeto arquitetônico.** **2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.)**

1) Etapas do processo projetual: O processo projetual consiste em uma progressão, ou seja, parte de um ponto – contexto considerado problemático – e evolui em direção a uma proposta de solução. Ele varia conforme cada pessoa, pois é um fenômeno de natureza nitidamente psicológica.

Na práxis profissional, os procedimentos apresentam semelhanças quanto à configuração geral. Os momentos de comunicação e de exposição dos resultados caracterizam as etapas de desenvolvimento do processo projetual. Estas se distinguem pelo grau de definição alcançado.

- a) Estudos preliminares: estágio inicial do processo projetual, onde se analisa o problema, para a determinação da viabilidade de um programa e do partido a ser adotado. Não há preocupações com a escala.
- b) Anteprojeto: solução geral do problema, com a definição de partido adotado, da concepção estrutural e das instalações, possibilitando a clara compreensão da obra a ser executada. Nesta etapa, faltam informações pormenorizadas.
- c) Projeto definitivo: proposta conclusiva, composta de forma clara, exata e completa, constituída de desenhos (plantas, cortes, elevações, detalhes, etc.) e elementos textuais (memoriais, especificações, tabelas, etc.).

2) Programa de necessidades: Consiste no enunciado dos requisitos (necessidades, aspirações e expectativas) a serem satisfeitos pela obra a ser construída. Tradicionalmente, referia-se à listagem dos espaços ou compartimentos que deveriam integrar determinada edificação, cabendo ao projetista subentender as implicações funcionais e estéticas pertinentes.

Com a evolução da abordagem metodológica, passou também a ser o inventário de todos os requisitos materiais e imateriais referentes ao âmbito instrumental e afetivo, em seus aspectos fisiológicos, psicológicos, socioculturais, etc. Deste modo, o programa trata-se da decomposição de necessidades determinantes.

Exemplificando: Habitar - alimentação; repouso e lazer; higiene e saúde; e outras atividades.

Torna-se necessário um processo de classificação e hierarquização que conduz a uma delimitação do programa, no sentido de depurá-lo pela eliminação de componentes de relevância discutível.

Como requisitos básicos que o programa deve conter consideram-se:

- Adaptação e utilização do terreno;
- Problemas de proteção;
- Responsabilidades;
- Controle climático;
- Iluminação;
- Acústica;
- Comunicação;
- Equipamento e serviço.

3) Análise programática: Trata-se do estágio do processo projetual de reconhecimento, interpretação e organização dos elementos do contexto (ou programa).

Denomina-se organograma o gráfico dos dados programáticos que tem a finalidade de apresentar os diversos elementos juntamente com as variadas formas de relação entre eles. Por sua vez, o fluxograma é o gráfico dos fluxos funcionais da obra que visa identificar pontos de conflito e sobreposições de circulação.

4) Partido arquitetônico Consiste no resultado formal da manipulação inicial do programa e dos condicionantes objetivos de identificação imediata. Assim, trata-se da consequência de uma série de determinantes, tais como:

- Conformação topográfica do terreno;
- Orientação;
- Sistema estrutural adotado;
- Condições locais;
- Verba disponível;
  - Posturas que regulamentam as construções;
  - Intenção plástica do arquiteto.

O partido arquitetônico não é uma etapa do processo de projeção, mas a descrição, em linguagem adequada, dos traços elementares da proposta desenvolvida. Ele é expresso normalmente através de esboços, esquemas e modelos volumétricos, ou ainda, através da linguagem verbal.

Exemplificando: “Solução em três pavimentos com circulação vertical implantada externamente e dependências de serviço agrupadas em um bloco único”.

O partido não é a representação esquemática da concepção, mas sim o conceito. Representado, conceito este que deriva do processo de elaboração mental que procura sintetizar o resultado das principais decisões tomadas pelo projetista enquanto procura definir os traços essenciais do objeto em concepção.

Logo, o partido de um conceito de projeto é a consequência formal da intenção de expressá-lo, que deve ser coerente com o contexto e apto para conter aqueles pormenores que atribuem à forma arquitetônica a necessária adequação ao programa.

5) Estudos preliminares: A proposta de solução para um problema projetual é obtida através do método das aproximações sucessivas, quando a forma adequada a um determinado requisito é identificada gradualmente, por etapas, na medida em que se corrige e aperfeiçoa um conceito inicial sobre o qual se concentra o esforço de investigação.

Em algumas ocasiões, pode ocorrer que na mente do projetista surja, como que em um estalo, a ordem formal procurada, de modo perfeitamente articulado e íntegro, porém, o mais usual é que esta somente seja alcançada depois de um significativo esforço de aproximação e ajustes, no qual o arquiteto procura fazer uma síntese de imagens e conceitos, em um processo de proposição, avaliação, hierarquização e símbolos.

Os estudos preliminares explicitam a tendência formal da concepção, traduzida na configuração geométrica e na disposição e articulação dos espaços. Não consistem em um desenvolvimento do partido arquitetônico, mas sim em um estágio de sua pormenorização.

A transformação do estudo preliminar não é automática, pois depende da homologação do conceito por parte do cliente, ou do grau de satisfação do projetista com o próprio trabalho, ou ainda de ambas as circunstâncias.

O objetivo principal da apresentação do estudo preliminar é demonstrar a viabilidade do programa, face às características do terreno e demais condicionantes. Por isso não implica, necessariamente, na elaboração de desenhos em escala exata e com todo o rigor das convenções técnicas.

As possibilidades da linguagem convencional adotada, ou seja, o desenho técnico, são naturalmente limitadas; e estas limitações são superadas pelo emprego de informações complementares, e de recursos como a redundância, como dispositivo para se evitar a ambiguidade ou insuficiência de dados.

Denomina-se redundância a repetição do mesmo conteúdo por necessidade de clareza, que consiste em uma das bases do processo comunicativo do projeto.

6) Anteprojeto: No que concerne ao conteúdo, o anteprojeto completo será aquele que contiver informações abrangendo os seguintes aspectos:

- a) Definição volumétrica: Refere-se à morfologia geral do edifício projetado, ao modo pelo qual ele se insere no espaço, traduzindo-se no envoltório material do espaço arquitetônico. Deve-se adequar às premissas do contexto programático como também às características do entorno.
- b) Zoneamento das funções (ou atividades): Convencionou-se chamar de funcional ao instrumento que se preste de modo eficiente ao desempenho da própria finalidade. O anteprojeto deve ser organizado em zonas de utilização específica e o modo de arranjar estas zonas expressa maiores ou menores possibilidades de uso eficiente do espaço.
- c) Enquadramento no terreno: Consiste na influência dos aspectos planimétricos e altimétricos e da estrutura geológica do terreno na adoção do partido, na definição volumétrica e no zoneamento das funções.
- d) Tipologia construtivo-estrutural: Refere-se às características construtivas da solução estudada, o que, por sua vez, repercute no aspecto econômico da questão. Além disso, a própria concepção plástica do prédio relaciona-se ao sistema construtivo estrutural escolhido.
- e) Geometria dos espaços: Indica o formato e as dimensões de cada compartimento, o que é importante para sua adequabilidade instrumental, na proporção em que possibilitam o exercício de certas atividades, com ou sem o emprego de equipamento científico.

- f) Configuração das aberturas: Indica o formato, a posição, o tipo de funcionamento e o material de que são feitas as portas e janelas da edificação.
- g) Articulação das funções: Refere-se à maneira pela qual se interligam as diversas zonas funcionais, através do tipo de vínculos, áreas de conexão, posicionamento dos elementos de circulação vertical, etc., que interessam como fator de eficiência ou ineficiência no uso do espaço arquitetônico.
- h) Indicação do equipamento: Refere-se às dimensões, formatos, características e posição do equipamento fixo e móvel, que se relacionam com a satisfação de diversos requisitos programáticos. A representação do equipamento, nos desenhos do anteprojeto, fornece, além da noção de escala, informações importantes para a avaliação da adequabilidade instrumental da concepção proposta.
- i) Solução plástica: Consiste no conteúdo estético da arquitetura e encerra um valor que, frequentemente, prepondera sobre os demais na adoção ou rejeição de um partido arquitetônico.
- j) Relacionamento com o entorno: Refere-se ao ambiente natural preservado ou alterado que circunda a edificação, o que pode contribuir decisivamente na definição da forma arquitetônica, modificando as condições de insolação, ventilação, iluminação natural, etc.
- k) Acessos: Indicam as circunstâncias de chegada e partida, de utilização e fluxo, do projeto em questão.
- l) Tratamento do espaço externo: Indica o relacionamento do edifício com o entorno, referindo-se aos acessos, movimento de terra e tratamento paisagístico, cercas e muros, etc.
- m) Memória explicativa e/ou justificativa: Indica textos e esquemas que demonstrem a adequação da proposta ao contexto programático, vindo auxiliar a representação gráfica da proposta (desenhos).
- n) Esboço das especificações: Consiste na previsão do conjunto de estímulos representados pelos elementos visuais da arquitetura, como formato, dimensões, peso, natureza química, cor, textura, capacidade de isolamento, transparência, reflexão, resistência, durabilidade, etc. Tais elementos interessam não apenas para a questão do conteúdo estético, como também para a estimativa do custo da obra.

- o) Tabela indicativa de áreas: Refere-se à grandeza numérica dos espaços projetados.
- p) Orçamento estimativo: Corresponde ao montante de recursos necessários para a execução da obra.
- q) Elementos adicionais: Perspectivas e/ou maquetes que contribuam para a comunicação das idéias do projetista em relação à obra prevista.

7) Projeto Executivo: Este serve como instrumento para a realização da obra, pressupondo a homologação da idéia exposta no anteprojeto. Assim, trata-se de um sistema de instruções, que informa de que maneira deve ser construído o prédio.

Acessoriamente, o projeto definitivo pode servir para o exame e aprovação da idéia por parte das autoridades encarregadas (parte documental), muito embora tal tarefa possa ser cumprida pelo anteprojeto, sempre que este atingir determinado grau de capacidade informativa.

Fazendo-se uma análise sistemática e classificatória, obtêm-se as seguintes informações necessárias ao projeto executivo:

Quanto à configuração do espaço construído:

- Compartimentos (disposição, formato, dimensões e área, acabamento e características espaciais);
- Aberturas (posição, formato, dimensões, funcionamento, material e acabamento e características especiais);
- Equipamento (natureza e finalidade, posição, formato, dimensões, material e acabamento e características especiais).

Quanto aos elementos construtivos:

- Elementos estruturais (posição, formato, dimensões, material e acabamento);
- Sistema parietal (posição, dimensões/espessura -, material e acabamento e características especiais);
- Pisos e tetos (nível/cota altimétrica, dimensões/espessura, material e acabamento e características especiais);
- Elementos de conexão (posição, formato, dimensões, material e acabamento);
- Cobertura (material, formato e dimensões, escoamento pluvial, estrutura e características especiais);
- Instalações (natureza e finalidade, posição dos elementos, especificações e detalhes técnicos);

- Acessórios (natureza e finalidade, posição, formato e dimensões, material e acabamento);
- Tratamento externo (materiais, acabamentos, esquema cromático e especificações);
- Conformação do terreno (movimento de terra, elementos construtivos, paisagística, acessos e cerramento).

Obviamente, o inventário esquemático anterior diz respeito a uma edificação hipotética complexa. Nas situações concretas, alguns daqueles elementos poderão não ser diferenciáveis, ou mesmo não estar presentes.

A diferença entre as maneiras de informar do anteprojeto e do projeto reside principalmente na adição: os elementos gráficos registrarão dimensões, ângulos, elementos de referência, legendas e outros recursos que incrementem a clareza e a precisão.