



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
Programa De Pós Graduação Modelagem Computacional Em
Ciência E Tecnologia

APLICAÇÃO DA MODELAGEM B.I.M PARA ESTUDO DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES: UM ESTUDO
DE CASO.

Victor Porto Lopes

ILHÉUS –BAHIA
2019

Victor Porto Lopes

**Aplicação da modelagem B.I.M para estudo de
eficiência energética de edificações: um estudo de
caso.**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia, à Universidade Estadual de Santa Cruz.

Orientador: Dr. Francisco Bruno Souza Oliveira

**ILHÉUS –BAHIA
2019**

L864

Lopes, Victor Porto.

Aplicação da modelagem B.I.M para estudo de eficiência energética de edificações: um estudo de caso / Victor Porto Lopes. – Ilhéus, BA: UESC, 2019.

69f. : il.; anexos.

Orientador: Francisco Bruno Souza Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia.

Inclui referências.

1. Modelagem de informação da construção. 2. Energia – Conservação. 3. Controle de temperatura. 4. Arquitetura e conservação de energia. I. Título.

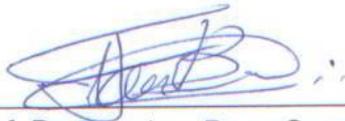
CDD 690.0285

Victor Porto Lopes

**Aplicação da modelagem B.I.M para estudo de
eficiência energética de edificações: um estudo de
caso.**

Ilhéus-BA, 16/08/2019

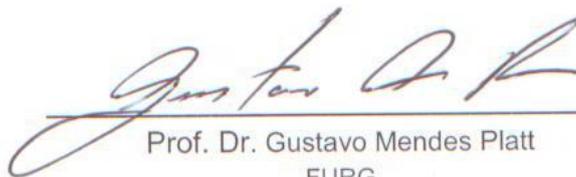
Comissão examinadora



Prof. Dr. Francisco Bruno Souza Oliveira
UESC
(Orientador)



Prof. Dr. Aprígio Augusto Lopes Bezerra
UESC



Prof. Dr. Gustavo Mendes Platt
FURG

Dedico este a trabalho a todos ocupam seu tempo com o objetivo de transformar o mundo em um lugar melhor, em especial aos que utilizam a tecnologia em prol do planeta.

AGRADECIMENTOS

- À minha família, especialmente à minha mãe e minha tia Izabel, pela dedicação ao longo de toda a minha vida;
- À minha namorada Jessyca, pela compreensão nos momentos de ausência;
- À minha irmã Malú pelo companheirismo, mesmo que inconsciente;
- A Luis Mário pelo suporte que sempre ofereceu;
- Ao meu orientador professor Dr. Francisco Bruno, pelo acolhimento e direcionamento;
- Aos Arquitetos Gabriel de Queiroz e Cristiane Rabelo E AO Engenheiro eletricitista Carlos Araújo pelo apoio técnico durante a pesquisa;
- À UFSB pelos ajustes nos horários de trabalho e ajuda de custo;
- Aos professores, que me fizeram chegar até aqui e também aos do programa, pelos conhecimentos e ensinamentos.

*“Pensar em sustentabilidade é
pensar na família, no próximo e
em você mesmo.”*

Djalma Augusto Moura

RESUMO

Ocorre, atualmente, uma iminente transição das plataformas de projetos de edificações do Computer Aided Design (CAD) para o Building Information Model (BIM). Unido a disseminação do BIM acredita-se que edifícios com melhores condições de eficiência energética possam contribuir além do menor consumo de energia a redução da emissão de gases, devido a diminuição do uso de aparelhos condicionadores de ar. O presente trabalho apresenta um amplo estudo acerca da aplicação do BIM a projetos eficientes, percorrendo temas como arquitetura passiva, estudos bioclimáticos, normas de desempenho e também apresenta o estudo de caso da modelagem do bloco administrativo do Campus Sosígenes Costa da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) e suas análises de eficiência energética, utilizando o softwares Autodesk Revit®, Green Building Studio® (GBS) e Insight®, obtendo-se ao final, propostas de modelos com desempenho energético superiores ao prédio original, análises de viabilidade econômica, possibilitando a comparação entre estes modelos e conclusões sobre aplicabilidade destas ferramentas no viés dos projetos eficientes, destacando os aspectos positivos e negativos quando comparados aos métodos convencionais de obtenção de edificações eficientes e o nível de detalhamento e confiabilidade destas ferramentas.

Palavras-chave: BIM, Eficiência energética, Modelagem de Edificações, Conforto Térmico, Arquitetura Passiva.

ABSTRACT

Currently there is an imminent transition from building design platforms from Computer Aided Design (CAD) to Building Information Model (BIM). With the spread of BIM it is believed that buildings with better energy efficiency conditions can contribute to lowering energy consumption and reducing gas emissions, due to the decrease of the use of air conditioners. This research presents a broad study using the application of BIM to efficient projects, covering topics such as: passive architecture, bioclimatic studies, performance norms, as well as the case study of the administrative block modeling of the Sosigenes Costa Campus of the Federal University of South of Bahia-Brazil (UFSEB by its acronym in Portuguese) and its energy efficiency assessment. Using Autodesk Revit®, Green Building Studio® (GBS) and Insight® software, proposals were made for models with energy performance superior to the original building and economic viability analysis. Therefore, allowing the comparison between these models and making conclusions about the applicability of these tools in the efficient design bias, highlighting the positive and negative aspects when compared to the conventional methods of obtaining efficient buildings and the level of detail and reliability of these tools.

Keywords: BIM, Energy Efficiency, Building Modelling, Thermal Comfort, Passive Architecture.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BIM	Building Information Model
BTU	British Thermal Unit
CAD	Computer Aided Design
DB	Design Builder
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FA	Fator Altura
FF	Fator de Forma
FS	Fator Solar
GBS	Green Building Studio
IC	Indicador de Consumo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPOG	Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão
ORSE	Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe
PAFt	Percentual de Abertura na Fachada total
RTQ	Regulamentos Técnicos de Qualidade
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa e Custos da Construção Civil

SLTI Secretaria de Lógica e Tecnologia da Informação

UFSB Universidade federal do Sul da Bahia

WWR Window to Wall Ratio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Eixo gravitacional demonstrando a influência do movimento de translação na exposição solar do globo terrestre, definindo as alterações climáticas sazonais.....	7
Figura 2 - Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro, demonstrando a divisão do território nas oito zonas bioclimáticas.	8
Figura 3 - Etiqueta ENCE, demonstrando duas diferentes modalidades de etiquetagem: total, que apresenta a classificação da envoltória, iluminação e condicionamento de ar e a etiqueta parcial, que apresenta apenas a classificação da envoltória.	11
Figura 4 - Estratégia bioclimática de ventilação cruzada.	12
Figura 5 - Zonas de pressão positivas e negativas.	13
Figura 6 - Relação da posição das aberturas em um ambiente ventilado com o fluxo do ar neste ambiente.	14
Figura 7 - Obstáculos no fluxo do ar.	14
Figura 8 - Lanternim.	15
Figura 9 - Efeito Chaminé de fluxo acelerado.	15
Figura 10 - Sistema de ventilação natural e exaustão do Hospital Sarah.	16
Figura 11 - Pátios internos.	16
Figura 12 - Torre de resfriamento evaporativo.	17
Figura 13 - Domos da FAU-USP.	18
Figura 14 - Prateleira de Luz.	19
Figura 15 - Brises de vidro com proteção especial.	19
Figura 16 - Brises Soleil.	20
Figura 17 - Cobogó.	20

Figura 18 - Localização Universidade Federal do Sul da Bahia.	25
Figura 19 - Bloco administrativo do campus Sosígenes Costa.	25
Figura 20 - Dados climáticos de Porto Seguro obtidos com o software GBS.....	30
Figura 21 - Configuração das propriedades da alvenaria.	32
Figura 22 - Imagens do modelo do prédio original após a modelagem de sua arquitetura no Revit®. Imagem A: vista 3D, Imagem B: Vista renderizada e Imagem C: Vista interna.	33
Figura 23 - Localização do projeto e estação meteorológica	34
Figura 24 - Fluxograma para obtenção do modelo analítico de energia	35
Figura 25 - Configurações tipos conceituais.	35
Figura 26 - Configurações tipos esquemáticos.....	36
Figura 27 - Modelo analítico de energia. Na figura A: modelo com os elementos. Na figura B pode-se observar o destaque dos espaços da edificação.....	36
Figura 28 - Gráficos comparativos entre os valores verificados “in loco” e os valores obtidos com simulação para simulação no modelo.	38
Figura 29 - Estimativa anual de consumo de energia tipos conceituais no Insight®	39
Figura 30 - Cargas de Aquecimento no Insight.....	40
Figura 31 - Cargas de arrefecimento. Na figura A é possível a observação das cargas de arrefecimento apresentadas pelo Insight®. Na imagem B é possível verificar a exposição solar da fachada Oeste da edificação.....	40
Figura 32 - Estimativas de consumo mensal dos modelos no GBS®.	42
Figura 33 - Caminho do sol em diferentes períodos às 15 horas local.....	44
Figura 34 - Vista 3D com a implantação da estratégia de ampliação das áreas de aberturas de janelas.	45

Figura 35 - Efeito Vista 3D com a implantação da chaminé no hall central.....	46
Figura 36 - Estudo da direção dos ventos predominantes na edificação. Na Figura A pode ser observada a roda dos ventos apresentada pelo software GBS® e na figura B a influência esperada desses ventos na edificação.	47
Figura 37 - Cargas térmicas de arrefecimento.....	49
Figura 38 - Estratégia de instalação de brises Soleil..	49
Figura 39 - Análise das cargas de arrefecimento no Insight mod. OBCE.....	51
Figura 40 - Fachada Oeste dos modelos OBCE e OBCE.a, respectivamente.	51
Figura 41 - Percentual do consumo dos modelos tipos conceituais.	57
Figura 42 - Percentual do consumo dos modelos tipos esquemáticos.....	58
Figura 43 - Percentual do consumo dos modelos elementos detalhados.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados iluminância: verificação “in loco” x simulação.....	38
Tabela 2 - Alternativas de posicionamento do prédio original.....	44
Tabela 3 - Comparação entre os modelos AB e ABC.	48
Tabela 4 - Resultados com efeito chaminé.....	49
Tabela 5 - Resultados com a estratégia de sombreamento.	51
Tabela 6 - Resultados modelo OBCE.a.	53
Tabela 7 - Análise econômica das estratégias.	53
Tabela 8 - Parâmetro ICmáx.....	55
Tabela 9 - Parâmetro ICmin.	55
Tabela 10 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	6
2.1.1.	Conceitos	6
2.1.2.	Princípios de Energia	6
2.1.3.	Técnicas de Projeto Passivo	8
2.2.	MODELAGEM BIM	20
2.3.	MODELAGEM BIM APLICADA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1.	ÁREA DE ESTUDO	25
3.2.	COLETA DE DADOS	26
3.3.	MODELAGEM BIM	28
3.4.	ANÁLISES DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO EXISTENTE	28
3.5.	ANÁLISE ENERGÉTICA COM SOFTWARES ESPECÍFICOS	29
3.6.	OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1.	MODELO BIM DA EDIFICAÇÃO EXISTENTE (O)	32
4.2.	ANÁLISES DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO EXISTENTE (O)	34
4.2.1.	Análises de iluminância	37
4.2.2.	Análises do prédio original no Insight®	39

4.2.3. Análises no GBS®	41
4.3. OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE (ABCE)	43
4.4. OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE VIÁVEL (OBCE.a).....	50
4.4.1. Custo de implementação das estratégias viáveis.....	52
4.5. ANÁLISE PELO MÉTODO PRESCRITIVO RTQ-C	53
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS	55
5 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O empenho humano em desenvolver tecnologias para assegurar o conforto do ambiente em que vive não se iniciou recentemente. Na Roma antiga há histórico da criação do primeiro sistema para aquecimento artificial de que se tem notícia, já no Norte da China, na cidade de Honan, foram construídos ambientes subterrâneos, devido ao clima severo, assim como na Tunísia a fim de evitar os extremos de temperatura (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014). Nos Estados Unidos, os colonos do Estado da Nova Inglaterra desenvolveram as casas saleiro, que tinham telhados íngremes com a finalidade do redirecionamento dos ventos (Keeler e Burke, 2010), bem como o povo de Mesa Verde construiu suas habitações protegidas do sol por encostas de pedras, para um melhor sombreamento no verão quente e seco (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Até o período da década de 1970, aproximadamente, a arquitetura era a responsável por garantir o conforto térmico das edificações, então o calor era amenizado com elementos de sombreamento, circulação do ar e, em climas secos pela massa térmica. As edificações costumavam apresentar toldos sobre suas janelas, que eram abertos sazonalmente para criação de sombras. O posicionamento das janelas era trabalhado de forma a garantir a possibilidade da ventilação cruzada e quando não era possível eram utilizados ventiladores de teto para a circulação do ar (Keeler e Burke, 2010).

Posteriormente, com a disseminação dos aparelhos condicionadores de ar, a arquitetura passou a substituir o sombreamento por vidros absorventes de luz e transferiu a responsabilidade do conforto térmico para os equipamentos mecânicos e elétricos, pois havia uma previsão de energia tão barata, que nem seria medida (Keeler e Burke, 2010).

Contudo, com a crise do Petróleo em 1973 e o aumento da população nos centros urbanos na década de 1980 fizeram com que a produção de eletricidade aumentasse significativamente. Isto acarretou diversos inconvenientes ambientais, como a inundação de áreas para novas usinas, deslocamento de populações, poluição e riscos com a segurança pública. Ocorreram também problemas econômicos, devido aos grandes investimentos em produção de energia elétrica, o que gerou também problemas sociais, pois foram reduzidos investimentos em saúde, educação e habitação. (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Diante do quadro apresentado a alternativa mais adequada seria o aumento da eficiência no uso de energia, aprimorando os processos em todas as quatro fases da energia elétrica: geração, transmissão, distribuição e consumo. A arquitetura pode contribuir com esse processo com a

concepção de edifícios mais eficientes, que garanta um equilíbrio entre conforto do usuário e o uso racional da energia. (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Prever os diversos parâmetros relacionados à energia de uma edificação não é tarefa fácil, uma vez que esta contempla parâmetros de diversas disciplinas e costuma envolver profissionais de diferentes áreas.

Na plataforma largamente disseminada nos escritórios de projetos, CAD (Computer Aided Design), é possível criar formas geométricas, projetar com detalhes e até mesmo desenhar em três dimensões, contudo esta plataforma não contempla duas importantes funções: interoperabilidade, que permite a comunicação entre as diferentes disciplinas dos projetos elaborados e modelagem paramétrica, que faz com que o modelo tenha características além das geométricas (Andrade e Ruschel, 2009a). Estas características podem ser verificadas no BIM (Building Information Model), que segundo Coelho e Novaes (2008) é a evolução do desenho assistido por computador.

A plataforma BIM permite gerar desenhos precisos em qualquer parte do projeto, estimar custos e quantidades de forma automatizada, realizar simulações de desempenho energético, reduzir o uso de recursos, deletar conflitos de incompatibilidades de projetos, atualizar automaticamente as modificações em todos os desenhos, porém a maior parte dos projetistas ainda não migraram para esta plataforma devido a resistência à mudança nos processos tradicionais aos de costume, pelo custo de implantação como capacitação e softwares, como também a falta de normatização (Carvalho et al, 2017).

Desta forma, podemos observar que há a necessidade da redução do consumo de energia das edificações garantindo as condições de conforto ao usuário. Uma maneira de se realizar esta redução é resgatar conceitos passivos da arquitetura vernacular e bioclimática, aplicando-os às edificações (Rodrigues, 2015). Para isto é possível a utilização de avançadas tecnologias de simulação, entre elas a plataforma BIM, que nos permite modelar a edificação desejada em ambiente virtual e em conjunto com outras ferramentas obter dados energéticos da edificação, possibilitando projetos mais eficientes.

Como estudo de caso o trabalho apresentará modelo na plataforma BIM, devidamente configurado, localizado e posicionado do bloco administrativo da Universidade Federal do Sul da Bahia, situada na cidade de Porto Seguro-BA, assim permitindo a análise de dados energéticos da edificação de acordo com o clima local. Admite-se a hipótese de que o uso de técnicas de arquitetura vernacular e bioclimática pode auxiliar na redução do consumo de

energia da edificação, em especial contribuindo para a diminuição do uso de aparelhos condicionadores de ar e equipamentos de iluminação.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência energética do bloco administrativo da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), utilizando modelagem Building Information Model (BIM) e propor soluções que visem melhor desempenho da edificação, avaliando as ferramentas BIM no viés dos projetos eficiente. Já os objetivos específicos são:

- Modelar a arquitetura atual da edificação no software Autodesk Revit, inserindo características analíticas de conforto térmico dos materiais;
- Realizar simulação computacional do desempenho energético da edificação existente;
- Projetar modelo BIM com propostas de arquitetura passiva, que visem à melhoria do desempenho térmico e de iluminação natural do edifício;
- Discutir os resultados e realizar comparações entre a edificação existente e o projeto proposto.
- Avaliar as ferramentas BIM no viés da eficiência energética de edificações.

A UFSB apresenta em seu plano orientador um conjunto de princípios político-institucionais, entre eles: “*compromisso inegociável com a sustentabilidade*” (UFSB, 2014), além deste princípio intra-institucional esta universidade é uma autarquia do governo federal brasileiro, devendo assim manter a eficiência na gestão da coisa pública, garantindo o respeito ao meio ambiente e economia dos recursos públicos.

Outra justificativa para o estudo de edificações eficientes no setor público é a Instrução Normativa nº 02 de 04 de junho de 2014 da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, que dispõe sobre a obrigatoriedade de que os novos projetos de edificações públicas federais visem a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de projetos classe “A”(MPOG/SLTI, 2014). Esta classificação é similar a etiquetagem já utilizada em eletrodomésticos e os parâmetros de avaliação são determinados em norma do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

Vale ressaltar que na cidade de Porto Seguro, a UFSB foi instalada em um espaço projetado para funcionar, e assim funcionou durante anos, como o centro de convenções. Desta forma a implantação da universidade se deu por meio de reformas e adaptações dos espaços para a nova

finalidade, assim transformando os ambientes ali existentes em salas de aulas, laboratórios, espaços administrativos, etc.

A escolha desta instituição como estudo de caso se deu pela sua importância para a região em que foi implantada, da sua preocupação com o meio ambiente, descrita em seus documentos oficiais, pelo vínculo de trabalho O autor com a instituição, bem como a característica de ter sofrido alterações do projeto original, no caso especial do bloco administrativo, o que faz com que as análises de conforto térmico, que possam ter sido realizadas no primeiro projeto podem ter sido alteradas, devido ao novo layout.

A opção pelo uso da modelagem BIM se deu pela atualidade do tema, como também pela iminente transformação desta plataforma em uma ferramenta disseminada de projetos, conforme pode ser verificado no decreto 9.377/2018, que institui o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR (CG-BIM) (BRASIL,2018). Os resultados apresentados na literatura mostram o BIM, unido a softwares de análise de eficiência energética como satisfatório para o tema abordado (Carvalho et al,2017). Entretanto outros autores verificaram problemas de interoperabilidade e análises incompletas. (Borges et al, 2018; De Queiróz, 2016).

Portanto, pode-se justificar o presente trabalho pela necessidade da redução do consumo de energia das edificações, pelo dever do poder público de administrar recursos de maneira eficientes, pelo compromisso da UFSB com a sustentabilidade, bem como pela iminência da disseminação do BIM como plataforma de projetos no Brasil, logo há a necessidade de conhecimento das possibilidades de análise no campo da eficiência energética de edificações, bem como as dificuldades encontradas no uso das ferramentas.

Ao concluir a pesquisa pretende-se obter respostas para questionamento a respeito do uso do BIM para projetos de eficiência energética de edificações, de modo que sejam respondidos os seguintes questionamentos:

- É possível realizar projetos de edificações eficientes apenas como ferramentas BIM?
- Caso a resposta anterior seja positiva, quais os recursos disponíveis para este tipo de análise nos softwares estudados?
- Como as ferramentas estudadas respondem a implementação de técnicas de projeto passivo, em especial nos quesitos iluminação e ventilação natural, bem como na redução das temperaturas internas da edificação.

A pesquisa está estruturada em cinco partes, sendo a primeira a introdução e contextualização do tema abordado, onde foram expostos os objetivos, justificativas, bem como apresentadas as perguntas que devem ser respondidas ao final do trabalho. Na segunda parte foi realizado uma ampla revisão de literatura, em que foram pesquisados três tópicos principais: eficiência energética de edificações, modelagem BIM e a aplicação da modelagem BIM para projetos de eficiência energética. Em seguida apresentou-se os materiais e métodos utilizados, delimitou-se área de estudo, os dados coletados, bem como os softwares utilizados para modelagem e análises. A quarta parte é constituída pela apresentação dos resultados e discussão, nesta etapa foram apresentados os modelos obtidos e realizadas as comparações entre eles. A quinta e última parte foi a conclusão, onde o autor expõe a sua análise crítica após o estudo e apresenta temas relacionados para possíveis pesquisas futuras. Ao final foram anexados arquivos que demonstram análises realizadas durante a pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

2.1.1. Conceitos

Horta (2012) destaca a importância da eficiência energética para a sustentabilidade e a define como a otimização do consumo de energia, mantendo um desempenho energético que produza os mesmos resultados.

Machado (2014) também cita este conceito, associando-o à relação entre a energia consumida e a energia disponibilizada para a realização de determinada atividade, desta forma pode-se observar o cuidado necessário para o combate às perdas de energia nos processos.

Bisinoto (2012) ressalta que a eficiência energética está relacionada a manutenção da qualidade do serviço prestado, reduzindo-se a quantidade de energia empregada.

Já no contexto específico das edificações, para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a eficiência energética na arquitetura está relacionada a possibilidade de obtenção de conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com baixo consumo de energia.

Diante dos conceitos iniciais de eficiência energética aplicada às edificações podemos extrair a ideia de redução do consumo de energia das construções, sem que esta redução esteja relacionada à perda de conforto do usuário. Para que isto seja possível Keeler e Burke (2010) apontam como possibilidade o resgate de conceitos da arquitetura vernacular (tradicional) de edificações dos tempos em que as tecnologias disponíveis para o conforto do ambiente eram escassas. Destacam ainda a possibilidade de se projetar edificações resilientes, ou seja, que se adaptam ao clima e o uso de técnicas de projeto passivo, que visam o melhor aproveitamento das energias naturais em prol da edificação.

2.1.2. Princípios de Energia

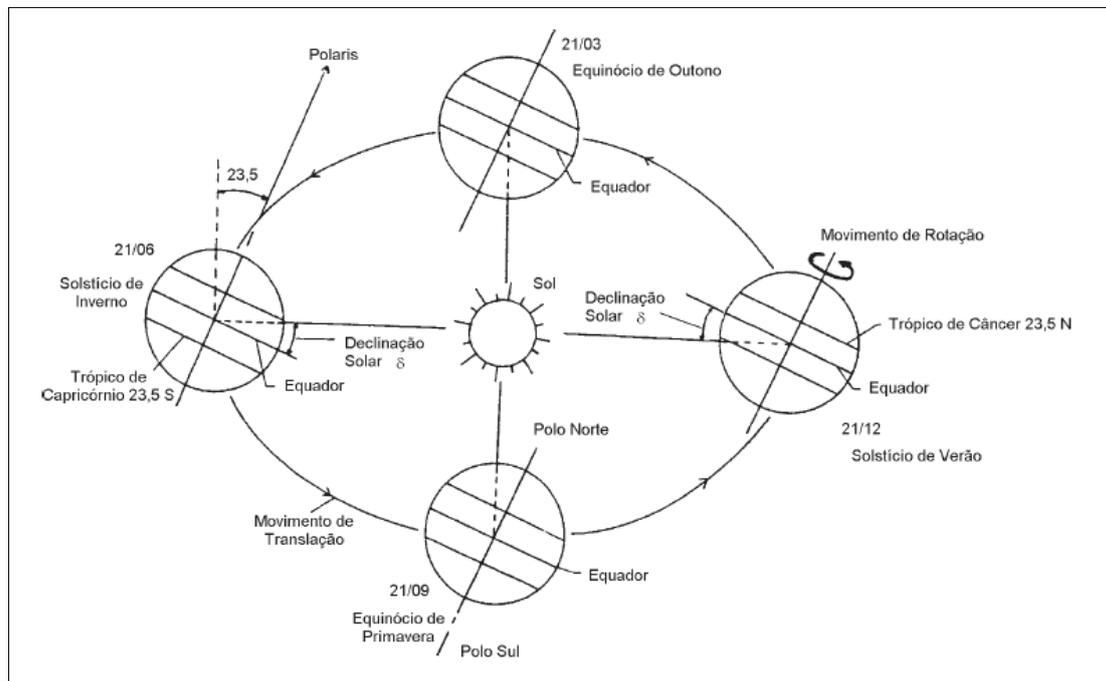
Para melhor entendimento do desempenho energético de edificações, se faz necessário o conhecimento de alguns princípios de energia, pois os processos de refrigeração, calefação e iluminação nas edificações envolvem aumento ou diminuição do calor (Keeler e Burke, 2010).

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016) o calor é a *“energia transferida de um sistema para o ambiente, ou vice-versa, em virtude de uma diferença de temperatura”*, no sistema internacional a unidade de medida do calor é o Joule (J), esta é a unidade utilizada no Brasil. Em outros países, como é o caso dos Estados Unidos, utiliza-se a Unidade Térmica Britânica (BTU) (Keeler e Burke, 2010).

A transferência térmica em edificação é realizada principalmente por quatro métodos: condução, convecção, evaporação e radiação (Keeler e Burke, 2010). A condução ocorre quando dois corpos trocam calor devido ao contato físico direto (Keeler e Burke, 2010), a convecção “é uma transferência de energia associada ao movimento em um fluido produzido por diferenças de temperatura” (Halliday, Resnick e Walker, 2016), a radiação é uma transferência de energia por ondas eletromagnéticas (Halliday, Resnick e Walker, 2016), nela o calor é deslocado no vácuo ou no ar (Keeler e Burke, 2010).

Para melhor compreensão da radiação solar nas edificações é necessário o entendimento do movimento de translação, em que a Terra realiza sua trajetória elíptica com inclinação de 23,5 graus em relação ao plano da órbita do planeta ao redor do sol (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014; Keeler e Burke, 2010). Este ângulo define a posição dos trópicos (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014) e causa as mudanças sazonais do clima na Terra (Keeler e Burke, 2010). Este movimento pode ser observado na Figura 01:

Figura 01 - Eixo gravitacional demonstrando a influência do movimento de translação na exposição solar do globo terrestre, definindo as alterações climáticas sazonais.



Fonte: Guimarães et al ,2004.

A radiação solar pode ser direta ou difusa (Carvalho, 2017). Quando a parcela de radiação atinge diretamente a Terra ocorre a radiação solar direta, já a radiação solar difusa ocorre quando a radiação global incidente sofre espalhamento e alteração da sua direção (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

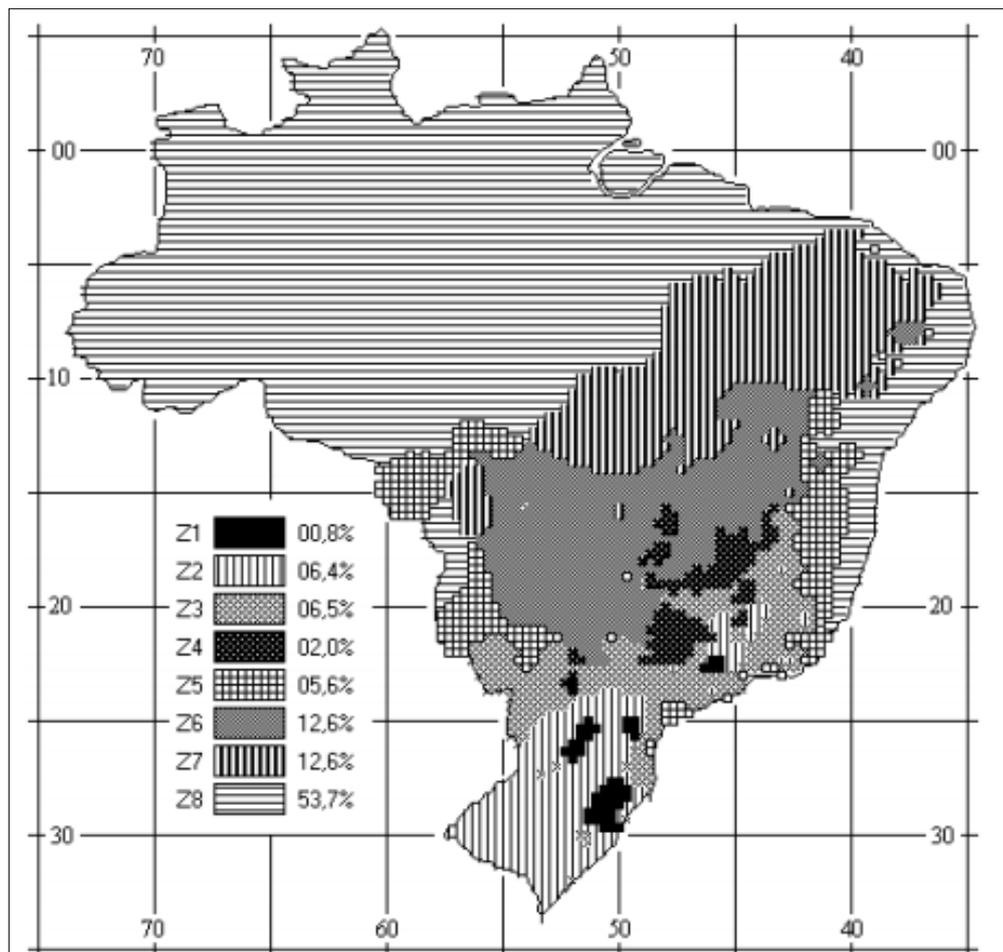
2.1.3. Técnicas de Projeto Passivo

Ao iniciar um projeto que vise maximizar a utilização das energias naturais e que considere as condições bioclimáticas, o projetista deve atentar para alguns aspectos relevantes. Para Carvalho (2017) estes fatores são: Localização Geográfica, considerando orientação e condições climáticas, características geométricas, ganhos solares e iluminação, características do envoltório e os sistemas energéticos empregados.

A escolha do terreno deve considerar a legislação local, pois esta define os afastamentos, recuos, alturas máximas, entre outros parâmetros que podem influenciar no sombreamento, iluminação e ventilação natural (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2003) apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o território nacional em oito zonas bioclimáticas e apresentando as diretrizes construtivas para edificações unifamiliares de interesse social até três pavimentos para cada uma dessas zonas, tal zoneamento pode ser verificado na Figura 02:

Figura 02 - Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro, demonstrando a divisão do território nas oito zonas bioclimáticas.



Fonte: ABNT (2003); ABNT (2013).

Pode-se observar que a cidade de Porto Seguro está localizada na Zona 08. Embora a edificação estudada não seja especificada como unifamiliar de interesse social, ressaltam-se as diretrizes apresentadas na norma para essa zona:

- Aberturas para ventilação grandes (percentual de abertura superior a 40% da área do piso).
- Sombrear aberturas.
- Paredes leves refletoras: Transmitância térmica $\leq 3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; Atraso térmico $\leq 4,3$ horas; Fator Solar $\leq 4\%$.
- Cobertura leve refletora: Transmitância térmica $\leq 2,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$; Atraso térmico $\leq 3,3$ horas; Fator Solar $\leq 6,5\%$.
- Adotar como estratégia de condicionamento térmico a ventilação cruzada.

Outro método para a obtenção das diretrizes de eficiência energética para determinado projeto é a utilização das planilhas de Mahoney, que consiste em relacionar variáveis climáticas com zonas de conforto (Vettorazzi et al, 2010). Neste método são inseridos como *inputs* os dados climáticos anuais da edificação: Médias mensais das temperaturas mínimas e máximas, umidades relativas mínimas e máximas e precipitação mensal e as planilhas retornam as indicações de condições térmicas: conforto, calor ou frio para dias e noites de cada mês do ano, acompanhado de recomendações para a arquitetura.

Uma vez atendida à localização geográfica e orientação, o projeto deve ter características geométricas adequadas ao local escolhido e esta influencia diretamente no desempenho energético da edificação (Carvalho, 2017), pode-se destacar os seguintes parâmetro relacionados a geometria das edificações:

- Fator de Compactacidade:

$$FC = \frac{\text{Volume interno do edifício (m}^3\text{)}}{\text{Área de superfície total exterior (m}^2\text{)}}$$

(1)

- Fator de Forma:

$$FF = \frac{\text{Área de superfície total exterior (m}^2\text{)}}{\text{Volume interno do edifício (m}^3\text{)}}$$

(2)

De uma forma geral, quanto mais compacto o edifício (menor FF) menores necessidades de energia este apresenta, pois é sujeito a uma menor exposição das superfícies exteriores às

condições climáticas exteriores. Por outro lado, numa construção mais compacta os espaços apresentam na generalidade uma maior profundidade, podendo assim comprometer o aproveitamento dos níveis de iluminação natural, assim como do sucesso para a aplicação de estratégias de ventilação dos espaços, afetando decisivamente as necessidades energéticas do edifício. (Carvalho,2017)

- Window-to-Wall Ratio:

$$WWR = \frac{\text{Área de vão envidraçado (m}^2\text{)}}{\text{Área da fachada (m}^2\text{)}}$$

(3)

O aumento das dimensões dos vãos de janela relaciona-se com o aumento da iluminância interna, bem como ganhos e perdas de cargas térmicas e o parâmetro utilizado para mensuração da relação entre a área de janela e a área de fachada é o Window-to-Wall-Ratio (WWR) (Bisinoto, 2012).

A radiação solar, além de ser a principal fonte de energia do planeta (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014; Carvalho, 2017), tem relevância no estudo das construções passivas e energeticamente eficientes, tanto por possibilitar que a edificação produza a sua própria energia, quanto pelo fornecimento de luz natural e calor.

As características do material empregado nas fachadas envidraçadas contribuem para o conforto ambiental e redução do consumo de energia, como exemplo pode-se citar a utilização de vidros com menor ganho de calor para a redução do uso de aparelhos condicionadores de ar ou mesmo em região mais frias, podem ser utilizados vidros que otimizem o aquecimento pela radiação solar (Pereira, 2010).

Para esta caracterização utiliza-se o fator solar (FS), que segundo Carvalho (2017) pode ser definido como “a fração de radiação solar que atinge a superfície deste (vidro), e que contribui para o aumento da temperatura interior incluindo, além da radiação transmitida a fração de calor absorvida pelo vidro”. Ou seja, o fator solar é inversamente proporcional à proteção as radiações transmitidas ao interior da edificação.

É necessária também a quantificação da iluminação no ambiente estudado, para tanto se faz necessário o conhecimento a cerca de iluminância, que pode ser definida como: “Limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero.” (ABNT, 1992). A unidade de medida da

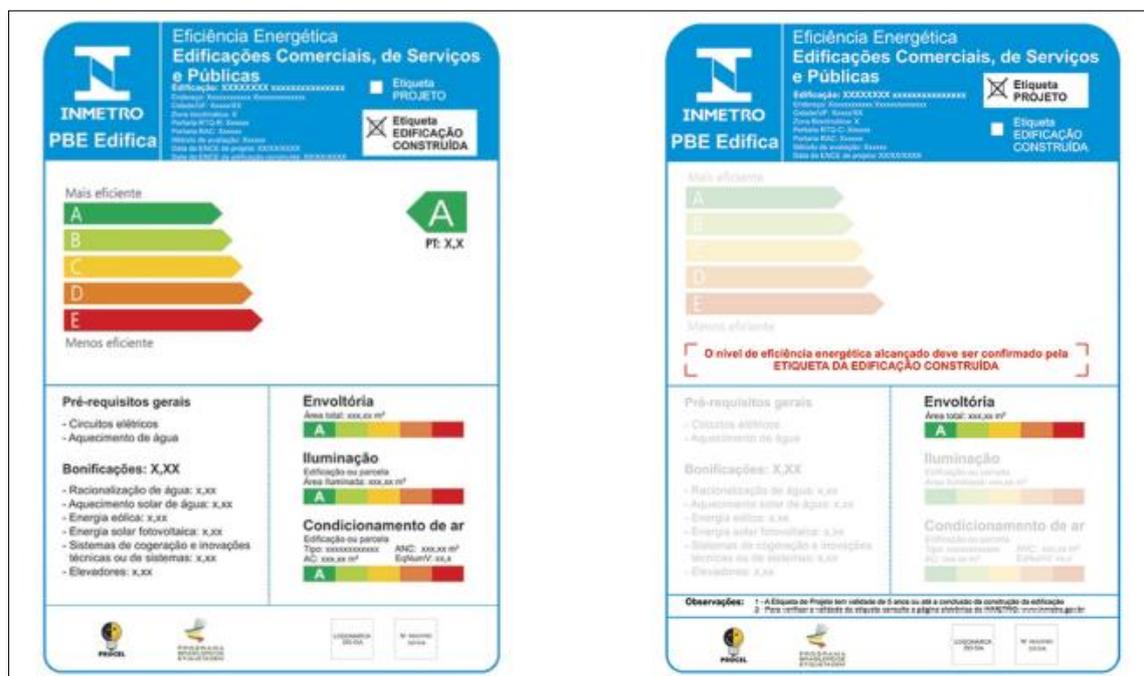
iluminância é o lux, que corresponde a um lúmen (lm) por metro quadrado (m²) (Carvalho, 2017).

A iluminância adequada para cada ambiente varia segundo a norma ABNT NBR 5413 (1992) de acordo com a classe de tarefas visuais desempenhadas no ambiente e com características do observador.

Os planos que separam os ambientes internos dos externos são denominados de envoltória (INMETRO, 2010) e seu desempenho energético está relacionado a solução construtiva adotada, espessura do isolamento térmico, tipo de vão envidraçado e coeficiente de transferência de calor ou transmitância térmica (U) (Carvalho, 2017), cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital, caso exista (INMETRO, 2010).

Os parâmetros descritos são utilizados para a obtenção do nível de eficiência da edificação. Existem diversas normas que quantificam a eficiência energética de edificações, entre elas pode-se citar a ASHRAE 90.1, que segundo Mazzaferro (2015) não é a mais adequada para climas quentes. O Brasil tem o seu próprio programa de etiquetagem de edificações para os níveis de eficiência energética, através da etiqueta ENCE, que para prédios públicos, o método de avaliação é definido pela norma RTQ-C. O modelo da etiqueta ENCE pode ser verificado na Figura 03:

Figura 03 - Etiqueta ENCE, demonstrando duas diferentes modalidades de etiquetagem: total, que apresenta a classificação da envoltória, iluminação e condicionamento de ar e a etiqueta parcial, que apresenta apenas a classificação da envoltória.

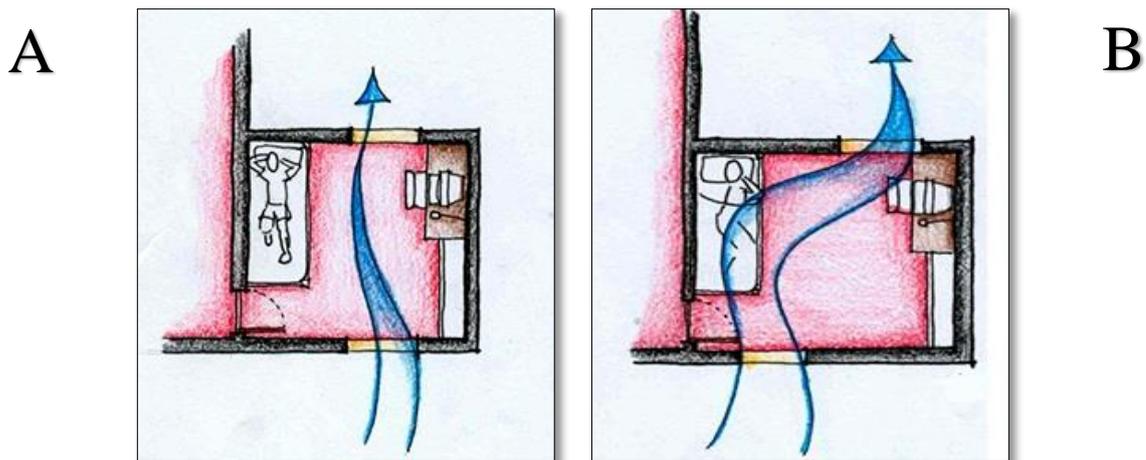


Fonte: Pretti, 2018.

Um importante fator a ser considerado em projetos de arquitetura passiva é a ventilação natural, que pode ser explorada por diferenças de pressão ou temperatura e tem como funções a renovação do ar, resfriamento psicofisiológico e resfriamento convectivo (Versage, 2009). Pode-se citar as seguintes técnicas que podem ser utilizadas em edificações para melhor aproveitamento da ventilação natural:

Ventilação Cruzada: Consiste no posicionamento de aberturas em zonas de pressão opostas. As pressões positivas são verificadas a barlavento, ou seja na direção que o vento sopra e as pressões negativas a sotavento, para onde o vento vai (Brasil, 2018b; Campos, 2012). A Figura 04 ilustra a trajetória das correntes de ar em ambientes com as aberturas opostas. É possível observar que caso as aberturas permitam a mudança de direção do vento, uma maior parcela do ambiente será ventilada.

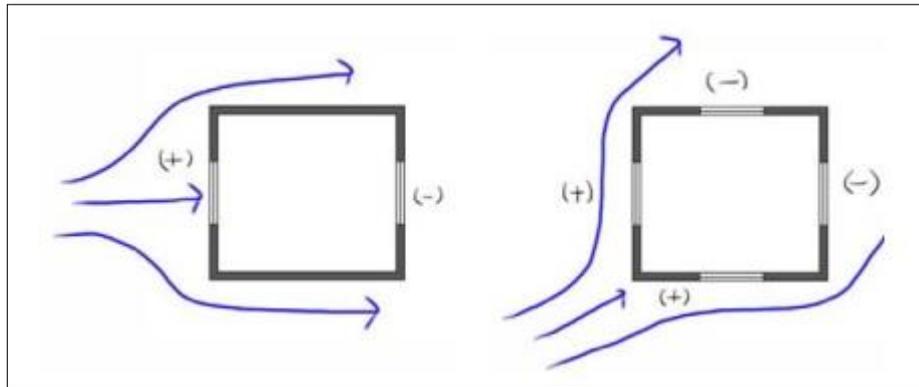
Figura 04 - Estratégia bioclimática de ventilação cruzada. Na Figura A é possível observar a trajetória do ar em aberturas opostas alinhadas. Já na Figura B é possível verificar o fluxo do ar na situação das janelas desalinhadas, sendo uma maior parcela do ambiente atendida.



Fonte: Brasil, 2018b.

Segundo Campos (2012) a estratégia de ventilação cruzada é eficiente apenas se a velocidade dos ventos na localidade for superior a 2,5 m/s e para que se tenha a sensação de redução da temperatura, a temperatura exterior deve ser ao menos 2°C inferior a temperatura do interior do ambiente. As zonas de pressão positiva e negativa podem ser observadas na Figura 05, sendo as zonas de pressão positivas as de entradas do ar e zonas de pressão negativas as de saída:

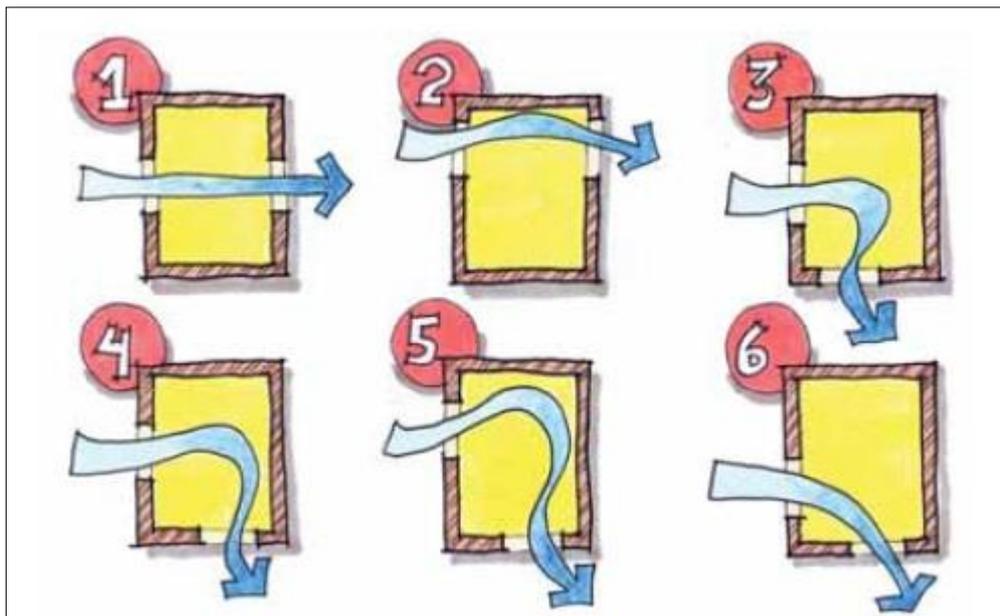
Figura 05 - Zonas de pressão positivas e negativas.



Fonte: Campos, 2012.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) apresentam seis diferentes situações de posicionamento de janelas, demonstrando o comportamento do vento no interior do ambiente estudado.

Figura 06 - Relação da posição das aberturas em um ambiente ventilado com o fluxo do ar neste ambiente. É possível verificar que os caso 5 apresenta a melhor distribuição do ar no ambiente.



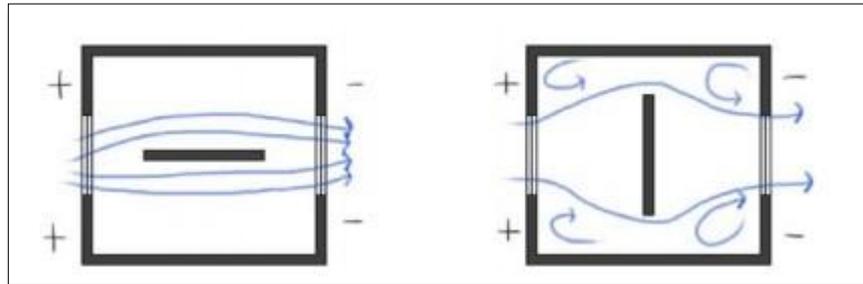
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) os casos 1 e 2 apresentam maior velocidade do vento no interior do ambiente, os casos 3 e 4 apresentam uma ventilação mais efetiva que os dois primeiros casos, por ventilar uma maior parcela do espaço, o caso 6 pode causar um “curto-circuito” na ventilação, devido à proximidade das aberturas. Já o esquema 5 apresenta a melhor distribuição do ar no ambiente.

Outro importante cuidado que deve ser tomado ao se projetar uma edificação com ventilação cruzada são os obstáculos internos, que podem interferir no fluxo do ar no interior do ambiente

(Lamberts, Dutra e Pereira 2014; Campos 2012). As alterações da trajetória do fluxo do ar devido a obstáculos na ambiente são exemplificadas na Figura 07.

Figura 07 - Obstáculos no fluxo do ar.

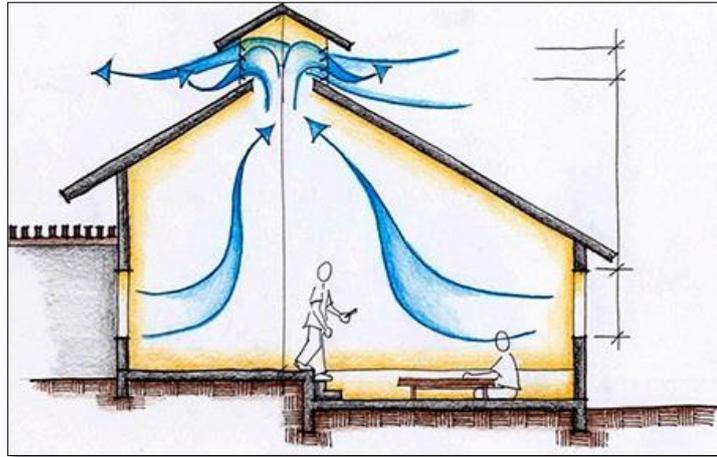


Fonte: Campos, 2012.

A forma de abertura das janelas também influencia no direcionamento do fluxo de ar, estas podem ser pivotantes e dobráveis, que provocam o redirecionamento da entrada de ar, ou podem ser de correr ou de duplo deslizamento, que operam no plano da parede, não interferindo no fluxo do ar (Brasil, 2018b).

Efeito Chaminé: Esta estratégia requer aberturas inferiores e superiores para que o ar mais frio e mais denso exerça pressão positiva e ar mais quente e menos denso exerça pressão negativa, tendendo a subir, criando correntes de convecção (Brasil, 2018b). Esta estratégia é adequada para períodos e climas em que não se pode contar com a ventilação natural como ferramenta de resfriamento dos ambientes, pois não depende da velocidade do vento, sendo eficiente em situações com velocidade do vento inferior a 2,5 m/s (Campos, 2012). Elementos como lanternins, aberturas zenitais e exaustores eólicos podem aplicar este conceito ao projeto da edificação. (Brasil, 2018b)

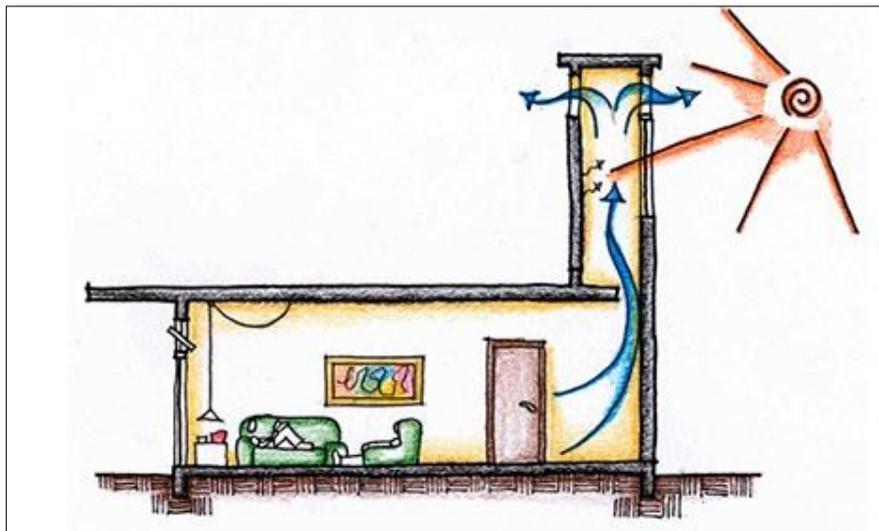
Os lanternins são aberturas bidirecionais na cobertura da edificação, que permitem que o calor acumulado na parte superior seja ventilado pelas aberturas deste elemento (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Figura 08 - Lanternim.

Fonte: Brasil, 2018b.

Aberturas zenitais são aberturas com inclinação inferior a 60° na cobertura da edificação, utilizadas para fazer com que a luz natural penetre o ambiente e como auxílio a retirada do calor (Brasil, 2018b). Já os exaustores eólicos são equipamentos mecânicos para retirada de ar do ambiente por sucção (Brasil, 2018b).

Efeito chaminé de fluxo acelerado: Consiste na utilização de uma fachada envidraçada no lado norte da chaminé. Esta solução faz com que a incidência solar direta nessa fachada aumente a diferença de temperatura, fazendo com que a sucção do ar inferior seja acelerada (Brasil, 2018b). A estratégia do efeito chaminé de fluxo acelerado pode ser observada na Figura 09.

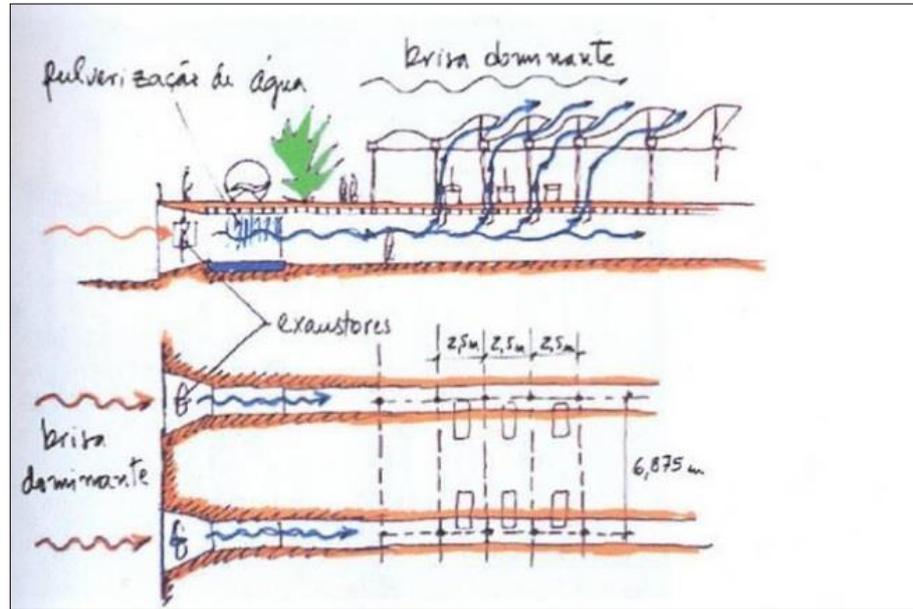
Figura 09 - Efeito Chaminé de fluxo acelerado.

Fonte: Brasil, 2018b.

Pode-se citar como caso em que foi utilizado na prática o efeito chaminé, os hospitais da Rede Sarah. As coberturas destes hospitais são dotadas de Sheds, por onde o ar quente retirado do

interior do ambiente. A edificação conta com um sistema de exaustão pulverizado com água, conforme pode ser observado na Figura 10:

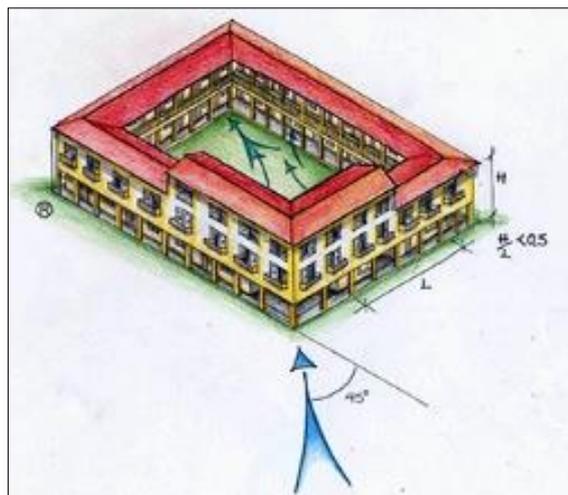
Figura 10 - Sistema de ventilação natural e exaustão do Hospital Sarah.



Fonte: Latorraca, 1999.

Ventilação em pátios internos: São aberturas no interior da edificação, suas melhores condições são quando orientados a 45° dos ventos predominantes. Seu aspecto negativo é baixa proteção contra incidências solar direta (Brasil, 2018b).

Figura 11- Pátios internos.

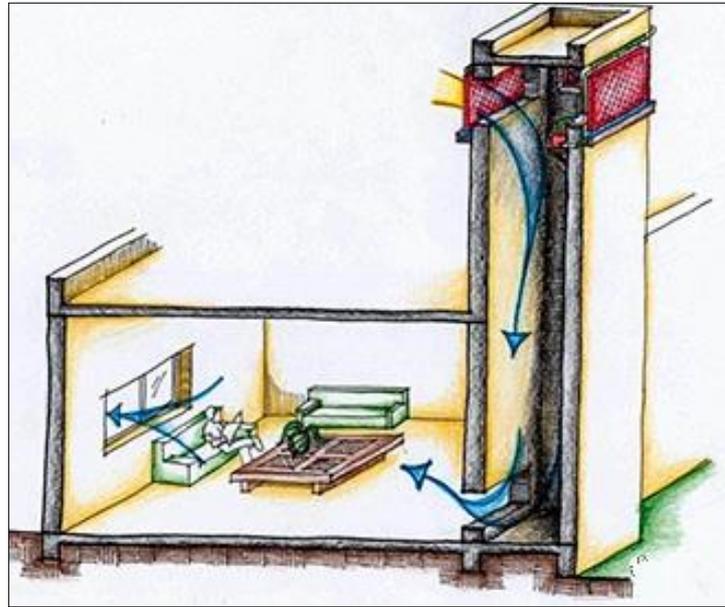


Fonte Brasil, 2018b.

Resfriamento evaporativo: Este processo é baseado na retirada de calor do ar pela evaporação da água. O contato do ar com a água pode ser feito de forma direta, quando têm contato direto

ou indireto, quando o contato é feito através de trocadores de calor, a exemplo de uma almofada umedecida, um exemplo de mecanismo é a torre de resfriamento evaporativo observado na Figura 12 (Brasil, 2018b).

Figura 12 - Torre de resfriamento evaporativo.



Fonte: Brasil, 2018b.

Além da ventilação natural do ambiente, o projeto passivo deve ser eficiente também nos elementos relacionados a iluminação natural e sombreamento, possibilitando a redução de energia elétrica proveniente de lâmpadas elétricas, como também evitando os ganhos de calor excessivo, bem como incidência solar que cause desconforto ao usuário.

Entre as alternativas para iluminação natural de ambientes, pode-se citar as aberturas zenitais, que podem ser Sheds, como os já demonstrados anteriormente no caso do Hospital Sarah, os já citados Lanternins, domos, entre outros (Garrocho e Amorim, 2004). Com relação ao sombreamento pode-se citar as prateleiras de luz (Garrocho e Amorim, 2004; Macêdo 2002), sombreamento por vegetação, pérgolas, cobogós, brise de vidro especiais (Brasil, 2018b)

Sheds: segundo Garrocho e Amorim (2004) os Sheds são fechados por material opaco na parte de cima, com material transparente em uma das laterais, são adequados para climas quentes, desde que bem orientados. No caso do Brasil terão melhor aproveitamento quando orientados para o sul.

Domos: Conjunto de claraboias em uma cobertura (Pinho, 2016), estas aberturas permitem a passagem de iluminação e ventilação natural por espaços entre o material translúcido e a estrutura do domo. Como caso de sucesso de utilização deste recurso, pode-se citar o prédio

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP (FAU), projetado pelo arquiteto João Batista Vilanova Artigas, que pode ser visualizado na Figura 13 (Contier, 2013).

Figura 13 - Domos da FAU-USP.



Fonte: Contier, 2013.

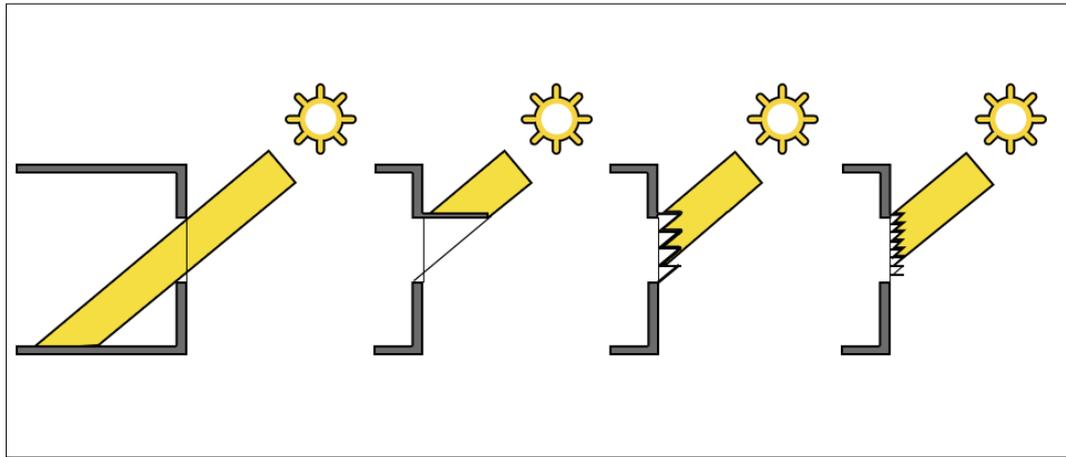
Prateleiras de luz: Por definição são:

Elemento de controle colocado horizontalmente num componente de passagem vertical, acima do nível de visão, definindo uma porção superior e inferior, protegendo o ambiente interno contra a radiação solar direta e redirecionando a luz natural para o teto (ABNT, 2003).

São elementos que dividem a janela em duas partes: superior e inferior, sombreando a parte inferior e fazendo com que os raios incidentes na parte superior sejam refletidos para o interior do ambiente (Brasil, 2018b), são posicionadas acima do olho do observador e a parte superior da prateleira pode ser de material refletor (Garrocho e Amorim, 2004). A Figura 14 ilustra a incidência solar em um ambiente protegido por prateleira de luz.

contribuem ainda com a privacidade dos ambientes e podem ser utilizados como controlador da iluminação natural (Fortinho, 2018). A Figura 16 apresenta diferentes tipos de brises soleil.

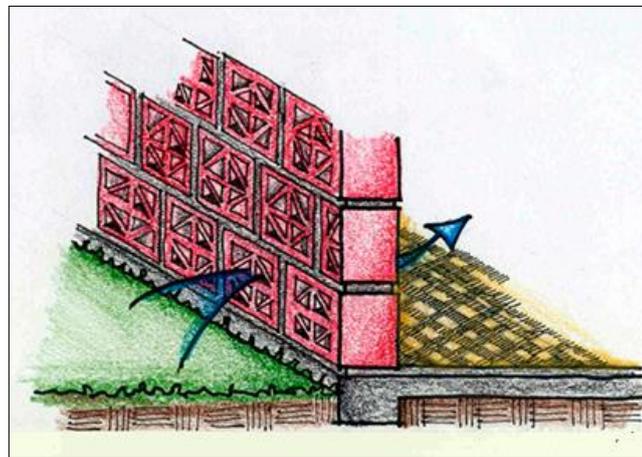
Figura 16 - Brises Soleil.



Fonte: Prezotto, 2017.

Cobogó: Os cobogós são elementos cerâmicos vazados, que permitem a ventilação e iluminação natural e proporcionam sombreamento. O uso destes elementos são muito comuns no Nordeste do Brasil. A Figura 17 ilustra estes elementos e demonstra o fluxo do ar através deles. (Brasil,2018b).

Figura 17 - Cobogó.



Fonte: Brasil, 2018b.

2.2. MODELAGEM BIM

O BIM pode ser definido como a representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação, podendo ser utilizado como recurso de conhecimento compartilhado para informações durante todo o ciclo de vida da edificação (NIBS, 2007).

Succar (2009) apresenta a seguinte definição: Building Information Model (BIM) é um conjunto integrado de políticas, processos e tecnologias, que geram uma metodologia para gerenciar dados de projetos de construção ao longo do ciclo de vida do edifício.

Para Eastman et al (2014) o BIM é: “*uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção*”.

Desde a década de 60 o homem vem desenvolvendo os conceitos iniciais do BIM, inclusive ferramentas de modelação sólida com base em geometria, como o *Sketchpad*, em 1963. Já na década de 70 surgiu o primeiro software de modelagens de edifício de que tem notícia, o Building Description System. O título “Building Information Model” aparece pela primeira vez em 1992, num artigo de Nederveen, G.A. van e Tolman F. Ainda nos anos 90 Leonid raiz, em conjunto com Irwin Jungreis e David Contant desenvolveram um software de gestão de projetos de arquitetura, Revit, que foi comprado pela Autodesk em 2002, que a partir de 2004 criou metodologias para integrar diferentes especialidades de projeto em um único modelo. O formato Industry Foundation Class (IFC), foi criado em 1995, permitindo a comunicação entre diferentes softwares BIM (Venâncio, 2015).

No âmbito da construção civil o BIM permite a simulação da edificação em meio virtual, permitindo além da caracterização geométrica, relações espaciais, informações geográficas, caracterização dos materiais empregados, inventário destes materiais, estimativa de custos, cronograma do projeto, entre outros (Azhar, 2011).

O uso do BIM pode gerar redução de custos em obras, evitando erros por incompatibilidade em projetos, como pôde ser observado na fase de projetos do Hilton Garden Inn, em Atlanta, Georgia, em que foram verificados 55 conflitos entre os projetos arquitetônico, estrutural e hidráulico (Azhar, 2011). O BIM também permite que o contratante compreenda mais rapidamente as opções de projeto com as suas ferramentas de visualização tridimensional e as opções de renderização, acelerando os processos de tomada de decisão (Azhar, 2011).

Outro importante caso de sucesso de utilização do BIM foi a Emory Psychology Building, também em Atlanta, que para atender as exigências da certificação LEED os projetistas utilizaram o BIM para estudos de posicionamento da edificação, para melhor atendimento de luz solar e estudos de sombreamento na edificação (Azhar, 2011).

Azhar (2011) divide os riscos do uso do BIM em dois grupos: legais/contratuais e os riscos técnicos. Os riscos legais e contratuais estão relacionados as propriedades do projetos, uma vez

que muitas informações e bancos de dados são compartilhados entre diversos projetistas e com o contratante.

Os riscos técnicos estão relacionados a possíveis imprecisões nos projetos, uma vez que os softwares para análise das diferentes disciplinas muitas vezes são desenvolvidos isoladamente. Estes riscos podem interferir em uma das principais características do BIM, a interoperabilidade, não pela capacidade do arquivo transportar dados, mas por falta de repertório do software que importa ou exporta o arquivo (Andrade e Ruschel, 2009b). Outro aspecto negativo apresentado por Andrade e Ruschel (2009b) é o tamanho dos arquivos gerados pelo arquivos no formato .IFC.

A preocupação com a comunicação entre softwares de projetos de diferentes disciplinas já existia no CAD, já no BIM os formatos de troca são baseados em, formatos generalistas para diversas disciplinas.(Andrade e Ruschel, 2009 – B).

Há diversas opções de software BIM no mercado desde os pioneiros Revit, Archicad, Bentley e Tekla (Andrade e Ruschel, 2009b), passando por softwares que se adequaram ao BIM posteriormente como o SketchUP. No Brasil destaca-se a desenvolvedora Alto QI, especializada em softwares para projetos complementares e lançou no mercado nacional a sua ferramenta BIM.

2.3. MODELAGEM BIM APLICADA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

A análise de eficiência energética de edificações já era realizada por outras plataformas de projeto há bastante tempo, porém, estes softwares trabalhavam de forma isolada entre as disciplinas de projeto, o BIM proporcionou a interoperabilidade e uma comunicação mais fluida entre diferentes softwares (Santos e Couto, 2015).

Para realização de simulação de eficiência energética de edificações é necessário o prévio conhecimento de alguns dados de entrada, os *inputs*, Santos e Couto (2015) cita como necessários os seguintes dados:

- Configuração dos espaços (superfície e volumes);
- Agrupamento de espaços em zonas termicamente homogêneas;
- Localização e orientação do edifício;
- Elementos construtivos, incluindo as suas propriedades térmicas;
- Tipos de uso, incluindo o uso funcional;
- Cargas e ganhos internos e horário de funcionamento com ocupação de pessoas;

- Utilização de iluminação e equipamentos;
- Aquecimento, Ventilação e ar-condicionado (AVAC) e suas características;
- Taxas de ocupação;
- Dados meteorológicos.

Antes da realização das simulações energéticas em software específico, é necessária a modelagem da Arquitetura da edificação em um software BIM. Carvalho et al (2017) utilizou o Revit 2015 para a modelagem da arquitetura de um edifício residencial construído na década de 60. Posteriormente utilizou dois softwares de simulações energéticas cuja interoperabilidade com o Revit é possível: Green Building Studio (GBS) e o Design Builder (DB) para avaliar as necessidades energéticas da edificação. Após a avaliação foi elaborado um projeto de reabilitação e reavaliado nos dois softwares, podendo ser mensurado tanto os ganhos energéticos na edificação, quanto a comparação dos resultados das análises nos dois softwares. Ao final pôde-se observar a possibilidade da integração entre o software de modelagem com as duas ferramentas de análise, observando coerência entre os resultados obtidos (Carvalho et al, 2017).

Rodrigues (2015) observou que o projeto-tipo de edifício residencial do exército Brasileiro era replicado em todo o território nacional sem observação das diferenças climáticas de cada região. Em sua metodologia realizou análises utilizando o método prescritivo, baseado na Norma RTQ-R, adequada para edificações residenciais e também por simulação computacional, em que o edifício-tipo foi modelado no software *Sketchup* e as análises de eficiência energética com o *Energy Plus*. Com estas ferramentas pôde-se propor melhorias generalistas ao projeto-tipo e outras intervenções específicas para cada edificação implantada em diferentes localidades.

Esta combinação de softwares também foi utilizada por Akwa et al (2017) e por Nazário e Teive (2016), porém com um viés menos relacionado à arquitetura bioclimática e mais focado na tecnologia dos equipamentos de iluminação e geração de energia.

Borges et al (2018) utilizou a modelagem BIM para análise da quantidade de carbono incorporado a uma edificação e comparou os resultados obtidos com cálculos manuais. Utilizou-se o Autodesk Revit em conjunto com o Design Builder (DB). Neste trabalho foi possível a verificação de problemas de interoperabilidade ao exportar o modelo de um software para o outro, como perda de portas e janelas, mesmo estando na plataforma BIM. Ao final foi concluído que a ferramenta de análise do DB é eficiente para estimativas e para edificações com materiais homogêneos.

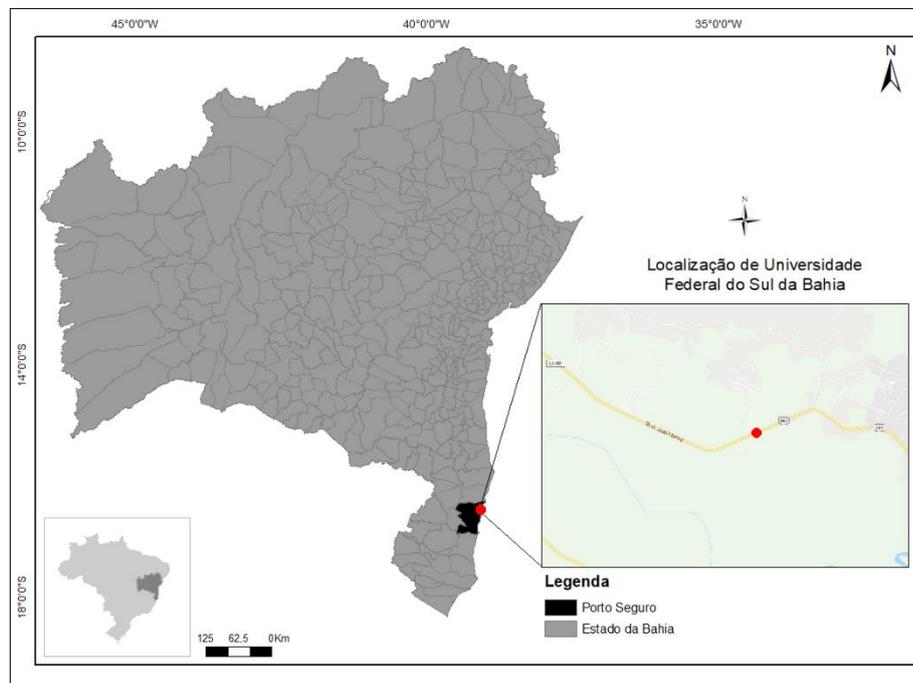
De Queiróz et al (2016) realizou simulações no Autodesk Revit, utilizando a ferramenta Energy Analysis, que é uma ferramenta de interface direta do Revit com o GBS e conseguiu obter dados do clima local, uso e custos do consumo de energia, emissão de carbono e cargas térmicas. Apresentou como ponto negativo desta ferramenta a não apresentação das temperaturas internas dos ambientes como dados de saída.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Centro de Convenções da cidade de Porto Seguro foi inaugurado no ano 2000, no ano de 2014 foi implantado neste espaço o Campus Sosígenes Costa, da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Este espaço contém nos dias atuais 7 (sete) edificações (blocos), sendo elas: pavilhão administrativo, pórtico de entrada, pavilhão de feiras, convenções/aulas, restaurante, manutenção e laboratórios. Foi escolhido o bloco administrativo como caso de estudo.

Figura 18 - Localização Universidade Federal do Sul da Bahia.



Fonte: O autor.

Figura 19 - Bloco administrativo do campus Sosígenes Costa. Na Figura A é possível observar a fachada Norte da edificação. Na Figura B é apresentada a vista aérea de todo o campus, com o bloco administrativo circulado em vermelho. Fonte: O autor.

A



B



Fonte: O autor.

3.2. COLETA DE DADOS

A Universidade dispõe dos projetos originais da edificação na extensão .DWG, em desenho técnico bidimensional. Ocorre que com o decorrer do tempo, foram executadas obras de reforma com mudanças no layout do ambiente, sendo assim foi necessário a atualização destes desenhos, ainda na plataforma CAD, bem como a obtenção de características da edificação observadas “in loco”. Para este trabalho foi necessário a visita ao espaço e uso de trena digital, prancheta, impressões do projeto original, bem como câmera fotográfica.

Desta maneira pôde-se conferir as dimensões reais da edificação, bem como a inclusão de novos ambientes criados. Elaborou-se também o Quadro 01 listando as principais características de cada ambiente, para que estas informações pudessem ser inseridas no modelo.

Quadro 01 – Levantamento dos materiais encontrados nos ambientes.

	Piso	Parede	Forro	Telhado
Docentes 01	Alta Resistência	Alvenaria	Mineral	Termo-acústico metálico duplo
Docentes 02	Alta Resistência	Alvenaria	Mineral	Termo-acústico metálico duplo
Docentes 03	Alta Resistência	Alvenaria	Mineral	Termo-acústico metálico duplo
Docentes 04	Alta Resistência	Alvenaria	Mineral	Termo-acústico metálico duplo
Coordenação de Campus	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Administrativo	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Secretaria Executiva	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Decanato 01	Alta Resistência	Dry-wall	Concreto	Cerâmico
Decanato 02	Alta Resistência	Dry-wall	Concreto	Cerâmico
Decanato 03	Alta Resistência	Dry-wall	Concreto	Cerâmico
Decanato 04	Alta Resistência	Dry-wall	Concreto	Cerâmico
Secretaria Academica	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Copa	Alta Resistência	Alvenaria/ Revestimento cerâmico	Concreto	Cerâmico
Reuniões	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Pós Graduação	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
CFArtes	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
CFSaúde	Alta Resistência	Alvenaria	Concreto	Cerâmico
Hall	Alta Resistência	Alvenaria	x	Cerâmico
Suprimentos	Alta Resistência	Dry- wall/Alvenari a	Mineral	Cerâmico
WC 01	Cerâmico	Alvenaria/Rev estimento cerâmico	Concreto	Cerâmico
WC 02	Cerâmico	Alvenaria/Rev estimento cerâmico	Concreto	Cerâmico
WC 03	Cerâmico	Alvenaria/Rev estimento cerâmico	Concreto	Cerâmico

Fonte: O autor.

Outro levantamento realizado foi a iluminância dos ambientes existentes, para esta etapa foi utilizado como material um luxímetro digital MLM – 101, da marca MINIPA. As aferições foram realizadas nos dias 14 de dezembro de 2018 entre às 14 horas e 50 minutos e 15 horas e 30 minutos e no dia 15 de dezembro de 2018 das 11 horas e 28 minutos até as 11 horas e 42

minutos, sendo a medida a iluminância em diversos pontos de cada ambiente e sinalizado em planta baixa do prédio impressa.

3.3. MODELAGEM BIM

Após a atualização dos projetos na extensão .DWG, no software Autodesk® Autocad®, foi possível utilizar esse arquivo como base para iniciar a modelagem BIM da edificação. Para tanto utilizou-se o software Autodesk® Revit® 2019.

No Revit® 2018 foi possível realizar a modelagem tridimensional da edificação a partir do desenho .DWG exportado. Além das características geométricas foi possível adicionar informações das características físicas dos materiais empregados, inclusive informações térmicas como: Coeficiente de transferência de calor, massa térmica e resistência térmica.

Com as ferramentas de modelagem foi possível ainda obter imagens dos ambientes como observador interno, de qualquer ponto da edificação, como também foi possível utilizar as ferramentas de renderização para tornar as imagens realistas.

Uma vez modelada a edificação, foi realizada a localização, inserindo as coordenadas geográficas do Lat: 16 ° 25' 26" ; Long: 39° 08' 10", desta maneira o sistema do software busca a localização em um sistema georreferenciado, podendo o usuário clicar no ponto a ser estudado.

Após a localização, realizou-se o posicionamento da edificação com relação ao norte verdadeiro, esta informação foi comparada com a indicação nos projetos originais e confirmada com a ferramenta Google Earth.

3.4. ANÁLISES DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO EXISTENTE

Foram utilizadas as ferramentas de análise de energia do Autodesk Revit® para obtenção de dados energéticos da edificação modelada. Para estas análises foram utilizados os recursos de renderização de iluminância, bem como o menu "energy analysis". Criando-se o modelo analítico de energia, que possibilita a exportação do Revit® para os softwares específicos de análise de energia.

Os modelos analíticos de energia foram criados em três níveis de detalhamento: Tipos conceituais, tipos esquemáticos e elementos detalhados. Estes modelos foram utilizados para o cálculo de cargas térmicas, que foi realizada na própria interface do software Revit.

Após isso para cada nível de detalhamento foi acionada a ferramenta de otimização, no menu “Energy Analysis”. Esta opção automaticamente enviou os arquivos aos softwares específicos de análise: Green Building Studio (GBS) e Insight.

3.5. ANÁLISE ENERGÉTICA COM SOFTWARES ESPECÍFICOS

Após a revisão de literatura verificou-se que em estudos recentes foram verificadas falhas de interoperabilidade entre os modelos gerados no Revit® e os softwares de análise energética de outros desenvolvedores, portanto optou-se por utilizar o software de análise do mesmo fabricante, a Autodesk®, para garantia da interoperabilidade entre as ferramentas.

- Autodesk® Insight®

O Autodesk® Insight® é uma ferramenta online utilizada como guia para melhorar o desempenho energético dos projetos elaborados no Autodesk® Revit®. Com esta ferramenta é possível criar cenários diferentes para uma construção e compara-las de forma gráfica.

Nesta ferramenta é possível a visualização do modelo de energia do projeto, além da verificação das cargas térmicas de aquecimento e climatização de forma tridimensional, por ambiente da edificação.

Esta ferramenta apresenta ainda uma estimativa de consumo anual de energia por ano em kWh/m²/ano (quilowatt hora por metro quadrado por ano), bem como *feedbacks* para melhoria do desempenho da edificação nos seguintes quesitos: orientação, Window-to-Wall-Ratio (WWR), proteções solares, propriedades dos vidros, iluminação natural, ventilação, entre outros fatores.

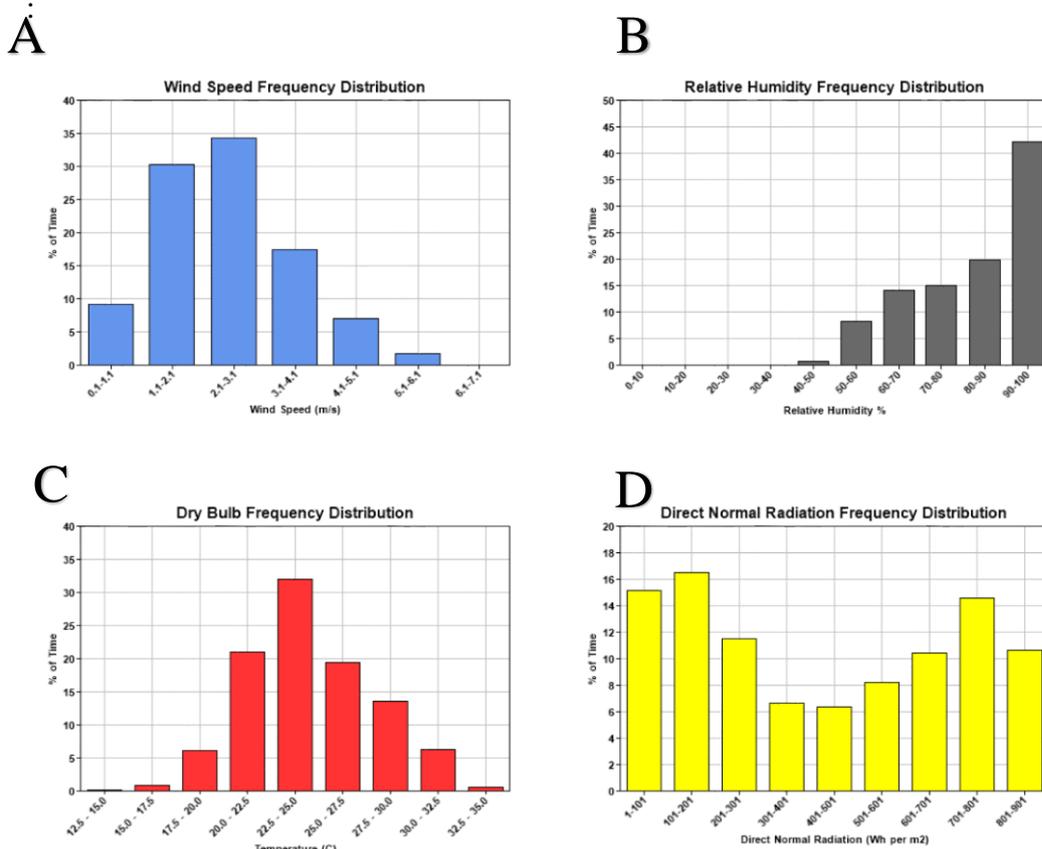
- Green Building Studio (GBS):

O Autodesk Green Building Studio é uma ferramenta baseada na web que fornece dados de energia e análise de carbono de edificações. Os projetos podem ser enviados de duas formas para a plataforma: acionando o comando de otimização no menu “Energy Analysis” do Revit® ou adicionando o arquivo no formato .gbxml no site da ferramenta. Segundo Queiroz et al (2016) os resultados obtidos com as duas formas de envio apresentam os mesmos resultados.

Nesta ferramenta foram obtidas as informações meteorológicas da região, cuja estação havia sido selecionada ainda na plataforma do Revit®, entre outras informações pôde-se obter: direções predominantes dos ventos, distribuição anual da velocidade dos ventos, da umidade

relativa do ar e da temperatura de bulbo seco, bem como da radiação solar direta. As informações da cidade de Porto Seguro podem ser observadas na Figura 20.

Figura 20 - Dados climáticos de Porto Seguro obtidos com o software GBS. Na Figura A é possível observar as distribuições anual dos ventos, na Figura B da umidade relativa, na Figura C das temperaturas de bulbo seco e na Figura D a distribuição anual da radiação solar direta.



Fonte: GBS.

Além das informações meteorológicas os GBS retorna ao usuários informações de projeto como: estimativa de consumo anual de energia, creditação LEED para iluminação natural, gráfico com percentual do uso de energia por sistemas (iluminação, Aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e outros), potencial de ventilação natural.

A modelagem realizada com o GBS consiste no mecanismo DOE 2.2 em que são analisadas relações entre os dados da edificação como: Forma, materiais, sistemas, usos e climas.

A forma, tamanho, orientação e sombreamento são os primeiros fatores a influenciar no consumo de energia. Estas informações são capturadas pelo modelo analítico de energia, que possui espaços e superfícies discretas, representando as principais fontes e caminhos de troca de calor entre o edifício e o ambiente externo.

As propriedades térmicas e de armazenamento de calor dos materiais empregados no modelo estão relacionadas com a energia de aquecimento e resfriamento necessárias para manter o conforto. Essas propriedades também são capturadas no modelo de energia usando as propriedades físicas fundamentais, (condutividade, capacidade específica de calor e densidade), bem como estes materiais são combinados e tratados para formar os elementos de construção.

O software leva em consideração ainda as características dos sistemas utilizados, bem como as configurações de uso (horas de operação, níveis de ocupação, pontos de ajuste, etc) utilizando relações pré-estabelecidas, como as encontradas na norma ASHRAE 90.1. Já para os dados climáticos da região são utilizados dados históricos reais.

3.6. OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE

A partir do modelo da edificação existente, elaborou-se um novo modelo, aplicando práticas de projeto passivo a edificação, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica proveniente de aparelhos condicionadores de ar e iluminação da edificação.

As modificações foram sendo realizadas e testadas de forma gradual, de modo a avaliar como as ferramentas de análise interpretam cada estratégia bioclimática aplicada ao projeto etapa por etapa. Foram utilizadas as seguintes técnicas de projeto passivo:

- Estudo da orientação da edificação;
- Aumento da área dos vãos das fachadas envidraçadas;
- Instalação de abertura Zenital;
- Utilização de técnica de ventilação cruzada;
- Estratégia de sombreamento das fachadas envidraçadas.

A cada etapa as análises que apresentaram resultados positivos tiveram as suas estratégias mantidas para a análise posterior, as estratégias cujos resultados não favoreceram a eficiência do prédio foram descartadas.

Ao final da modelagem do projeto eficiente, pode-se estabelecer comparações entre o modelo da edificação existente, com o obtido, com ênfase nas interpretações dos softwares BIM. Realizou-se ainda a verificação dos resultados obtidos através dos métodos computacionais com o método prescritivo, utilizando o Indicador de Consumo (IC) da norma RTQ-C, bem como a análise do custo de implantação de cada estratégia que se mostrou adequada.

Fachada envidraçada: Nas esquadrias de vidro verificou-se as dimensões de acordo com os levantamentos e adotou-se os materiais empregados para cada elemento. O tipo de vidro utilizado em todos os elementos foi vidraça clara, única de ¼” (aproximadamente 6 mm). Verificou-se dois tipos de janelas na edificação.

- Janela 01: Painel de vidro, com perfis de alumínio, nestes elementos obteve-se as seguintes ponderações de coeficientes: $R= 0,1693 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/W}$; $U= 5,9050 \text{ W/(m}^2\cdot\text{k)}$; transmissão de luz visual 0,54; coeficiente de ganho de calor solar 0,62.

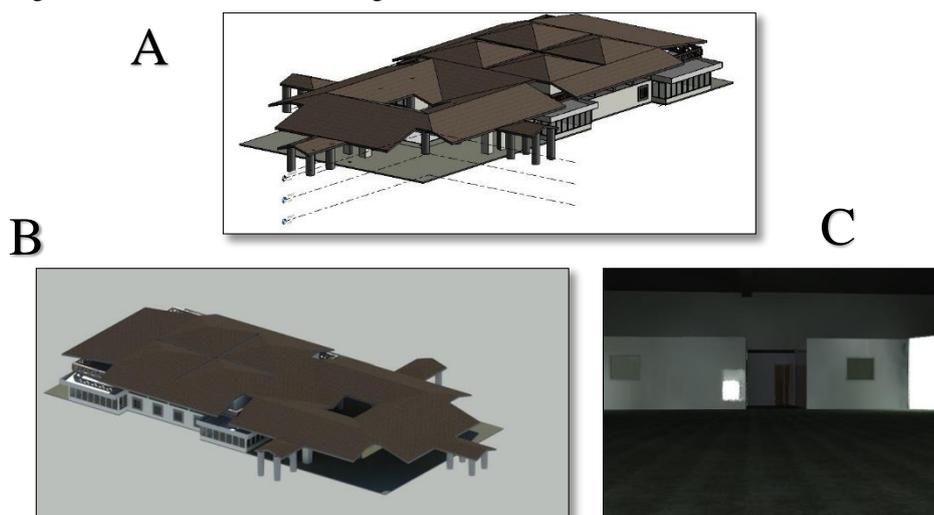
- Janela 02: Painel de madeira vidro, nestes elementos obteve-se as seguintes ponderações de coeficientes: $R= 0,1693 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/W}$; $U= 5,9050 \text{ W/(m}^2\cdot\text{k)}$; transmissão de luz visual 0,68; coeficiente de ganho de calor solar 0,73.

Cobertura: Para a cobertura utilizou-se estrutura de madeira com telhas cerâmicas (elemento de acabamento telhado padrão do Revit®), obtendo-se os seguintes coeficientes: $U= 0,1246 \text{ W/(m}^2\cdot\text{k)}$; $R= 8,0238 \text{ (m}^2\cdot\text{k)/W}$; massa térmica = 2,85 kj/K.

Para os demais elementos como piso, forro, placas, portas, adotou-se os valores padrão do banco de dados do software, respeitando os materiais verificados “*in loco*”.

Após a modelagem pôde-se obter diferentes vistas, sendo possível a navegação, e renderização das imagens, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Imagens do modelo do prédio original após a modelagem de sua arquitetura no Revit®. Imagem A: vista 3D, Imagem B: Vista renderizada e Imagem C: Vista interna.

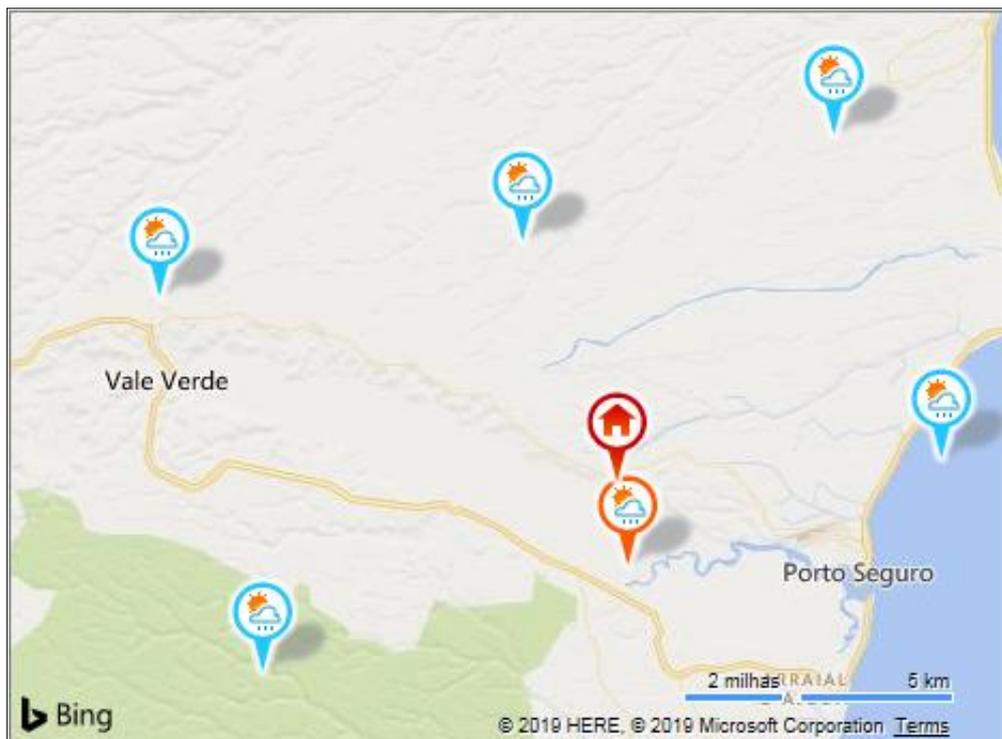


Fonte: O autor.

4.2. ANÁLISES DE ENERGIA DA EDIFICAÇÃO EXISTENTE (O)

Para realização das análises de energia, foi necessária a criação de um modelo analítico, o que foi possível com as ferramentas do menu de “analisar” do Revit®. Neste menu são apresentadas opções, sendo a primeira delas a ferramenta online de localização do projeto, onde o software apresenta estações meteorológicas próximas ao projeto, de onde são obtidos os dados climáticos da região, como pode ser verificado na Figura 23. O critério de escolha da estação foi a proximidade com a localidade da edificação.

Figura 23 - Localização do projeto e estação meteorológica

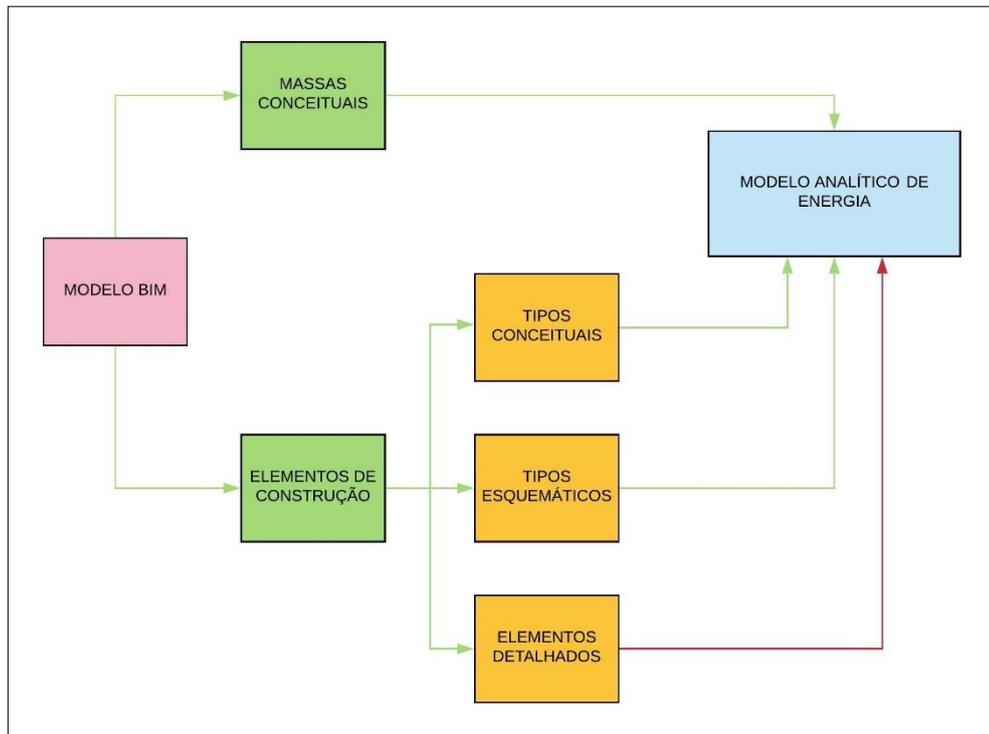


Fonte: O autor.

Além da localização é importante rotacionar o projeto, para que seja corretamente posicionado em relação ao Norte verdadeiro. Esta ação pode ser realizada com a função “Rotacionar Norte Verdadeiro”, presente no menu “gerenciar”.

Há diferentes caminhos para a obtenção do modelo analítico de energia: através de massas conceituais ou de elementos de construção, sendo o primeiro uma alternativa mais simples, para projetos preliminares, em que o projetista tem poucos detalhes da edificação, assim julgou-se este tipo de análise irrelevante para o presente trabalho. Com a opção de elementos de construção são utilizadas as informações dos componentes da edificação. O modelo de elementos de construção pode ser dividido ainda em três subgrupos: Tipos conceituais, tipos esquemáticos e elementos detalhados, conforme Figura 24:

Figura 24 - Fluxograma para obtenção do modelo analítico de energia



Fonte: O autor.

Tipos conceituais: Os tipos conceituais definem as configurações de energia, quanto as propriedades térmicas não estão definidas de outra forma (Autodesk,2019). É possível relacionar o modelo da massa com modelos de construção pré-estabelecidos. As configurações disponíveis para este nível de detalhamento são mostradas na Figura 25.

Figura 25 - Configurações tipos conceituais

Modelo de massa	Construções
Parede externa da massa	Construção pesada – Sem isolamento
Parede interna da massa	Construção leve – Sem isolamento
Parede externa da massa - Subsolo	Construção pesada – Sem isolamento
Telhado da massa	Sem isolamento - Telhado escuro
Piso de massa	Construção leve – Isolamento baixo
Laje de massa	Construção pesada – Sem isolamento
Vidraça da massa	Painel único claro - Sem revestimento
Clarabóia da massa	Painel único - Refletivo
Sombreado da massa	Sombra básica
Abertura da massa	Ar

Fonte: O autor.

Tipos esquemáticos: Os tipos esquemáticos permitem uma análise com maior detalhamento que os tipos conceituais, uma vez que o usuário pode selecionar um modelo de construção analítica para cada categoria de material empregada no projeto, conforme Figura 26:

Figura 26 - Configurações tipos esquemáticos

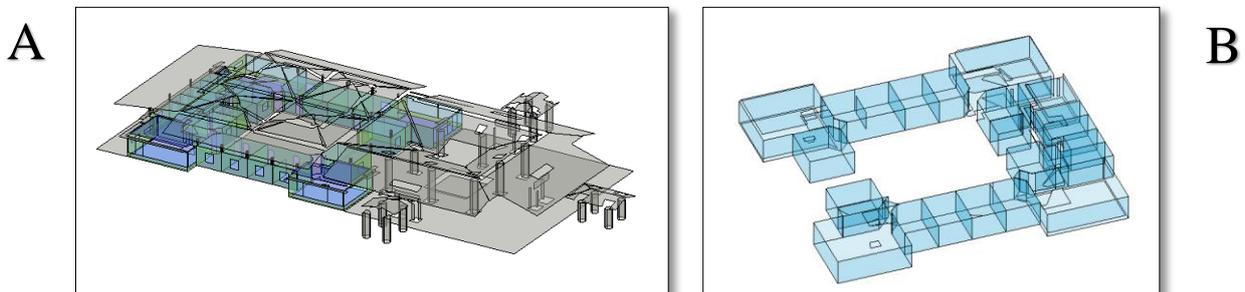
Categoria	Substituir	Construção analítica
Telhados	<input type="checkbox"/>	Telhado elevado incluindo elevação ($U=0,2330 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Paredes externas	<input type="checkbox"/>	Reboco denso de construção de folha única de tijolo ($U=2,1839$
Paredes internas	<input type="checkbox"/>	Partição de moldura com placa de gesso natural de 3/4 pol ($U=$
Forros	<input type="checkbox"/>	Teto de concreto de peso leve 8 pol ($U=1,3610 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Pisos	<input type="checkbox"/>	Piso passivo, sem isolamento, azulejo ou vinil ($U=2,9582 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot$
Lajes	<input type="checkbox"/>	Construção com laje padrão - B ($U=0,4063 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Portas	<input type="checkbox"/>	Madeira com núcleo oco ($U=3,1796 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
Janelas externas	<input type="checkbox"/>	Janelas envidraçadas única grandes ($U=3,6898 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, SHGC
Janelas internas	<input type="checkbox"/>	Janelas envidraçadas única grandes ($U=3,6898 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, SHGC
Clarabóias	<input type="checkbox"/>	Janelas envidraçadas dupla grandes (revestimento reflexivo) - in

Fonte: O autor.

Elementos detalhados: Com esta configuração são utilizadas as informações configuradas nas propriedades dos elementos de construção no momento da modelagem.

Gerou-se o modelo analítico de energia utilizando-se os três métodos (conceituais, esquemáticos e elementos detalhados). Ainda nas opções de análise é possível definir o tipo de ocupação da edificação, que no caso estudado foi definido como escritório, bem como a tabela de operação do edifício, em que foi utilizada a opção 12/5, ou seja a edificação é operada por doze horas diárias, durante cinco dias por semana.

Figura 27 - Modelo analítico de energia. Na figura A: modelo com os elementos. Na figura B pode-se observar o destaque dos espaços da edificação.



Fonte: O autor.

O modelo analítico pode ser utilizado para análises de energia em diferentes plataformas, no próprio Revit® ou realizando sua exportação para a extensão .gbxml para que seja analisado em outro software.

4.2.1. Análises de iluminância

As análises de iluminância foram realizadas através do menu “Vista”, verificado da barra superior do software. Inicialmente utilizou-se a ferramenta “câmera” para gerar uma imagem tridimensional de cada ambiente. Acessando o item “renderização no Cloud” é possível selecionar o ambiente em que se deseja realizar a análise e selecionar o tipo de renderização “iluminância”, posteriormente alimentou-se as informações solicitadas (data / hora, modelo do céu, informações para legenda).

Nas informações de data e hora os valores inseridos variaram conforme aferições “in loco” realizadas com luxímetro, bem como a informação do modelo do céu, porém este foi utilizado o modelo “céu limpo” para todos os casos estudados, pois era a condição verificada no momento da aferição de campo. Após a inserção dos dados a análise online, retornou os seguintes resultados apresentados no Anexo A.

Comparando-se os resultados verificados na simulação com os resultados aferidos “in loco” dividiu-se os resultados com os valores médios aferidos com luxímetro e simulados para cada ambiente, sendo possível a apresentação da Tabela 01. Foram considerados para as simulações os valores máximos e mínimos da cor predominante nas áreas úteis dos ambientes.

Tabela 01 - Resultados iluminância: verificação “in loco” x simulação

	Luxímetro	Luxímetro	Luxímetro	Luxímetro	Luxímetro	Simulação	Simulação	Simulação	Erro
AMBIENTE	1	2	3	4	Média	MIN	MÁX	Média	Erro relativo (x-x'/x')
CFCAM	260	452	389	123	306	221,9	1074,5	648,2	5,28E-01
ACADEMICA 01	80				80	310,2	84	197,1	5,94E-01
ACADEMICA 02	57				57	155,7	86,4	121,05	5,29E-01
ARTES	117				117	150,8	82,2	116,5	4,29E-03
TI	42				42	110,2	64	87,1	5,18E-01
DOCENTES	125	360	350	202	259,25	2242,8	1152,8	1697,8	8,47E-01
COORDENAÇÃO	3				3	0	0,1	0,05	5,90E+01
ADMINISTRAÇÃO	750				750	572	161,9	366,95	1,04E+00
DECANO 01	58				58	171,9	87,3	129,6	5,52E-01
DECANO 02	80				80	174,4	83,1	128,75	3,79E-01
DECANO 03	50				50	177,1	117,4	147,25	6,60E-01
DECANO 04	185				185	121,2	72,5	96,85	9,10E-01
EXECUTIVA	5				5	0	0,1	0,05	9,90E+01
CFIHAC	250	560	330	150	322,5	1380,7	764,6	1072,65	6,99E-01
SAÚDE	40				40	122,3	72,7	97,5	5,90E-01
REUNIÕES	45				45	181,2	75,3	128,25	6,49E-01
CFHUMANIDADE	430	520	210	160	330	1334,7	681	1007,85	6,73E-01
PPGS	3				3	5,8	2,4	4,1	2,68E-01
PROTIC	5				5	6,2	1,7	3,95	2,66E-01

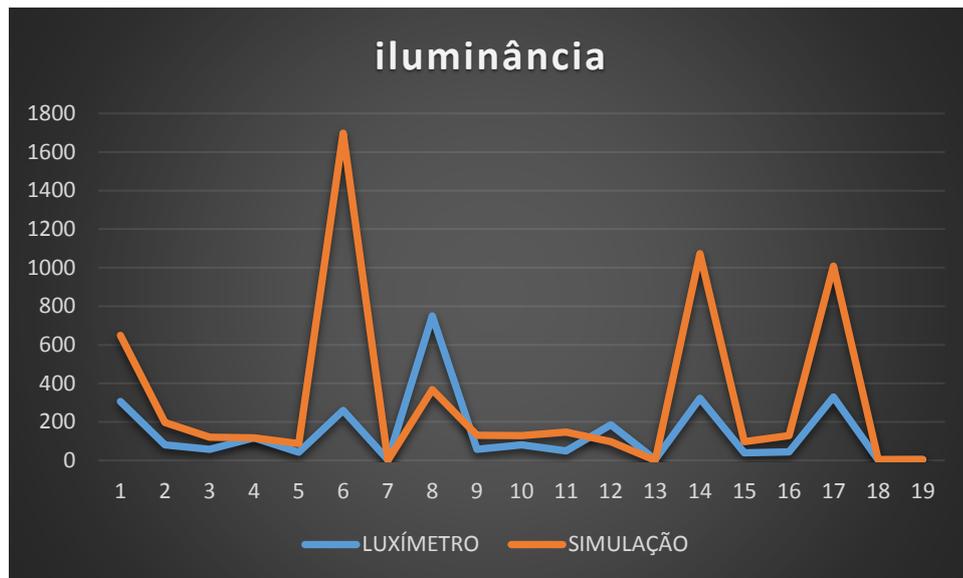
Fonte: O autor.

Verificando-se os valores em tabela pode-se notar valores com erros relativos da ordem de 10 E-01 na maioria dos ambientes quando comparado os valores simulados com os valores obtidos em aferição com o luxímetro. Vale ressaltar que a medição com este equipamento é bastante

sensível, de modo que em um mesmo ambiente são verificados diversos valores, bem como na simulação, em que se pode verificar valores mínimos e máximos distantes.

Organizando-se os resultados em forma gráfica, sendo um gráfico comparando os valores médio obtidos, pode-se obter o gráfico representado na Figura 28.

Figura 28 – Gráfico comparativo entre os valores verificados “in loco” e os valores obtidos com simulação no modelo.



Fonte: O autor.

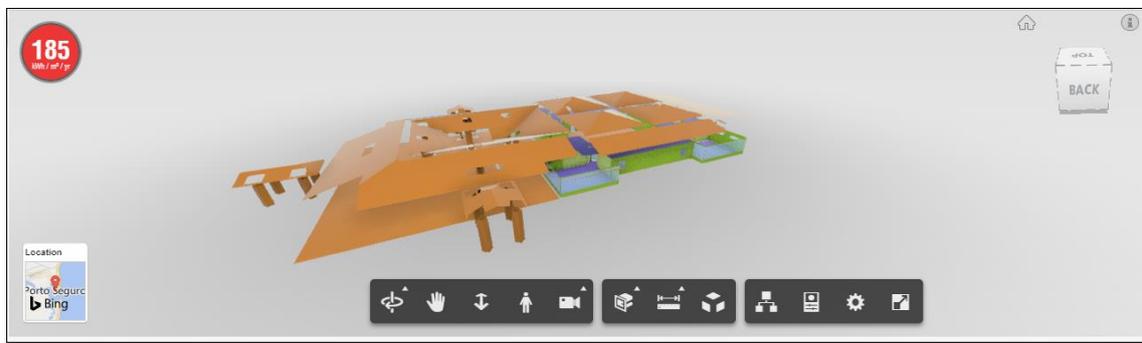
Analisando os gráficos pode ser observado que embora haja grandes variações nos valores, os comportamentos das linhas são parecidos, de forma a mostrar coerência em demonstrar os ambientes com maior ou menor iluminância. Observou-se também que os valores médios apresentaram valores mais distantes nos ambientes com maior área de fachada envidraçada, sendo os resultados obtidos em simulação sempre maiores, como observado nos ambientes 1,6,14 e 17. A disposição dos pontos aferidos com o luxímetro pode ser observada no Anexo D.

Vale ressaltar que fatores externos ao prédio influenciam na incidência solar, como sombreamento devido à edificações no entorno e outros obstáculos como vegetação. Há também critérios subjetivos na análise como a condição do céu no momento da aferição, o que compromete a exatidão dos resultados.

4.2.2. Análises do prédio original no Insight®

Ao ser realizada a análise com a ferramenta Insight® pôde-se obter a estimativa de consumo energético do modelo, de acordo com as características da sua arquitetura. Observou-se diferentes resultados para os diferentes níveis de detalhamento do modelo analítico de energia. No caso do modelo de tipos conceituais, obteve-se um consumo estimado de 185 kw/m²/ano (cento e oitenta e cinco quilowatts por metro quadrado por ano), conforme pode ser observado na Figura 29. O modelo de tipos esquemáticos apresentou o valor de 202 kw/m²/ano (duzentos e dois quilowatts por metro quadrado por ano), já o com elementos detalhados 203 kw/m²/ano (duzentos e três quilowatts por metro quadrado por ano).

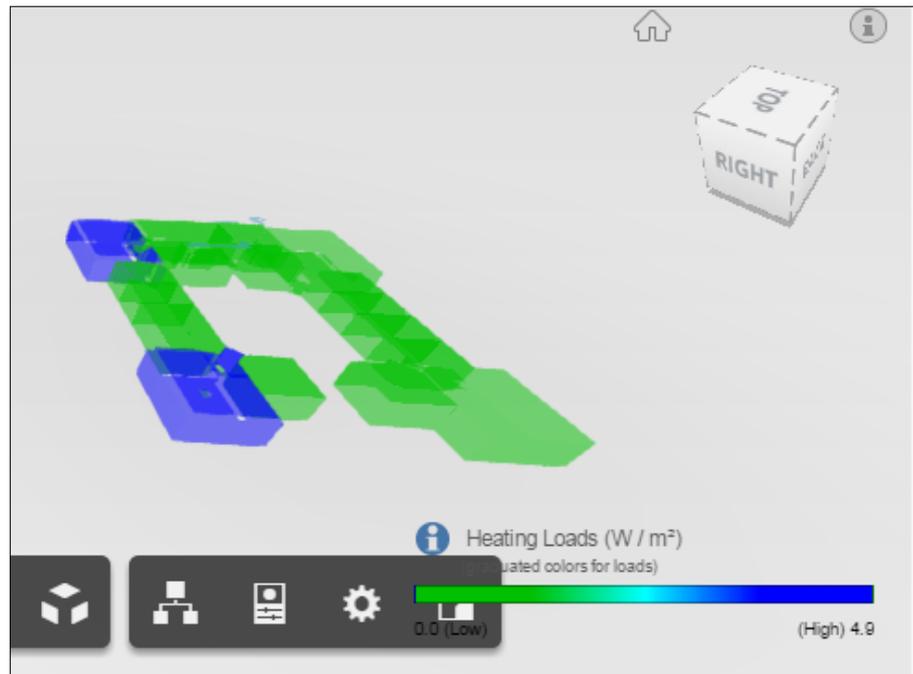
Figura 29 - Estimativa anual de consumo de energia tipos conceituais no Insight®



Fonte: O autor.

Com esta ferramenta foi possível ainda a avaliação das cargas de aquecimento e arrefecimento em cada ambiente da edificação. Verificou-se valores próximos à zero para as cargas de aquecimento, conforme figura, o que é bastante coerente com o clima da região, inclusive a edificação estudada não é equipada com sistema de aquecimento, desta forma pôde-se desprezar estes valores nos estudos.

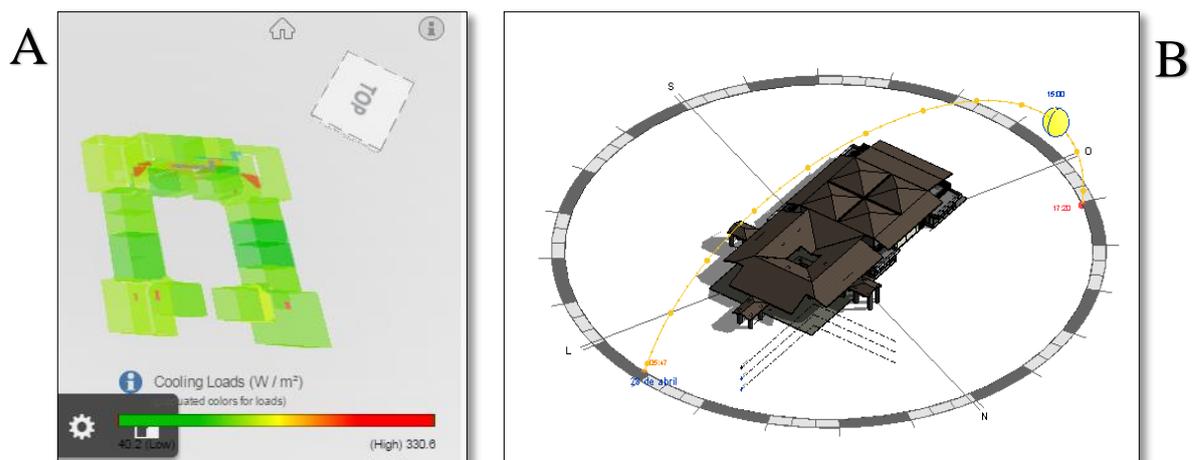
Figura 30 - Cargas de Aquecimento no Insight



Fonte: O autor.

Já os resultados obtidos para cargas de arrefecimento foram importantes para a tomada de decisões de projeto, pois apresentam em escala gráfica as necessidades de refrigeração, conforme pode-se verificar na figura. Os resultados são coerentes com o posicionamento da edificação na carta solar, de modo que os ambientes que recebem maior insolação no período da tarde, na maior parte do ano têm maior necessidade de climatização.

Figura 31 - Cargas de arrefecimento. Na figura A é possível a observação das cargas de arrefecimento apresentadas pelo Insight®. Na imagem B é possível verificar a exposição solar da fachada Oeste da edificação.



Fonte: O autor.

4.2.3. Análises no GBS®

Para a realização da análise no Green Building Studio® (GBS®) verificou-se duas opções de exportação do arquivo do Autodesk® Revit®. Na primeira opção a análise na nuvem do GBS é gerada automaticamente ao se realizar a simulação Insight®. Desse modo o usuário necessita entrar no site da ferramenta: <https://gbs.autodesk.com>, realizar login com seu registro Autodesk®, então estará disponível a análise do arquivo.

Com esta ferramenta foi possível a obtenção dos dados climáticos da localização onde a edificação está implantada como gráficos de temperaturas de bulbo seco e úmido, rosa dos ventos, anuais e por período, dados sobre radiação, velocidade dos ventos.

Ainda no GBS® foi possível a obtenção de dados quanto a creditação LEED para o fator de vidro. Para pontuação nesta certificação é necessário que ao menos 75% (setenta e cinco por cento) das áreas regularmente ocupadas, tenham fator de vidro mínimo de 2% (dois por cento). Para o caso em estudo verificou-se que apenas 53 % (cinquenta e três por cento) das áreas atendiam a este requisito, de forma que o software informou a não pontuação no LEED.

Executou-se a análise no GBS com os modelos dos tipos conceituais, tipos esquemáticos e elementos detalhados, obtendo-se os resultados apresentados no Quadro 02:

Quadro 02 - Análise do prédio original GBS

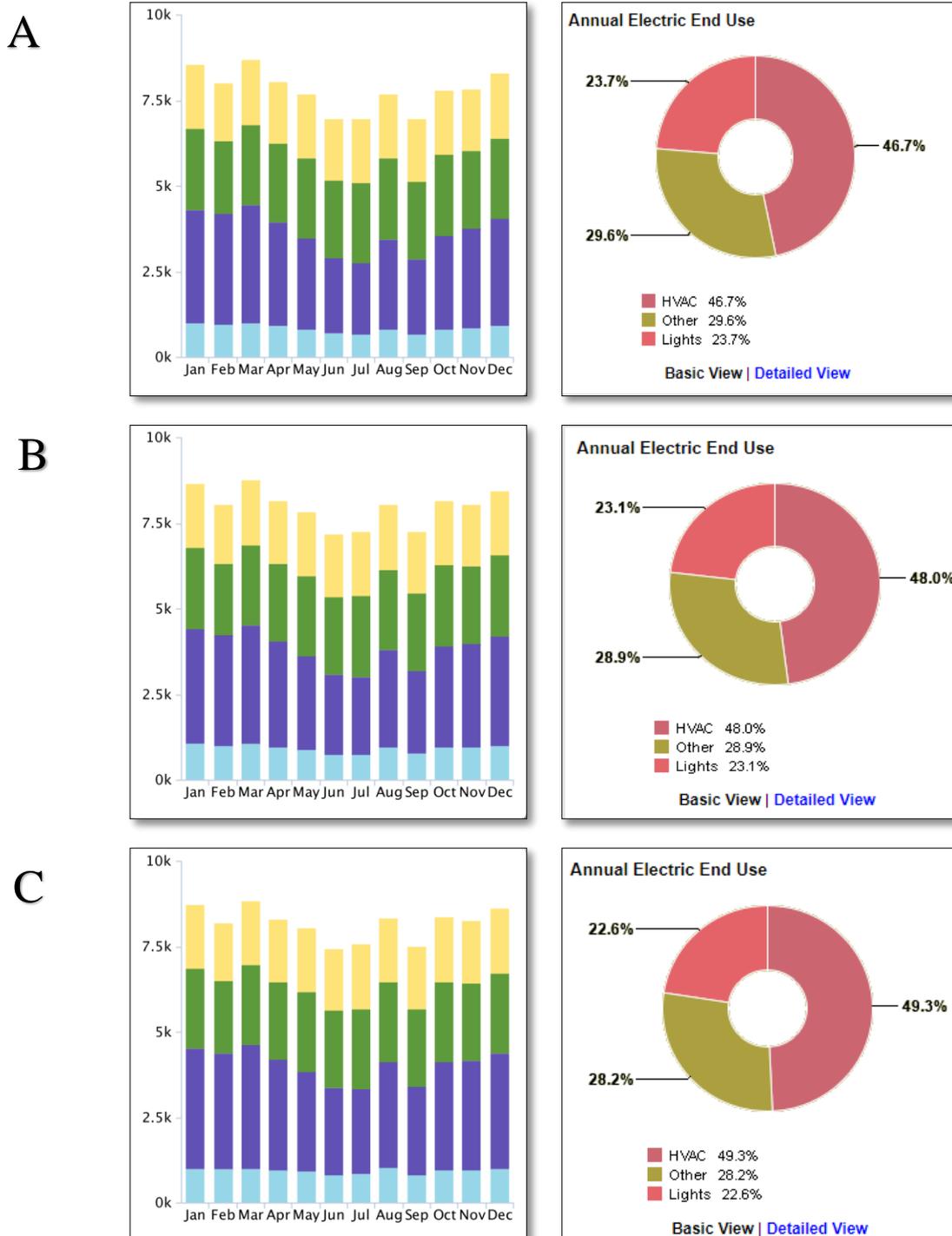
	INDICADOR	Tipos Conceituais	Tipos Esquemáticos	Elementos detalhados
	CONSUMO	Consumo Anual (KWH/ano)	93.392,00	95.704,00
VENTILAÇÃO	Total de horas de resfriamento mecânico necessárias	3.263,00	3.263,00	3.263,00
	Possibilidade de Ventilação Natural Horas	35,00	35,00	35,00
	Possível economia anual de energia elétrica	326,00	419,00	459,00
	Horas líquidas de resfriamento mecânico necessário	3.228,00	3.228,00	3.228,00
LEED	Creditação LEED	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: O autor.

Desta forma observou-se variação entre os modelos com os diferentes níveis de detalhamento. De modo que para o caso de estudo quanto maior o nível de detalhes inseridos no modelo, maior o consumo apresentado pela análise. Quanto a creditação LEED os três modelos apresentaram os mesmos resultados.

Foi possível ainda a obtenção dos consumos mensais , em gráficos com as categorias de consumos detalhadas em equipamentos iluminação (amarelo), equipamentos diversos (verde), refrigeração dos espaços (azul escuro), ventilação (azul escuro). Pode-se verificar nos gráficos, que o comportamento para os três níveis de detalhamento foram parecidos e nos meses mais com menores temperaturas o consumo foi reduzido.

Figura 32 - Estimativas de consumo mensal dos modelos no GBS®. Na figura A apresenta-se os valores obtidos para os tipos conceituais, na figura B tipos esquemáticos e na Figura C elementos detalhados.



Fonte: GBS

O prédio original não possui sistema de medição de energia isolado dos outros blocos do campus, de modo que não foi possível a comparação entre os consumos reais e as estimativas obtidas em simulação. Realizou-se então uma estimativa do consumo energético baseado na expectativa de uso dos equipamentos no ambiente (Anexo E), com o qual obteve-se uma estimativa de consumo anual de 125.304 kwh/ano, apresentando percentuais de uso do sistema de ar condicionado com percentuais próximos às simulações (cerca de 47%). Já os itens iluminação e outros equipamentos, registraram considerável diferença, pois a edificação tem a peculiaridade de ter muitos computadores, sendo os maiores consumidores depois dos condicionadores de ar.

4.3. OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE (ABCE)

Na busca da melhor proposta de eficiência energética para a edificação em estudo utilizou-se como base o modelo baseado nos tipos conceituais, para o estudo do posicionamento do prédio em relação ao norte verdadeiro. Realizou-se simulações do prédio com variações de 45° em sentido horário até o limite de um giro completo. Desta forma, obteve-se oito modelos para comparação e análise do posicionamento ótimo de implantação do prédio, como pode ser observado no Tabela 02.

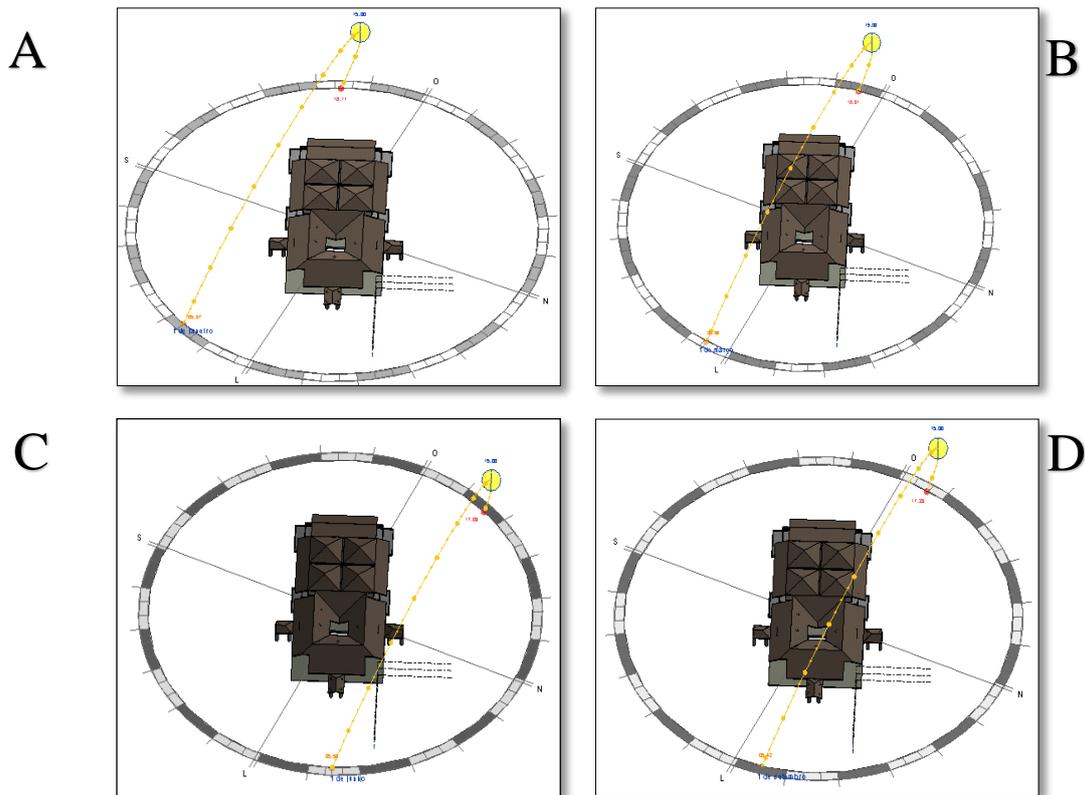
Tabela 02 - Alternativas de posicionamento do prédio original

Rotação	GBS		Insight
	Consumo anual de energia elétrica (kwh)	Economia de energia anual por ventilação natural (kwh)	Consumo Anual (kwh/m ² /ano)
origem	93.392,00	326,00	185
45°	92.832,00	340,00	186
90°	94.475,00	348,00	185
135°	94.970,00	340,00	184
180°	93.877,00	333,00	184
225°	92.426,00	332,00	184
270°	94.058,00	345,00	185
315°	94.333,00	331,00	186

Fonte: O autor.

Pôde-se verificar que segundo a análise realizada no GBS a alternativa com estimativa de menor consumo energético anual foi o prédio rotacionado 225°, o modelo com esta configuração doravante será denominado modelo A. Observa-se que há coerência entre os resultados e o posicionamento do sol em relação a fachada poente do edifício. Ao realizar a rotação de 225° a fachada mais protegida por cobertura passa a ser voltada para a região de maior incidência solar no período da tarde, como pode ser evidenciado na figuras 33, que mostra a posição do sol às 15:00 horas em relação ao prédio em seu posicionamento original.

Figura 33 - Caminho do sol em diferentes períodos às 15 horas local. Na figura A é possível a observação do posicionamento do sol no mês de Janeiro, na B do mês março, na C de junho e da figura D de setembro.



Fonte: O autor.

Já no quesito ventilação natural, a rotação de 90° apresentou o melhor desempenho. Na análise realizada no Insight os modelos que apresentaram menor consumo foram os de 134° , 180° e 225° .

Desta forma, considerou-se como posicionamento ótimo a rotação de 225° , pois apresentou melhor desempenho nas análises de consumo energético total da edificação, então este posicionamento foi utilizado como base para as próximas análises.

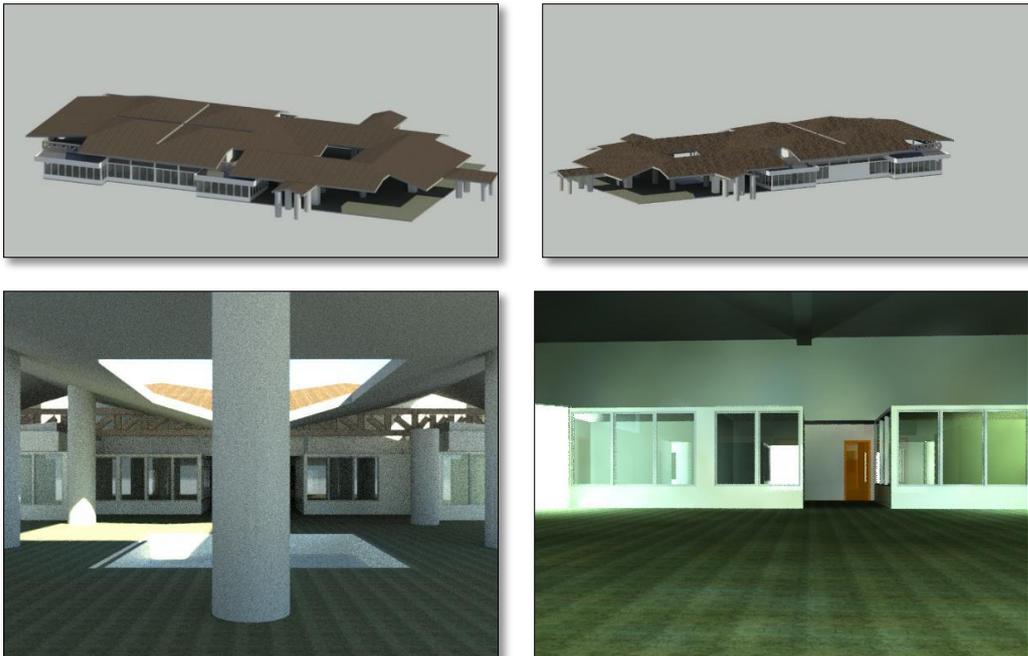
Uma vez definido o posicionamento, utilizou-se as estratégias de projeto passivo recomendadas pela NBR 15220 -3 para a zona Bioclimática 8, na qual está localizada a edificação, bem como as recomendações obtidas com o preenchimento da planilha de Mahoney, com os dados climáticos do local, o Quadro 03 apresenta o resumo destas estratégias:

Quadro 03 - Estratégias de projeto passivo

Recomendação	NBR 15220 - 3	Método de Mahoney
Aberturas Grandes	X	X
Sombrear Aberturas	X	X
Paredes Leves refletoras	X	X
Cobertura leve refletora	X	X
Ventilação cruzada / circulação do ar	X	X
Orientação Leste - Oeste para reduzir a exposição solar		X

Fonte: O autor.

Aberturas Janelas (AB): Para realização do estudo das aberturas, verificou-se que os ambientes CFCAm, CFHIAC, CFArtes e Docentes já apresentavam grandes áreas de aberturas de janelas e como já relatado anteriormente, estes espaços apresentaram iluminância superior aos demais, uma vez que são janelas além de maiores são totalmente translúcidas. Deste modo replicou-se o conceito utilizado nestes espaços, para os demais ambientes, obtendo-se as vistas ilustradas nas Figuras 34:

Figura 34 – Vista 3D com a implantação da estratégia de ampliação das áreas de aberturas de janelas.

Fonte: O autor.

Ao realizar a simulação no GBS deste cenário observou-se que a estimativa de consumo anual de energia elétrica foi elevada de 92.425 kwh (noventa e dois mil quatrocentos e vinte e cinco quilawatts hora) para 93.213 kwh (noventa e três mil duzentos e treze quilawatts hora). Por outro lado a edificação passou a pontuar na certificação LEED na análise de iluminação natural, elevando o percentual de 53% (cinquenta e três por cento) para 96% (noventa e seis por cento)

dos ambientes com fator de vidro acima de 2% (dois por cento), sendo que a exigência é que ao menos 75% (setenta e cinco por cento) dos espaços tenham fator de vidro superior aos 2% (dois por cento) exigidos.

Devido a relevância da creditação no LEED e o aumento do consumo anual não ser considerado alto, optou-se por manter o cenário para as próximas simulação e nomear este modelo como AB.

Cobertura (ABC): A cobertura de telhas cerâmica existente atende aos padrões exigidos em norma, conforme a seguinte nota: *“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”* (ABNT, 2013).

A norma ABNT NBR 15220-3 apresenta ainda uma segunda nota a respeito das coberturas na zona bioclimática 8: Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências:

- a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e
- b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas.

A alteração proposta para a cobertura da edificação foi uma abertura no vão central, de modo a permitir o efeito chaminé na edificação, bem como auxiliar na iluminação natural dos ambientes internos, conforme Figura 35:

Figura 35 - Efeito Vista 3D com a implantação da chaminé no hall central.



Fonte: O autor.

Com esta alteração esperava-se obter melhor desempenho na ventilação natural da edificação, bem como menor consumo devido a iluminação natural, os resultados obtidos podem ser evidenciados na Tabela 03, em que modelo AB (modelo rotacionado 225°, com a implantação das novas esquadrias) e modelo ABC (Chaminé):

Tabela 03 – Comparação entre os modelos AB e ABC.

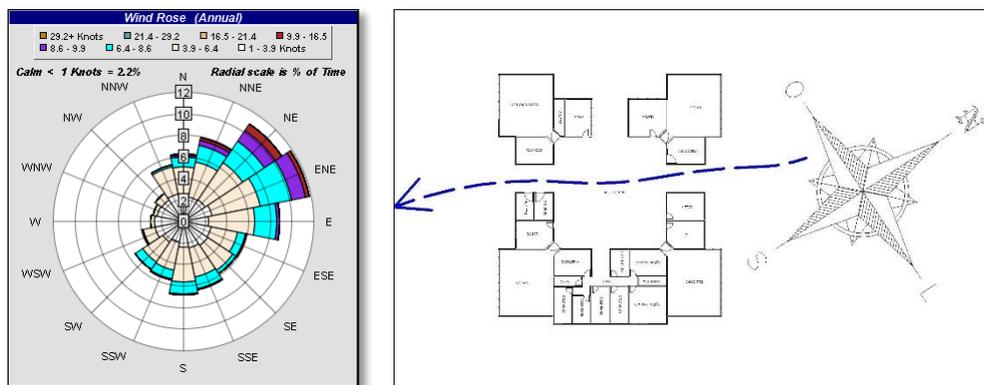
Modelo	Consumo (Insight) kwh/m ² /ano	Consumo anual(GBS) kwh	Economia anual por uso de ventilação natural (GBS) kwh
AB	185	93.213,00	353
ABC	182	93.096,00	351

Fonte: O autor.

É possível observar que na análise do Insight houve redução no consumo anual, bem como no GBS, porém o software não apresentou ganhos com ventilação natural com a implantação deste dispositivo.

Aberturas para ventilação no hall central (ABCD): Outra estratégia utilizada foi a criação de aberturas em zonas de pressão opostas no prédio, baseado a posição dos ventos predominantes, segundo dados climáticos do local do projeto verificados no GBS, como pode ser verificado nas Figuras 36.

Figura 36 – Estudo da direção dos ventos predominantes na edificação. Na Figura A pode ser observada a roda dos ventos apresentada pelo software GBS® e na figura B a influência esperada desses ventos na edificação



Fonte: adaptado de GBS

Após gerar a simulação com este cenário, verificou-se considerável redução no consumo anual de energia elétrica apresentada no GBS, porém no Insight, foi verificado que a relação consumo anual /área foi reduzida, conforme pode ser verificado na Tabela 04, onde Modelo ABC é comparado ao Modelo ABCD:

Tabela 04 - Resultados com efeito chaminé

Modelo	GBS		Insight
	Consumo anual de energia elétrica (kwh)	Possível economia de energia anual por ventilação natural (kwh)	Consumo Anual (kwh/m ² /ano)
ABC	93.096,00	351,00	182
ABCD	89.754,00	337,00	211

Fonte: O autor.

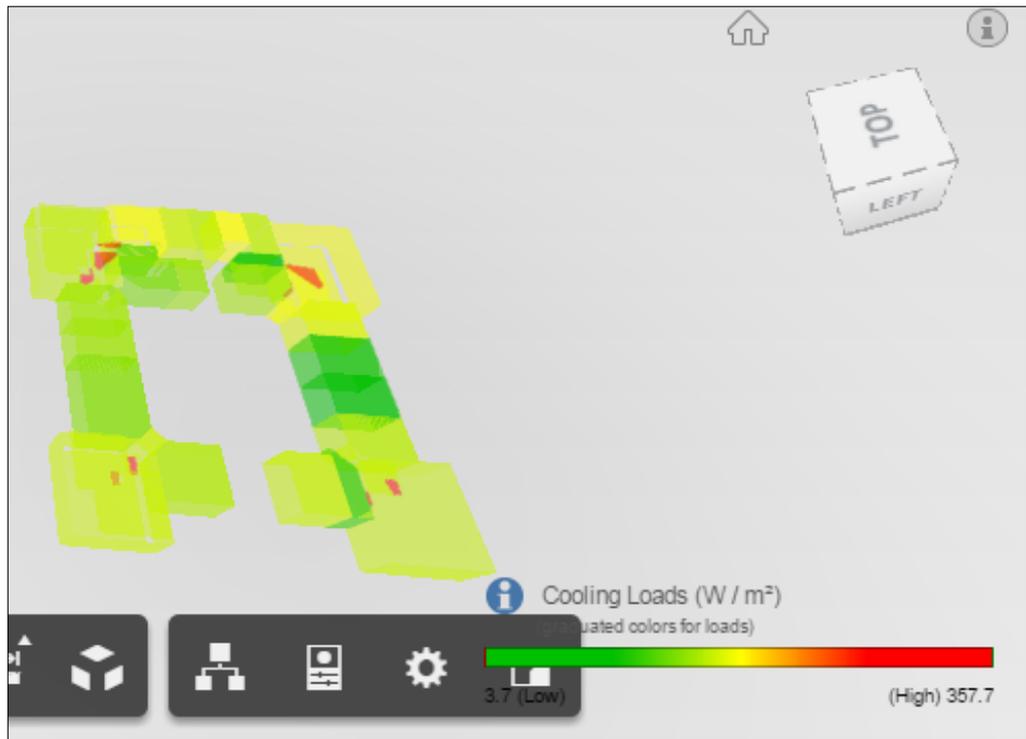
Com estes resultados pode-se verificar que a redução no consumo energético não foi devido ao reconhecimento pelos softwares da melhoria nas condições ventilação natural da edificação e sim na redução da área útil de 37 m² (trinta e sete metros quadrados) nos ambientes “Acadêmica”, “WC masc” e “WC fem”, necessário para a criação das aberturas laterais.

Deste modo, as intervenções realizadas no modelo ABCD não serão inseridas nos próximos modelos simulados, uma vez que não foram obtidas as melhorias esperadas. No fórum de ajuda da ferramenta GBS foram verificados questionamentos de usuários quanto as análises possíveis com relação a ventilação natural na ferramenta e as respostas corroboram com os resultados pouco detalhados neste quesito, como pode ser observado no seguinte trecho:

Tenha em mente que o Green Building Studio serve como uma ferramenta de esquemas. Estes são destinados para projetistas para utilizar nos estágios iniciais do processo para otimizar a forma e perímetro do projeto. Se precisar de mais análise detalhada executada é possível exportar do Green Building Studio o arquivo DOE-2 para análise de engenharia detalhada em eQUEST ou Energyplus (Autodesk, 2014).

Sombreamento (ABCE): Para realizar as análises das melhorias no sombreamento das fachadas utilizou-se a ferramenta de visualização das cargas de arrefecimento na ferramenta Insight, conforme pode ser verificado na figura 37:

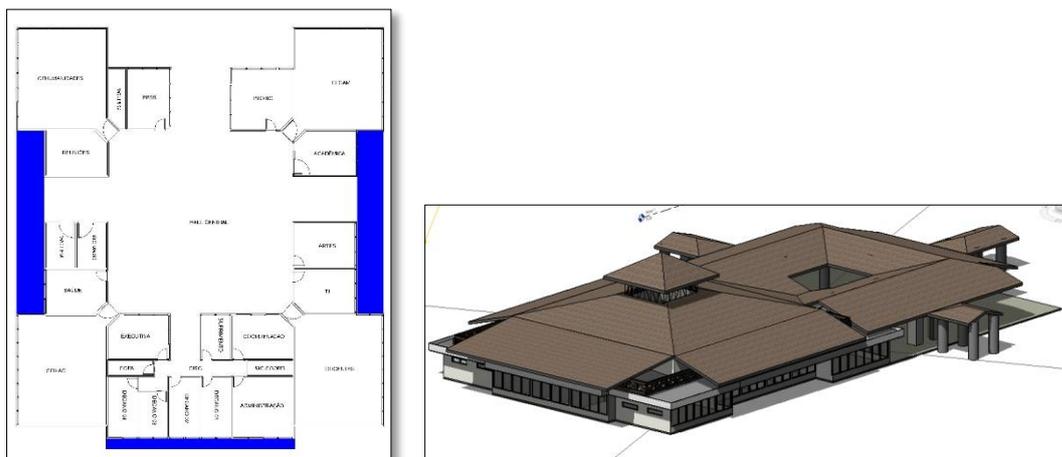
Figura 37 - Cargas térmicas de arrefecimento



Fonte: O autor.

Esta ferramenta foi utilizada para verificar os ambientes com maior necessidade de refrigeração, para que sejam implantadas estruturas para proteção solar adequada nesses ambientes. Como solução foram criados brises do tipo “quebra-sol” nas fachadas não protegidas, conforme Figura 38.

Figura 38 - Estratégia de instalação de brises Soleil para sombreamento em planta baixa e vista 3D.



Fonte: O autor.

Ao realizar as análises com a instalação dos brises (ABCE), foram verificados melhores desempenhos energéticos na edificação tanto na ferramenta Insight, como no GBS, como pode ser verificado no Tabela 05.

Tabela 05 – Resultados com a estratégia de sombreamento

Modelo	GBS	Insight
	Consumo anual de energia elétrica (kwh)	Consumo Anual (kwh/m ² /ano)
ABC	93.096,00	182
ABCE	92.595,00	180

Fonte: O autor.

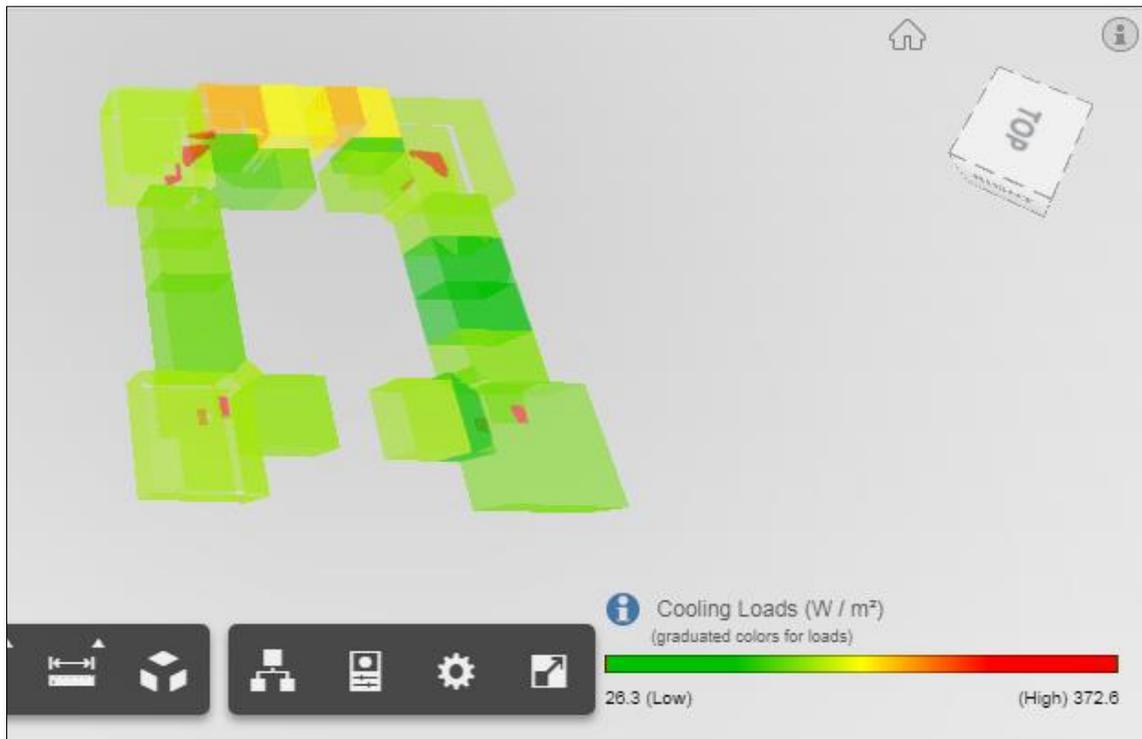
4.4. OBTENÇÃO DO MODELO EFICIENTE VIÁVEL (OBCE.a)

Apesar do modelo eficiente ABCE ter apresentado menor consumo anual quando comparado ao modelo original (O), sabe-se que sua execução é inviável, uma vez que é proposto uma rotação em torno do eixo da edificação. Deste modo, gerou-se um novo modelo implementando as mesmas estratégias utilizadas no modelo ABCE, exceto a rotação do prédio.

- Esquadrias (OB)
- Esquadrias + Chaminé (OBC)
- Esquadrias + Chaminé + Sombreamento (OBCE)

Ao final do experimento o modelo OBCE apresentou consumo anual maior que o modelo original O, com consumo anual de 93.838 kwh/ano (noventa e três mil oitocentos e trinta e oito quilowatts hora por ano). Ao analisar a arquitetura deste modelo observou-se que a fachada Oeste da edificação ficou em posição vulnerável as exposições solares, o que pôde ser verificado também com a ferramenta Insight®, que apresentou graficamente os elevados valores de cargas de arrefecimento nos ambientes mais a Oeste da edificação, como pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 - Análise das cargas de arrefecimento no Insight mod. OBCE



Fonte: O autor.

Deste modo foi proposta uma alteração na fachada vulnerável a exposição solar, de modo a reduzir a área de suas esquadrias e aumentar o ângulo vertical de sombreamento em relação as estruturas de sombreamento projetadas, obtendo-se assim um novo modelo (OBCE.a), que pode ser evidenciado na Figura 40.

Figura 40 - Fachada Oeste dos modelos OBCE e OBCE.a, respectivamente.



Fonte: O autor.

Foram realizadas análises para cada estratégia implementadas, de forma gradativa, assim como realizado para a obtenção do modelo eficiente. Os resultados podem ser verificados na tabela 06.

Tabela 06 - Resultados modelo OBCE.a

Modelo	Consumo anual (kwh) GBS	Consumo (kwh/m²/ano) Insight
O	93392	185
OB	94855	184
OBC	94749	184
OBCE	93838	182
OBCE.a	92237	182

Fonte: O autor.

Deste modo obteve-se três modelos finais para análise e comparação, sendo eles:

- Modelo Original (O)
- Modelo Eficiente (ABCE)
- Modelo Eficiente Viável (OBCE.a)

4.4.1. Custo de implementação das estratégias viáveis

Elaborou-se o levantamento dos custos de implantação das estratégias viáveis, de modo a permitir a visualização dos prazos de retorno e viabilidade econômica da implantação da estratégia. Para o levantamento dos custos foram utilizadas como bases de referência as tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente ao estado da Bahia e também o Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE), ambas com data base de Maio/2019. Os resultados das estimativas de custos, economia anual e prazo de retorno, podem ser observados na Tabela 07 e o detalhamento dos custos dos serviços no Anexo C.

Tabela 07 – Análise econômica das estratégias

Estratégia	Descrição	Custo	Redução aual de consumo (kwh/ano)	Redução aual de consumo (R\$)	Prazo de retorno (ano)
B	Ampliação das fachadas envidraçadas (esquadrias)	R\$ 17.516,29	X	X	X
C	Abertura de chaminé na cobertura	R\$ 64.102,20	106	R\$ 84,80	755,92
E	Implantação de brises para sombreamento	R\$ 7.877,52	2512	R\$ 2.009,60	3,92

Fonte: O autor.

Na Tabela 07 pode ser observado, que a estratégia B não apresenta ganhos econômicos ao prédio, lembrando que esta estratégia apenas foi mantida, por atingir o percentual de fachada envidraçada, que permita a creditação LEED. Já a estratégia C mostrou-se economicamente inviável, imaginando-se o cenário de reforma do prédio, pois o custo levou em consideração a demolição de grande parte da cobertura existente e sua reconstrução conforme o modelo com chaminé. Por outro lado, se esta estratégia fosse aplicada em uma nova obra o custo seria próximo ao de uma cobertura convencional.

A estratégia de instalação de brises (E) se mostrou adequada para uma possível reforma visando a redução do custo anual de energia elétrica da edificação, uma vez que seu investimento teria retorno em aproximadamente quatro anos.

4.5. ANÁLISE PELO MÉTODO PRESCRITIVO RTQ-C

Para a verificação da etiqueta ENCE atribuída a cada um dos modelos utilizou-se o método prescritivo, descrito na norma RTQ-C, de modo a verificar o indicador de consumo do envoltório, que para a zona bioclimática ZB-08 e edificações com área de projeção superior a 500m², pode ser obtida a partir da equação 5:

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -160,36 \cdot FA + 1277,29 \cdot FF - 19,21 \cdot PAF_T + 2,95 \cdot FS - 0,36 \cdot AVS - 0,16 \cdot AHS + \\
 & + 290,25 \cdot FF \cdot PAF_T + 0,01 \cdot PAF_T \cdot AVS \cdot AHS - 120,58
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

- Modelo do prédio original (O):

Substitui-se os valores seguintes valores:

FA = 1 (adimensional)

FF = 0,51 (m²/m³)

PAF_t = 0,12 = 12%

FS = 0,62 (adimensional)

AVS = 0°

AHS = 0°

Obteve-se o valor adimensional do IC_{env} = 388,48.

Seguindo o procedimento da norma é necessária a obtenção dos limites máximos e mínimos do IC, para que seja possível a obtenção da etiqueta referente ao envoltório da edificação.

Estes valores são obtidos substituindo os valores abaixo na equação 5.

Tabela 08 - Parâmetro IC_{máx}

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Fonte: INMETRO, 2010

Tabela 09 - Parâmetro IC_{min}

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: INMETRO, 2010

Assim obtendo-se IC_{máx} = 450,78 e IC_{min} = 398,12. Com o valor de IC e seus limites é possível realizar a análise da etiqueta, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	IC _{máxD} - 3i + 0,01	IC _{máxD} - 2i + 0,01	IC _{máxD} - i + 0,01	IC _{máxD} + 0,01
Lim Máx	IC _{máxD} - 3i	IC _{máxD} - 2i	IC _{máxD} - i	IC _{máxD}	-

Fonte: INMETRO, 2010

Sendo que:

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4} \quad (6)$$

Deste modo, é possível observar que pelo método prescritivo, o prédio original teria o envoltório com classificação A, o que não impossibilita que a eficiência da edificação seja elevada, uma vez que quanto menor o IC, maior a eficiência da edificação. Deste modo realizou-se o procedimento do RTQ-C também para os modelos eficientes obtidos, na busca de um indicador ainda menor.

- Modelo Eficiente (ABCE):

Pode-se observar que as variáveis que sofreram alteração foram o percentual de abertura da fachada total (PAF_t), devido ao aumento das áreas de abertura nas fachadas e ângulo vertical de sombreamento (AVS), devido a implantação das estruturas de sombreamento acima das fachadas.

FA = 1 (adimensional)

FF = 0,51 m²/m³

PAF_t = 0,16 = 16%

FS= 0,62 (adimensional)

AVS=45°

AHS=0°

Substituindo os valores na Eq.5, temos IC= 377,56, mantendo a classificação na faixa A e comprovando a maior eficiência energética do projeto, quando comparado ao modelo original (O).

- Modelo eficiente viável (OBCE.a):

Embora o método prescritivo não considere a rotação do prédio para o cálculo do IC, o modelo OBCE apresenta uma área de aberturas na fachada inferior, quando comparado ao modelo ABCE, assim alterando o valor do PAFt. Assim, os valores utilizados na Eq.5 para este caso foram:

FA = 1 (adimensional)

FF = 0,51 m²/m³

PAFt = 0,14 = 14%

FS= 0,62 (adimensional)

AVS=45°

AHS=0°

Obtendo-se IC= 374,98. Deste modo, na análise do método prescritivo o modelo OBCE.a apresentou o melhor comportamento entre os três modelos analisados. Estes resultados podem ser utilizados como referência para comparação da eficiência com os modelos obtidos pelo método computacional.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS

Obtidos os modelos para comparação pôde-se organizar os dados em tabelas de acordo com o nível de detalhamento destes modelos. No Quadro 04 é possível observar os dados dos modelos no nível de tipos conceituais. Neste nível foi observado que o melhor desempenho foi obtido pelo modelo OBCE.a, segundo as análises do GBS, no Insight, porém, o modelo ABCE apresentou um menor consumo/área, o que demonstra que há alguma divergência na metodologia de cálculo dessas ferramentas.

Quadro 04 - Comparação entre modelos tipos conceituais

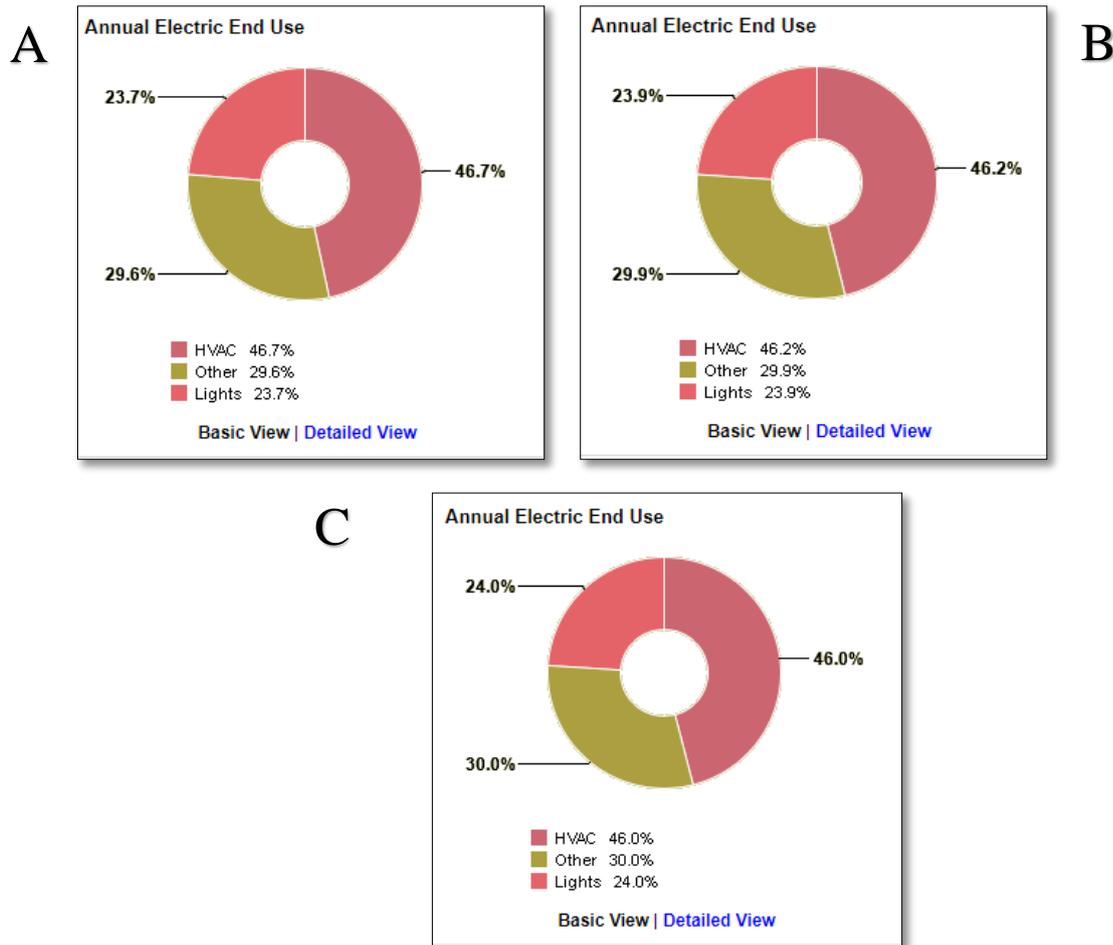
TIPOS CONCEITUAIS		INDICADOR	O	ABCE	OBCE.a
GBS®	CONSUMO	Consumo Anual (KWH/ano)	93392	92595	92235
INSIGHT®		Consumo/Área/ano (KWH/m ² /ano)	185	180	183
GBS®	VENT.	Total de horas de resfriamento mecânico necessárias	3263	3263	3263
		Possibilidade de Ventilação Natural (Horas)	35	35	35
		Possível economia anual de energia elétrica (KWH)	326	333	310
		Horas líquidas de resfriamento mecânico necessário	3228	3228	3228
	LEED	Creditação LEED	NÃO	SIM	SIM

Fonte: O autor.

No Quadro 04 também é possível verificar os dados de ventilação natural apresentados para cada modelo, que não apresentou qualquer variação no total de horas necessárias de resfriamento mecânico, o que traz a luz questionamentos a respeito da metodologia utilizada no software, uma vez que foram implementadas estratégias de projeto em que se esperava obter melhorias na ventilação natural do edifício. Quanto a creditação LEED apenas o modelo O não a obteve, devido ao percentual de fachadas envidraçadas não atenderem aos critérios mínimos.

Ainda com relação aos modelos tipos conceituais apresenta-se na Figura 41 os gráficos demonstrando o consumo energético em percentual para cada modelo. É possível observar que percentualmente houve uma relação direta entre as reduções no consumo anual da edificação e do uso do sistema de refrigeração dos ambientes.

Figura 41 - Percentual do consumo dos modelos tipos conceituais. Na Figura A podem ser observados dados do modelo O, na figura B do modelo ABCE e na figura C do modelo OBCE.



Fonte: GBS

Já para os modelos com os tipos esquemáticos, foram obtidos os resultados apresentados No Quadro 05, que também apresentaram o modelo OBCE.a como o mais eficiente quando analisados no GBS®, porém no Insight® os valores foram próximos em todas as análises, mostrando um desempenho levemente superior no modelo original (O). O que confirma alguma diferença na metodologia de cálculo dos softwares, uma vez que o Revit® envia automaticamente o modelo para as duas plataformas, deste modo, não há como ser falha do usuário.

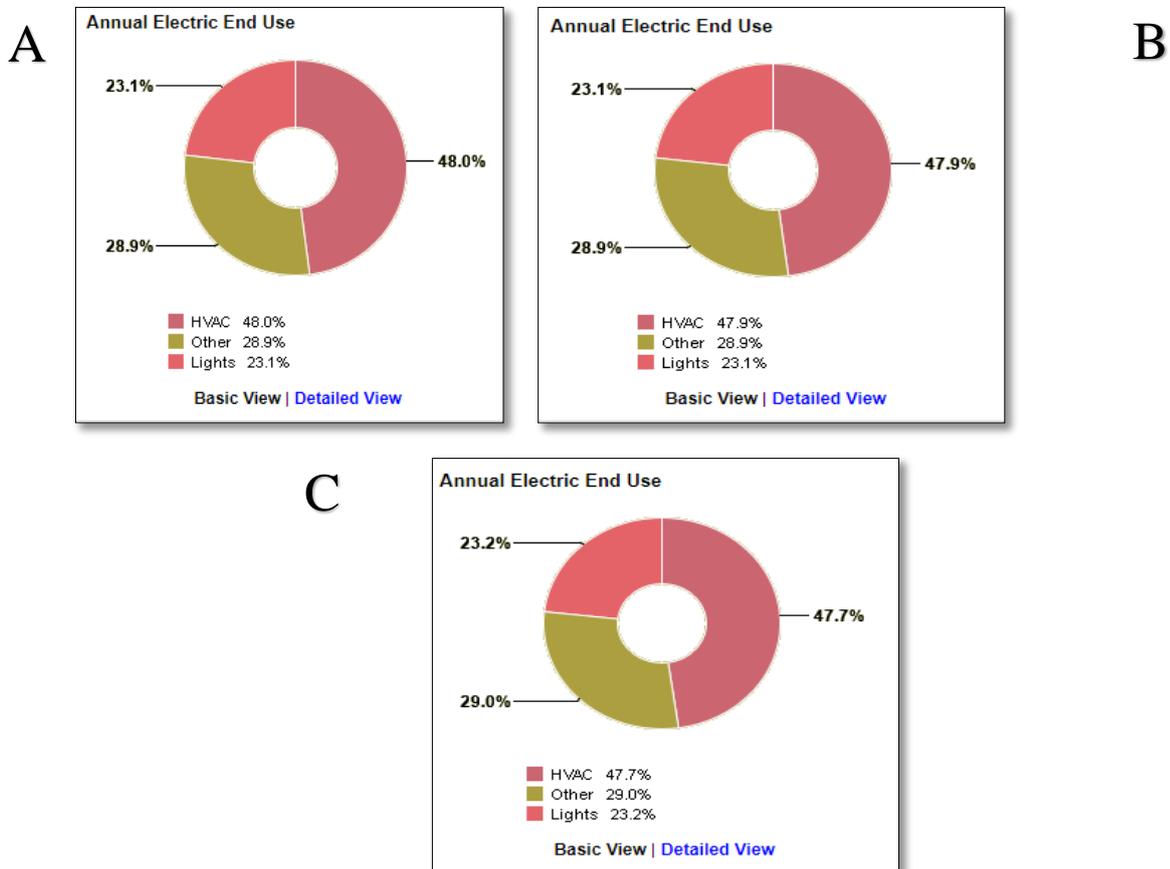
Quadro 05 - Comparação entre modelos tipos esquemáticos.

TIPOS ESQUEMÁTICOS		INDICADOR	O	ABCE	OBCE.a
GBS®	CONSUMO	Consumo Anual (KWH/ano)	95.704	95.652	95.302
INSIGHT®		Consumo/Área/ano (KWH/m ² /ano)	202	203	203
GBS®	VENT.	Total de horas de resfriamento mecânico necessárias	3.263	3.263	3.263
		Possibilidade de Ventilação Natural (Horas)	35	35	35
		Possível economia anual de energia elétrica (KWH)	419	417	403
		Horas líquidas de resfriamento mecânico necessário	3.228	3.228	3.228
	LEED	Creditação LEED	NÃO	SIM	SIM

Fonte: O autor.

Assim como nos modelos dos tipos conceituais, nas análises dos tipos esquemáticos também foi verificada uma redução no percentual do uso do sistema de condicionamento de ar nos modelos mais eficiente, como pode ser verificado na Figura 42.

Figura 42 - Percentual do consumo dos modelos tipos esquemáticos. Na Figura A podem ser observados dados do modelo O, na figura B do modelo ABCE e na figura C do modelo OBCE.



Fonte: GBS

No estudo realizado com os modelos de elementos detalhado os resultados obtidos estão em conformidade com o Quadro 06, em que pode-se observar, que segundo as análises realizadas no GBS®, o modelo mais eficiente (OBCE.a) obteve uma redução de consumo de 1625 kwh/ano (mil seiscientos e vinte e cinco quilowatts hora por ano) quando comparado ao modelo original (O).

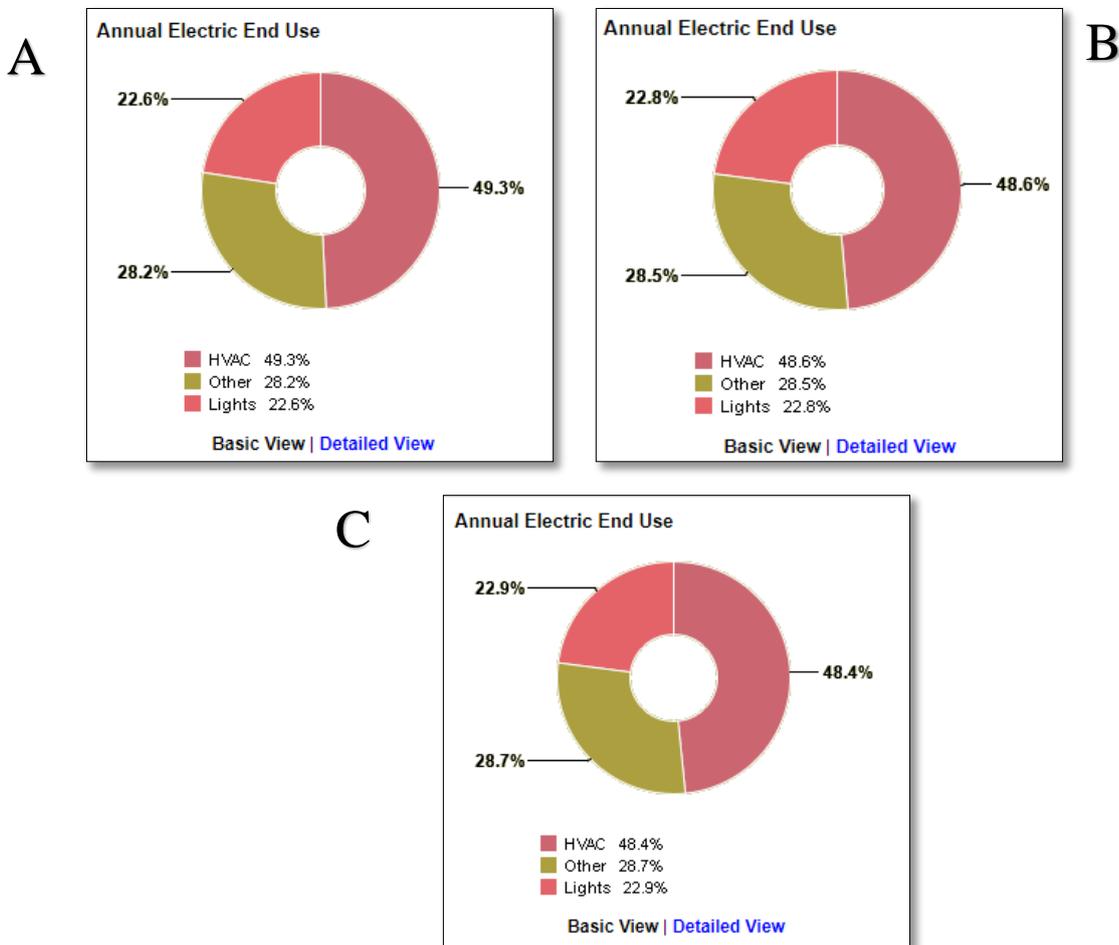
Quadro 06 - Comparação entre modelos elementos detalhados

ELEMENTOS DETALHADOS		INDICADOR	O	ABCE	OBCE.a
GBS®	CONSUMO	Consumo Anual (KWH/ano)	98134	96896	96509
INSIGHT®		Consumo/Área/ano (KWH/m ² /ano)	203	199	202
GBS®	VENT.	Total de horas de resfriamento mecânico necessárias	3263	3263	3263
		Possibilidade de Ventilação Natural (Horas)	35	35	35
		Possível economia anual de energia elétrica (KWH)	459	432	413
		Horas líquidas de resfriamento mecânico necessário	3228	3228	3228
	LEED	Creditação LEED	NÃO	SIM	SIM

Fonte: O autor.

As reduções nos percentuais de consumo do sistema de ar condicionado também puderam ser percebidas nos modelos com os elementos detalhados, conforme pode ser verificado na Figura 43:

Figura 43 - Percentual do consumo dos modelos elementos detalhados. Na Figura A podem ser observados dados do modelo O, na figura B do modelo ABCE e na figura C do modelo OBCE.



Fonte: GBS

Ao final das análises é possível a comparação dos resultados obtidos com os métodos de simulação utilizando as ferramentas GBS® Insight® com os obtidos pelo método prescritivo do RTQ-C, como pode ser verificado no Quadro 07:

Quadro 07 - Métodos de simulação x método prescritivo

		Modelo mais eficiente	Modelo Intermediário	Modelo menos eficiente
Método Prescritivo		OBCE.a	ABCE	O
Tipos Conceituais	Insight®	ABCE	OBCE.a	O
	GBS®	OBCE.a	ABCE	O
Tipos Esquemáticos	Insight®	O	ABCE/OBCE.a	X
	GBS®	OBCE.a	ABCE	O
Elemento Detalhados	Insight®	ABCE	OBCE.a	O
	GBS®	OBCE.a	ABCE	O

Fonte: O autor.

Com os resultados apresentados é possível observar que em todos os casos os resultados obtidos pelo método de simulação com a ferramenta GBS® coincidiram entre eles e também com os resultados do método prescritivo. Já os resultados obtidos com a ferramenta Insight variaram, coincidindo com os demais apenas na comparação dos modelos dos tipos conceituais.

Deste modo, o modelo OBCE.a se mostrou como mais eficiente para o caso de estudo, pois obteve os menores consumos na maioria dos casos analisados. A ferramenta GBS® apresentou resultados que demonstram relação com os valores obtidos pelo método prescritivo do RTQ-C, porém a ferramenta Insight®, se mostrou inadequada para comparação numérica de consumo de modelos.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho sinalizou a necessidade de que as edificações apresentem desempenho energético satisfatório, em especial em prédios do Governo Federal do Brasil, uma vez que existem normas técnicas oficiais que determinem adequado desempenho, bem como pelo respeito ao meio ambiente e zelo pelos recursos públicos.

Além da questão energética, foi verificado um processo de evolução nas ferramentas de projetos de edificações do CAD para o BIM. Na primeira os projetos são configurados pelas características geométricas, na segunda, porém, além da geometria os modelos são carregados com informações que permitem simular o comportamento da edificação em diversos aspectos, possibilitando que o usuário tenha uma construção virtual.

Discutiu-se sobre os conceitos de Eficiência energética de edificações, os conceitos do BIM, bem como suas aplicações no campo dos projetos eficientes. Verificou-se que existem softwares específicos para análises de energia em edificações mundialmente reconhecidos, porém a literatura apresenta falhas de interoperabilidades entre os softwares BIM e estas ferramentas. Foi verificado também que existem ferramentas BIM específicas para este uso.

Escolhido como ferramenta de modelagem BIM, o Revit® apresentou eficiência na modelagem da edificação, possibilitando ao usuário inserir informações de diversas áreas da construção civil no modelo, de modo a possibilitar a evolução do projeto estudado da plataforma CAD para o BIM. O Revit® possibilitou também a criação dos modelos analíticos de energia em três diferentes níveis de detalhamento (tipos conceituais, tipos esquemáticos e elementos detalhados), possibilitando o envio automático destes modelos de energia para os softwares de análise Insight® e GBS®, também do desenvolvedor Autodesk®.

Utilizou-se as ferramentas de renderização de iluminância no Revit® em que foi possível analisar de forma gráfica cada espaço da edificação. Esta ferramenta apresentou valores superiores aos verificados “in loco”, mas coerentes para comparação entre os espaços, ressaltando-se as limitações como *inputs* subjetivos, a exemplo modelo do céu e também a não modelagem de elementos externos ao prédio, o que pode ter comprometido o sombreamento, além de outros fatores como características do vidro empregado.

Quanto as análises no Insight® foi verificado que a ferramenta apresentou estimativas de consumo inconsistentes, quando comparados aos resultados obtidos nos demais métodos testados. Por outro lado esta ferramenta apresenta recursos eficientes para a visualização de

cargas térmicas de forma tridimensional, de modo a facilitar a visualização dos ambientes vulneráveis ao excesso ou déficit de calor por exemplo.

Quanto ao GBS, identificou-se como primeira característica relevante a agilidade na coleta dos dados climáticos da região estudada, sendo possível que o projetista tenha acesso às informações necessárias para um projeto de arquitetura passiva, apesar de apresentar falhas esporádicas em algumas funções, como transformação dos sistemas de unidades.

O GBS apresentou também uma estimativa dos consumos anuais das edificações com valores próximos, mas não idênticos ao Insight®, informações quanto a creditação LEED e gráficos da distribuição do consumo de energia. As informações relacionadas a ventilação natural, além de serem simplistas, não refletiram os ganhos esperados com as técnicas de projeto passivo para ventilação natural. O software sugere ainda que para análises mais detalhadas o usuário importe o modelo de energia para o software EnergyPlus®, porém foi discutido falhas de interoperabilidade entre modelos BIM criados no Revit® e esta ferramenta, o que pode ser considerado uma lacuna entre o BIM e análises de energia detalhadas em projetos eficientes.

Deste modo, conclui-se que existem ferramentas BIM que auxiliam o projetista na obtenção de projetos eficientes, porém as ferramentas não apresentam elevado grau de detalhamento em suas análises, nem precisão nos seus resultados. Considera-se as ferramentas estudadas como úteis para análises expeditas e com grande potencial para evolução, mas ainda simplistas quando comparadas as ferramentas já disseminadas em outras plataformas.

Quanto aos resultados obtidos para o estudo de caso, observou-se que as estratégias de rotação a 225° em sentido horário seria a posição em que a edificação estaria melhor implantada. Verificou-se também que a estratégia de ampliar as áreas de aberturas de janelas aumentam o consumo energético, devido a maior insolação, mas melhoram consideravelmente a iluminação natural nos ambientes, possibilitando a creditação neste item do LEED.

A estratégia de criação de chaminé no hall central apresentou melhoria no desempenho energético no modelo, mas apresentou elevado custo de implantação, comparado ao retorno financeiro, de modo a considerar esta opção economicamente inviável.

Quanto a estratégia de sombreamento adotada verificou-se que foi a solução com melhor custo-benefício entre as estudadas, apresentando prazo de retorno inferior a quatro anos.

Foi observado ainda que quanto maior o nível de detalhes do modelo (elementos detalhados) maior foi a economia anual de energia com a implementação das estratégias.

Considerando o tema abordado, bem como os resultados obtidos, pode-se apresentar como sugestão de pesquisas futuras os seguintes tópicos:

- Análise da edificação em software de análise energética em outra plataforma, como EnergyPlus®, Design Builder® ou outro similar para comparação dos resultados;
- Estudo acerca de custos e prazos de retorno ótimo para projetos de edificações eficientes;
- Estudo das causas dos problemas verificados na literatura pela interoperabilidade entre os modelos criados no Revit® e os softwares de análise;
- Estudo de modelo de fluidodinâmica computacional (CFD) do modelo para comparação dos resultados;
- Avaliação da análise dos modelos BIM no Viés das certificações brasileiras, a exemplo a etiqueta ENCE;
- Avaliação de outras técnicas de projeto passivo na edificação estudada e comparação dos resultados.
- Desenvolvimento de ferramenta capaz de atribuir a etiqueta ENCE a partir de um modelo BIM, através do arquivo GBXML.
- Continuidade do trabalho nas demais edificações do campus estudado.
- Estudar os impactos das edificações do entorno no prédio estudado.

REFERÊNCIAS

- AKWA, J. V., DE OLIVEIRA, G., PETRAGLIA, S., DE ARAUJO LAUFFER, H., & SOARES, R. S. (2017). **Simulação e análise de métodos para o aumento da eficiência termoenergética de uma edificação.** *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 3(1), 171-193.
- ALVES, H. M., E LOBARINHAS, P. A., P. A. (2017) **Ventilation and energy efficiency of buildings Ventilação e eficiência energética dos edifícios.** International Congress on Engeneering.Covilha – Portugal
- ANDRADE, M; RUSCHEL, R. (2009b). **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências.** 602-613. 10.4237/sbqp.09.166.
- ANDRADE, M; RUSCHEL, R. (2009b). **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC.** *Gestão & tecnologia de projetos*, 4(2), 76-111.
- AUTODESK (2014). **Autodesk Revit 2014: ajuda.** Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/ptbr/support/ecotectanalysis/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/PTB/Building-tightness-infiltration-air-changes-per-hour-ACH.html>. Acesso em: 25/05/2019
- AUTODESK (2019). **Autodesk Revit 2019: ajuda.** Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Analyze/files/GUID-57721C90-394D-4014-ABF6-16FD6C035269-htm.html>. Acesso em: 07/05/2019
- AZHAR, S. (2011). **Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry.** *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252.
- BISINOTTO, S. L. (2012). **A influência da porcentagem da área de janela no consumo de energia elétrica em residências na cidade de São Carlos-SP.** (Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos).
- BORGES, J. G., CALDAS, L. R., DE CALDAS PAULSE, P., HORA, K. E. R., CARVALHO, M. T. M. (2018). **uso do bim no processo de quantificação de emissões de co2 no projeto de edificações: estudo de caso para o software designbuilder.** *reec-revista eletrônica de engenharia civil*, 14(1).
- BRASIL (2018a). **Decreto nº 9.377, de 17 de julho de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9377.htm, acesso em: 27 de julho de 2018.
- BRASIL, MMA Ministério do Meio Ambiente. (2018b). **Project EEE.** Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro de 2018.
- CAMPOS, J. (2012). **Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en Edificios Públicos.** Santiago de Chile. Sociedad Impresora R&R Ltda.

CARVALHO, A. L. (2017). **Edifícios de escritórios de baixas necessidades de energia: contributo da arquitetura e soluções passivas para soluções de custo-ótimo** (Tese de Doutorado).

CARVALHO, J. P., SILVA, S. M., MATEUS, R. e BRAGANÇA, L. (2017). **As metodologias BIM como auxiliar no projeto de reabilitação energética de edifícios. II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável**, 49-58.

COELHO, S. e NOVAES, C. (2008). **Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In Anais do VIII Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**, São Paulo.

CONTIER, F. D. A. (2013). **O edifício da FAUUSP e os materiais do brutalismo. Seminário DOCOMOMO Brasil, X.**

QUEIRÓZ, DE . G. R., SCHIMANIAK, N. K., DOS SANTOS, J. C. P., e DE CAMPOS GRIGOLETTI, G. (2016). **Autodesk Revit® como ferramenta BIM aplicada à simulação térmica de edificações. Revista de Arquitetura IMED**, 4(2), 33-41.

EASTMAN, C; TEICHOLZ, P; SACKS, R; LISTON, K.(2014). **Manual de Bim: Uma Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Construtores e Incorporadores**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman.

FORTINHO, P. (2018). **Brise-Soleil: Saiba o que é, quais as vantagens e modelos**. Revista Homify. Disponível em: https://www.homify.com.br/livros_de_ideias/5797225/brise-soleil-saiba-o-que-e-quais-as-vantagens-e-modelos . Acesso em: 26 de Maio de 2019.

GARROCHO, J.; AMORIM, C. (2004). **Luz natural e projeto de arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 10.

GUIMARÃES, A. P. C., RIBEIRO, C. M., BASTOS, L. E. G., VALENTE, L. C. G., SILVA, P. C. D., & OLIVEIRA, R. X. D.(2004). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Ediouro Gráfica e Editora SA Edição Especial, Rio de Janeiro, Brasil

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. (2016). **Fundamentos de física, volume 2- gravitação, ondas e termodinâmica**, 10ª Edição. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Lda, Rio de Janeiro.

HORTA, R. M. (2012). **Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero** (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia).

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO.(2010). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**

KEELER, M.; BURKE, B. (2010) **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: BOOKMAN

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA. (2014). **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Eletrobras Procel

LATORRACA, G.(1999). **João Filgueiras Lima, Lelé**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M. Bardi / Lisboa: Editorial Blau, p. 192.

MACHADO, R. A. (2014). **Reabilitação de edifícios visando a eficiência energética** (Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia).

MAZZAFERRO, L. (2015). **Análise das recomendações da ASHRAE standard 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. Dissertação de Mestrado.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO; SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIADA INFORMAÇÃO. (2014). **Instrução Normativa 02**. Disponível em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acesso em: 26 de maio de 2019.

NATIONAL BIM STANDARD PROJECT COMMITTEE. (2007). **National Building Information Modeling Standard**, Version 1, Part 1: Overview, Principles, and Methodologies.

NAZÁRIO, A. G.; TEIVE, R. C. G. (2016). **Sistema de Gestão de Energia Elétrica Utilizando o EnergyPlus: uma Aplicação Voltada aos Edifícios Inteligentes**. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, SBSE*, 1-6.

PEZZOTO, SANDRO. (2017). **Mais bem estar com painéis de brise**. Revista Habitare. Disponível em: <https://www.revistahabitare.com.br/arquitetura/mais-bem-estar-com-paineis-de-brise/>. Acesso em: 26 de Maio de 2019.

PINHO, J. K. C.(2016). **FAU-USP: desempenho ambiental em cenário de mudança climática**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.

PRETTI, A. (2018). **Interoperabilidade Bim e Bem: Avaliação de Eficiência do Sistema na Análise Energética de Edifícios**. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, M. V. (2015). **Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase de projeto: análise de desempenho térmico pelo método prescritivo e por simulação computacional aplicados a estudo de caso de projeto-tipo do exército Brasileiro**.(Dissertação de mestrado).

SANTOS, L. M.; COUTO, J. P. (2015). **Ferramentas e processos bim de avaliação e otimização energética em edifícios** bim tools and procedures for energy evaluation and optimization in buildings.

SUCCAR, B.(2009) **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation In Construction, v. 18.

TÉCNICAS, A. B. D. N. (1992). NBR 5413: **Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro.

TÉCNICAS, A. B. D. N. (2003). NBR 15215-1: **Iluminação Natural – Parte 1 – Conceitos e Definições**. Rio de Janeiro.

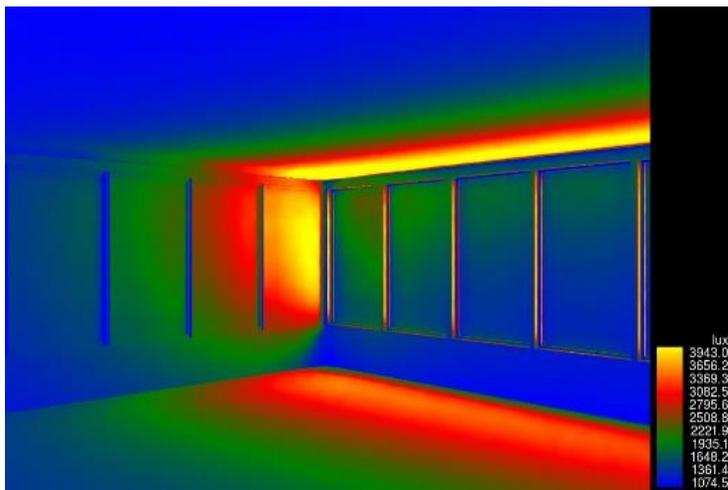
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA.(2014). Biblioteca Central. **Plano orientador Institucional e Político-Pedagógico**. Itabuna. Disponível

em:<http://ufsb.edu.br/wp-content/uploads/2015/05/Plano-Orientador-UFSB-Final1.pdf>
Acesso em: 25 nov. 2018.

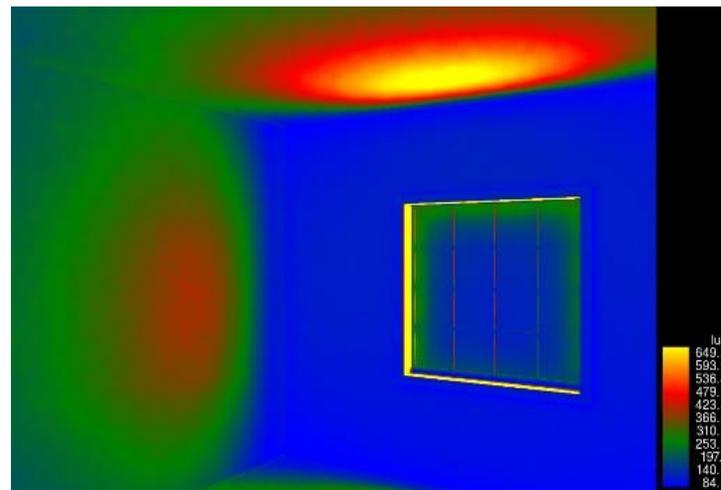
VERSAGE, R. D. S. (2009). **Ventilação natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande**, MS. Dissertação de Mestrado.

VETTORAZZI, E., RUSSI, M., & SANTOS, J. C. (2010). **A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar**. *Porto Alegre*. Congresso internacional de Sustentabilidade Habitação e Interesse Socia.

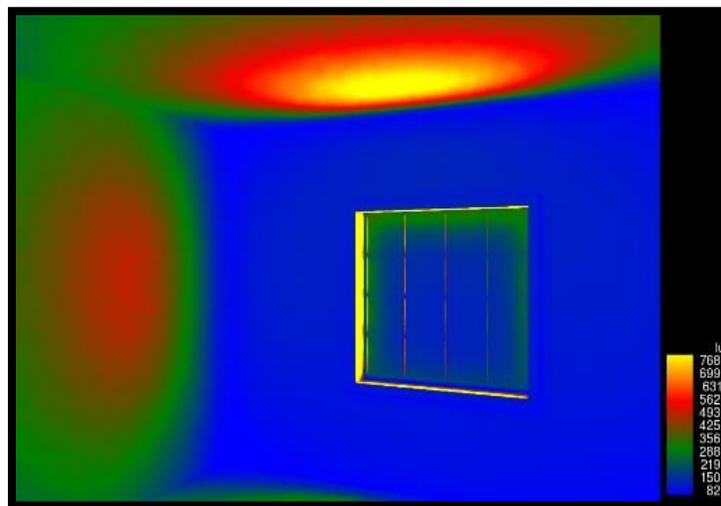
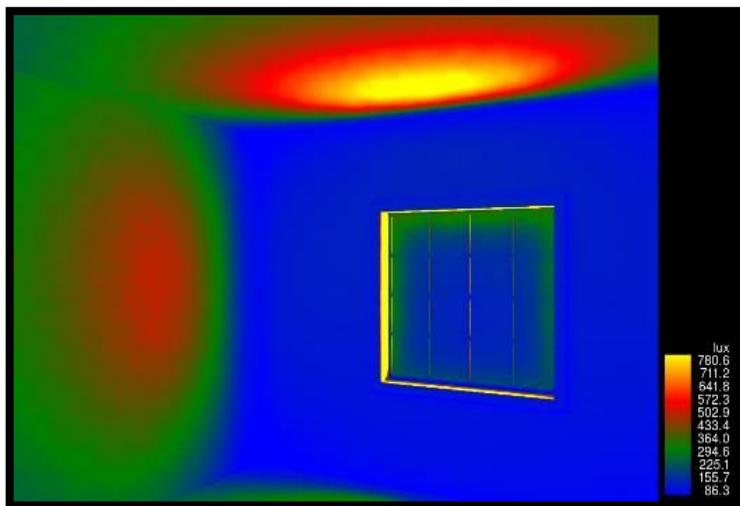
ANEXO A – ANÁLISES DE ILUMINÂNCIA MODELO ORIGINAL



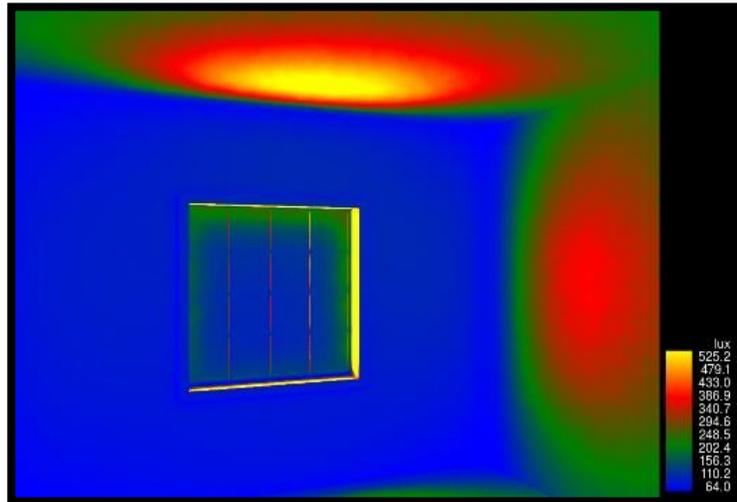
CFCAm



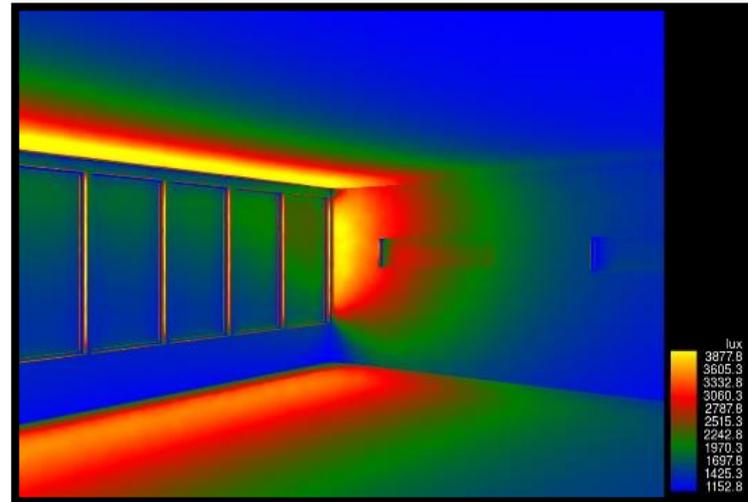
Acadêmica 01



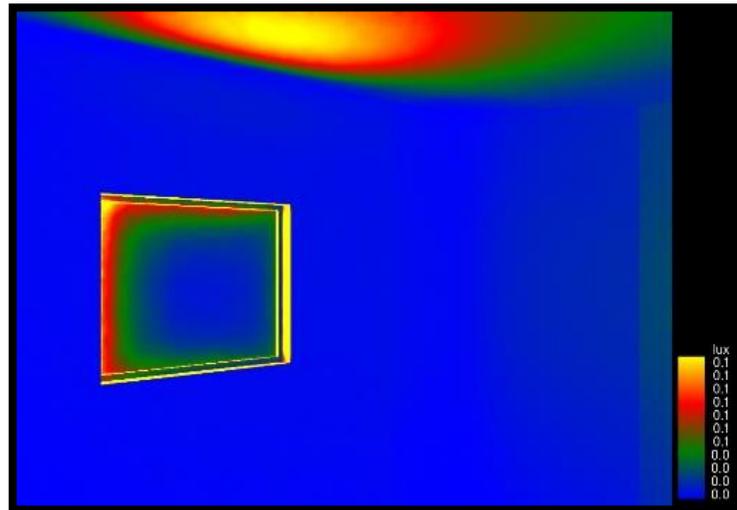
Acadêmica 02



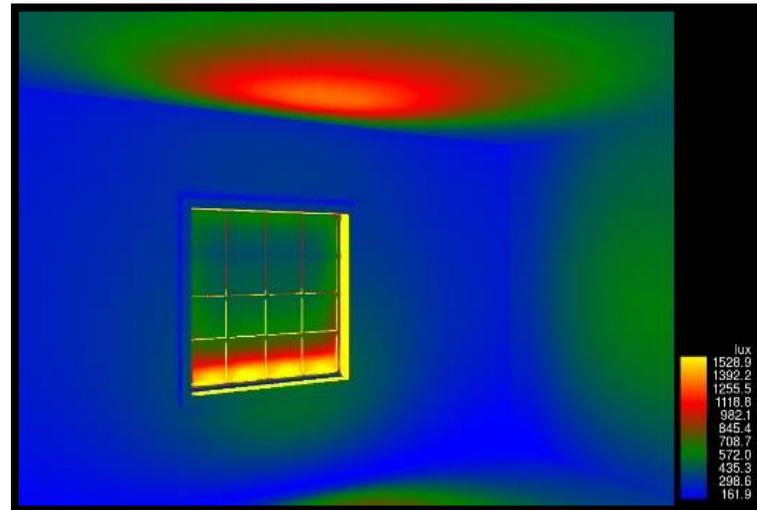
Artes



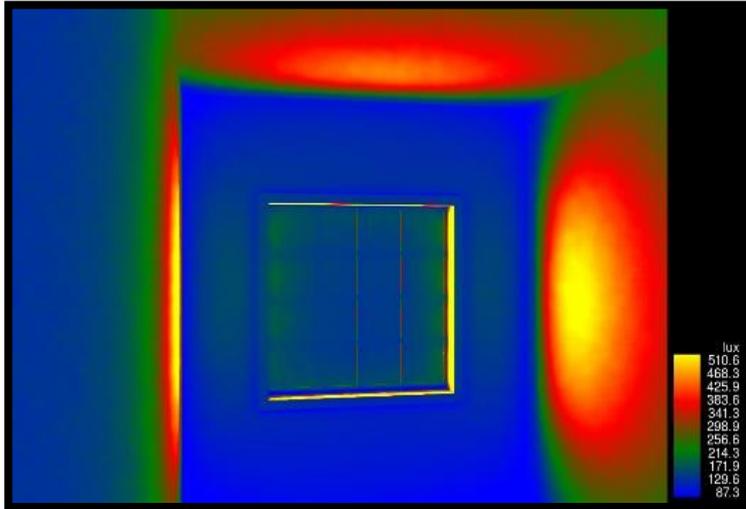
TI



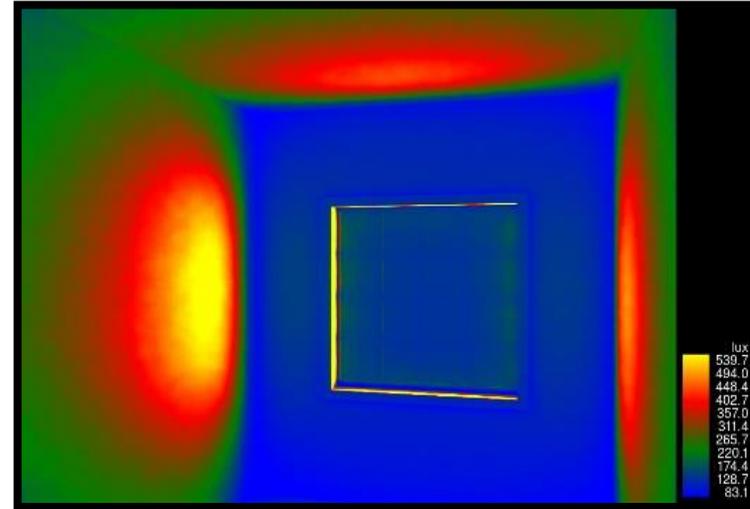
Docentes



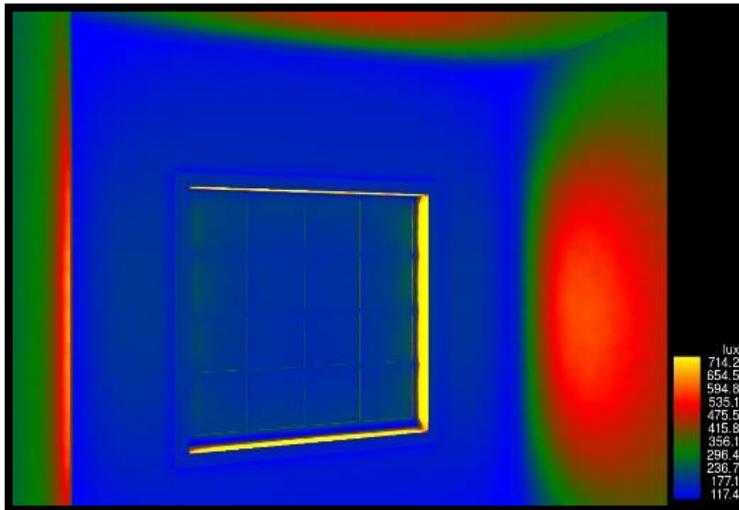
Coordenação



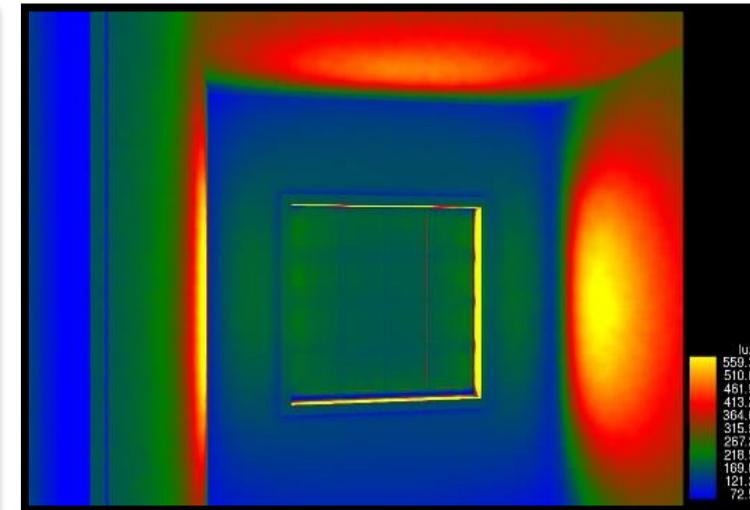
Administração



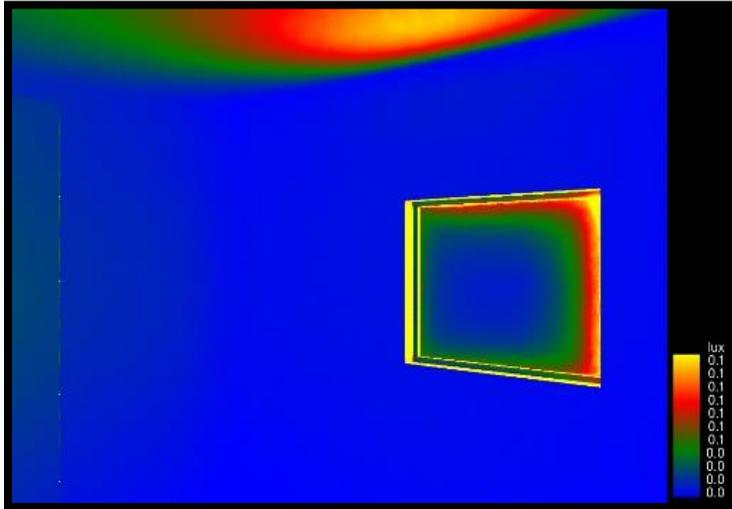
Decano 01



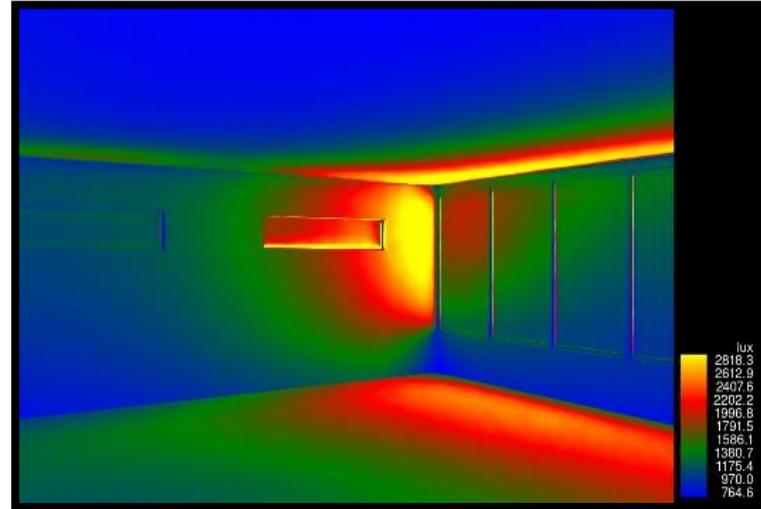
Decano 02



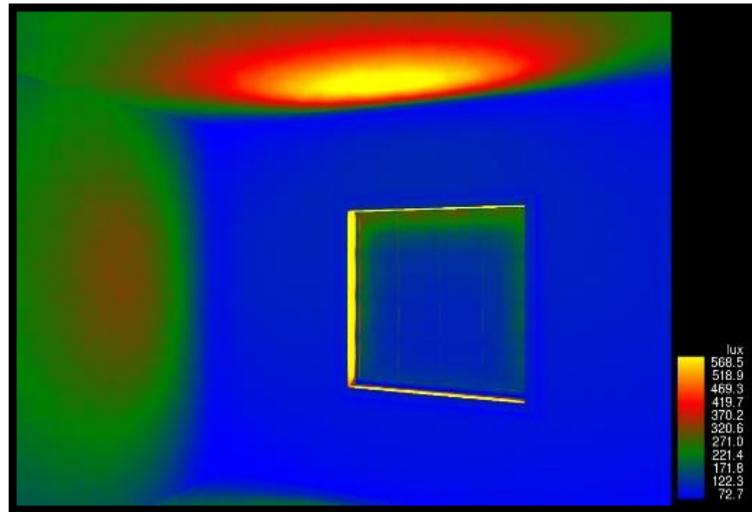
Decano 03



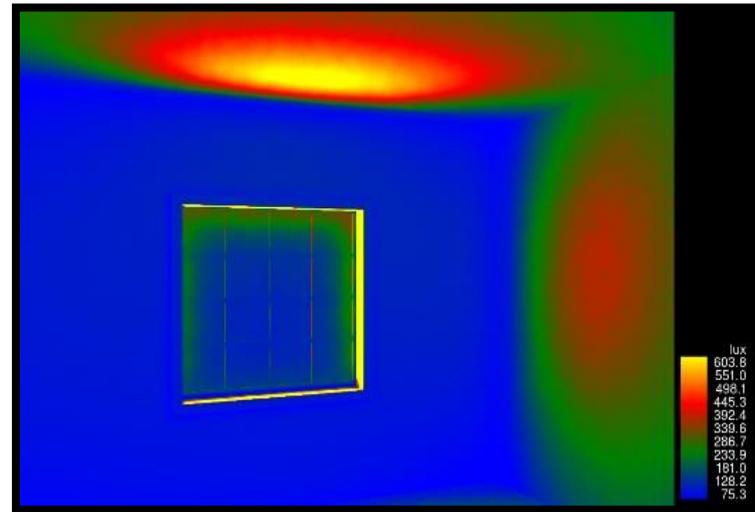
Decano 04



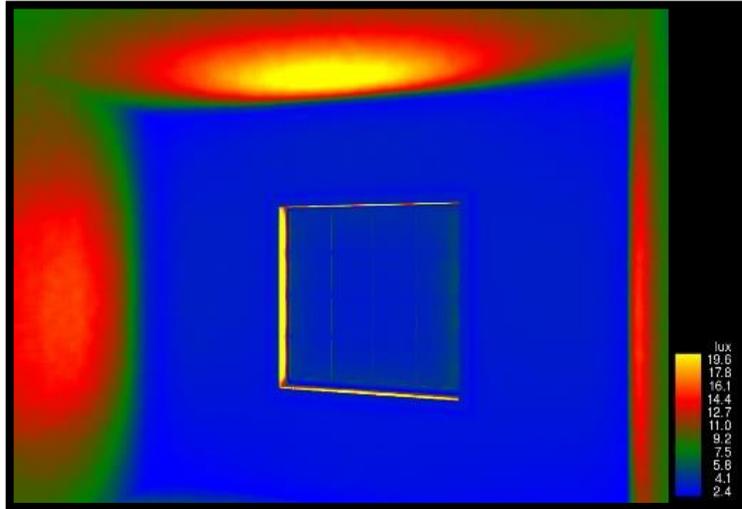
Executiva



CFIHAC

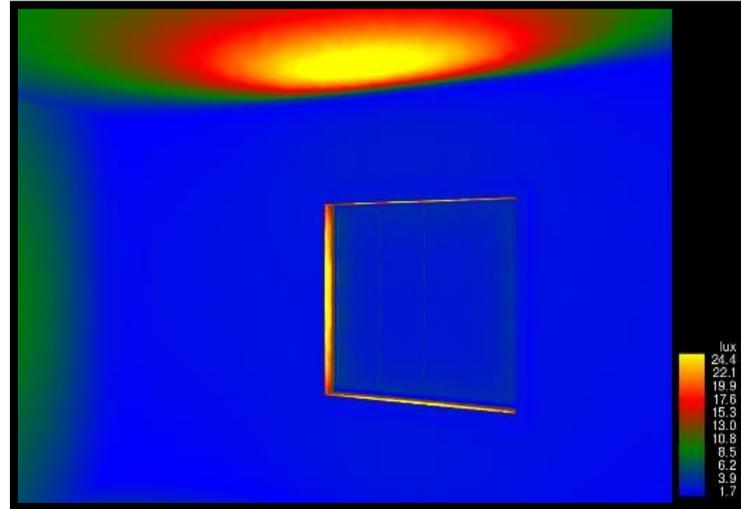


Saúde



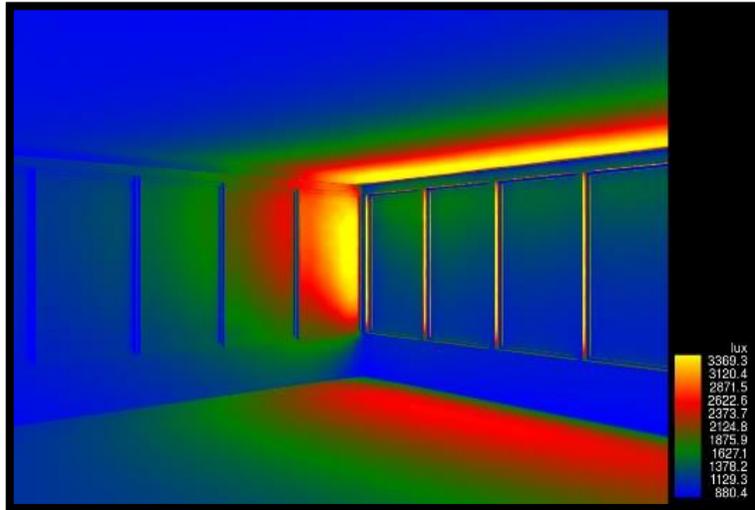
PPGs

Reuniões

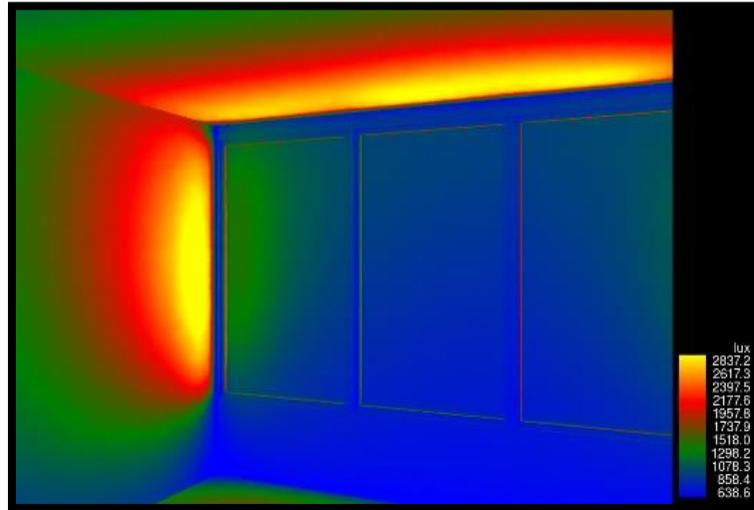


Protic

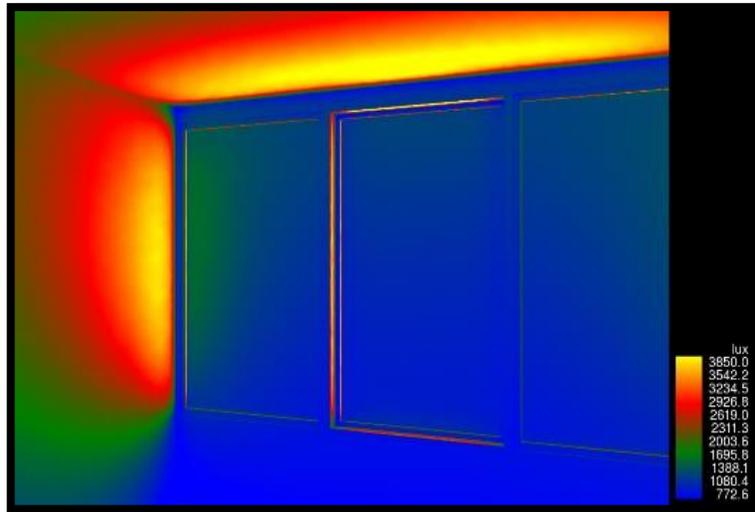
ANEXO B – ANÁLISES DE ILUMINÂNCIA MODELO EFICIENTE



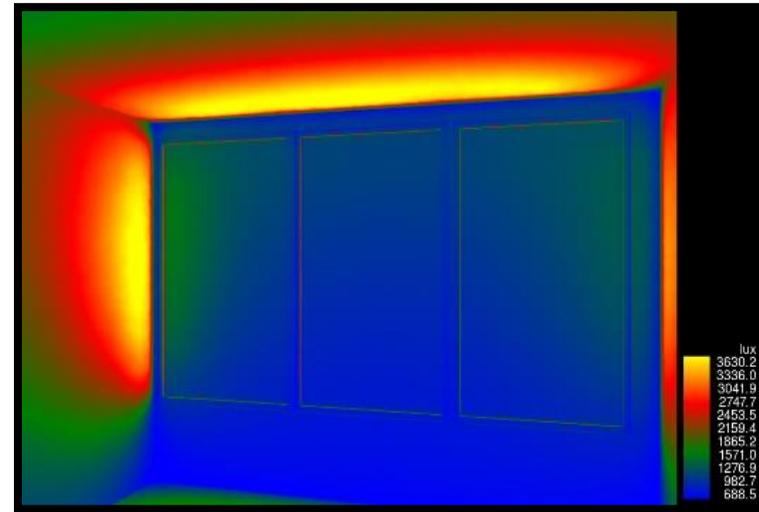
CFCAM



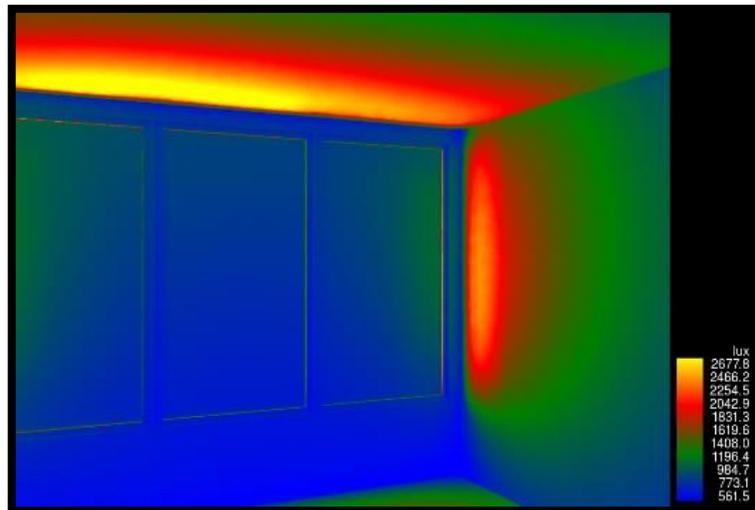
Acadêmica 01



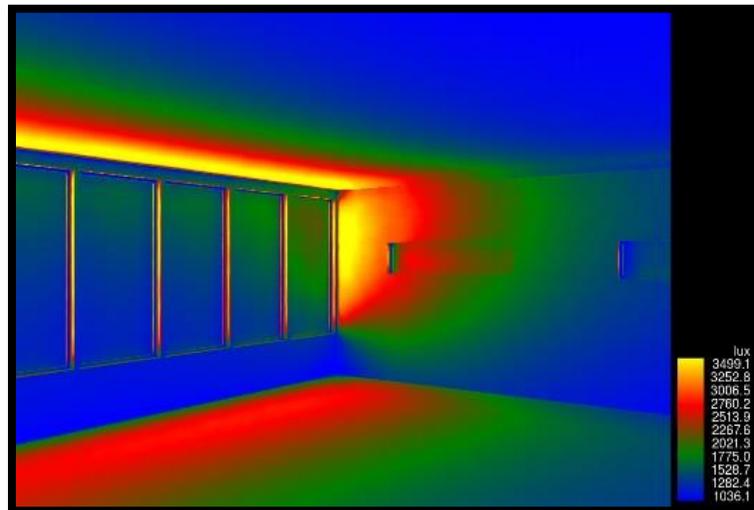
Acadêmica



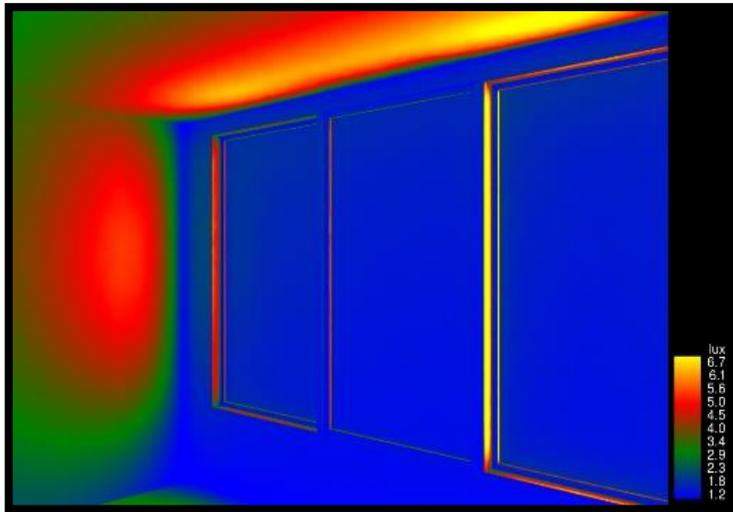
Artes



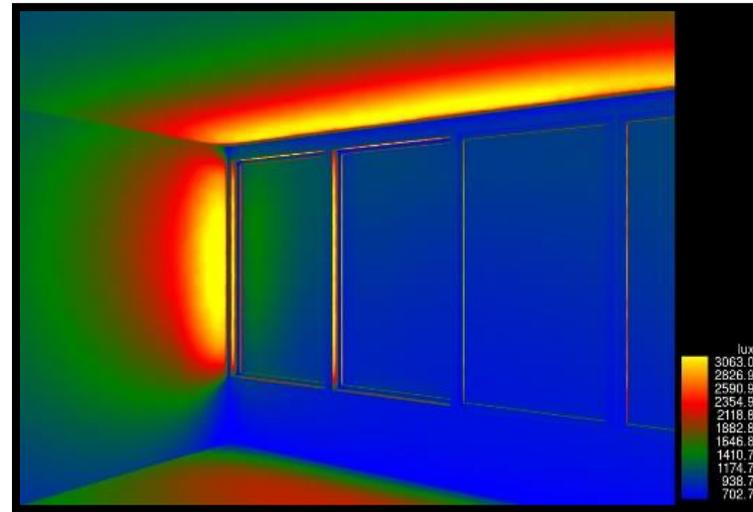
TI



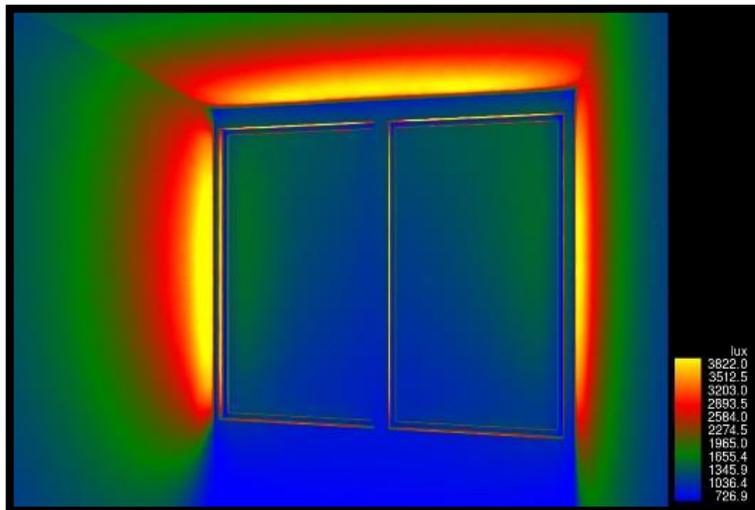
CFArtes



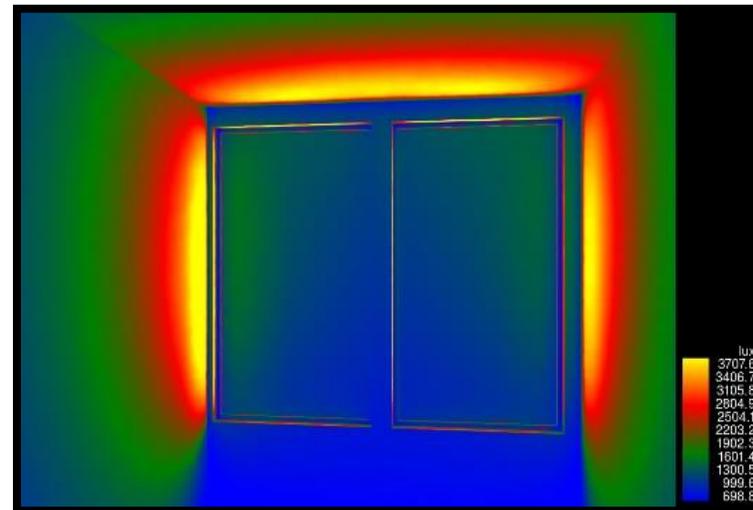
Coordenação



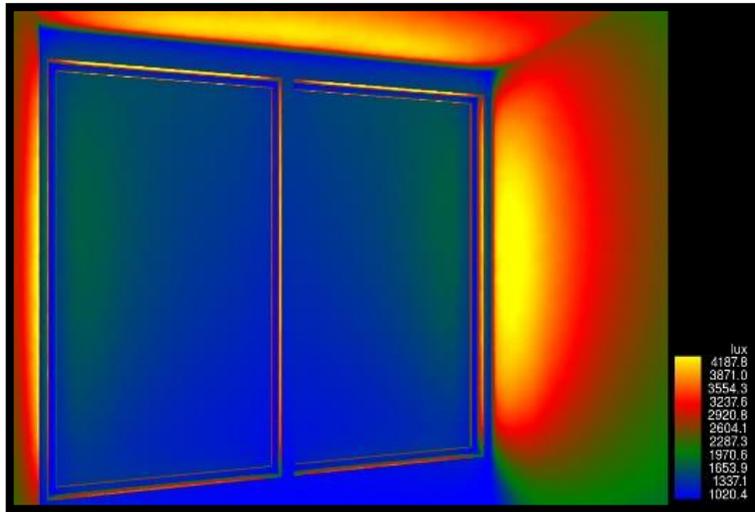
Administração



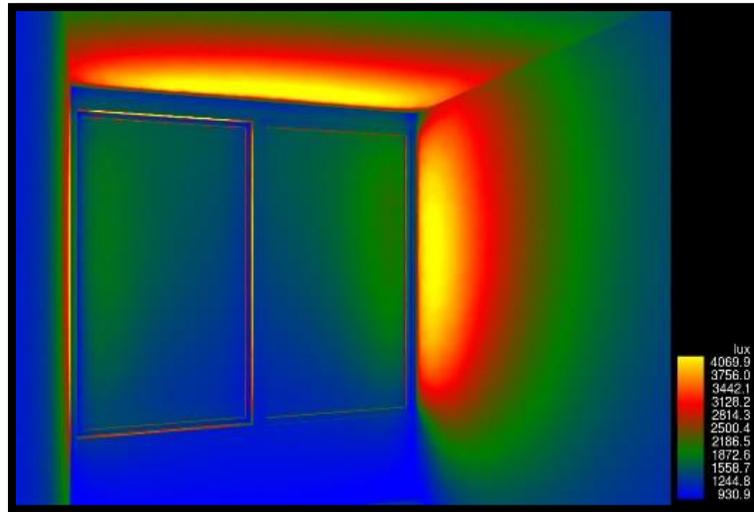
Decano 01



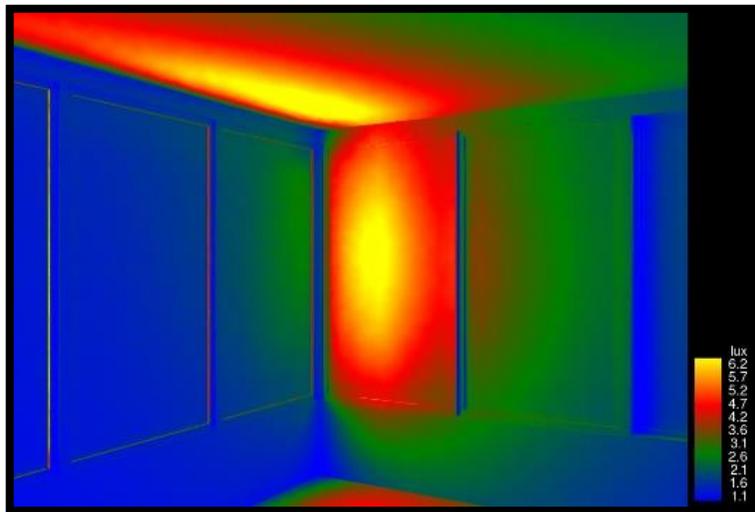
Decano 02



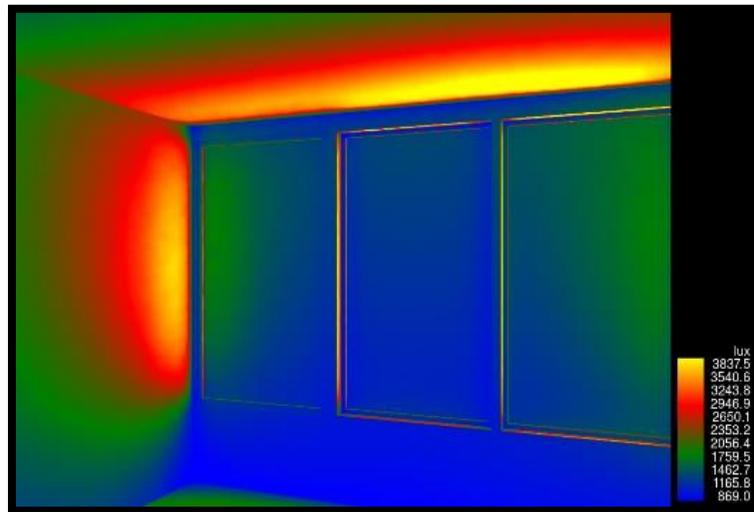
Decano 03



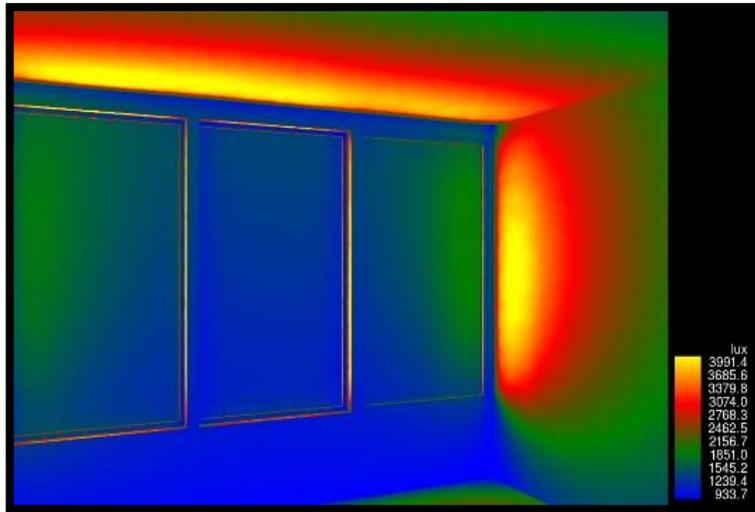
Decano 04



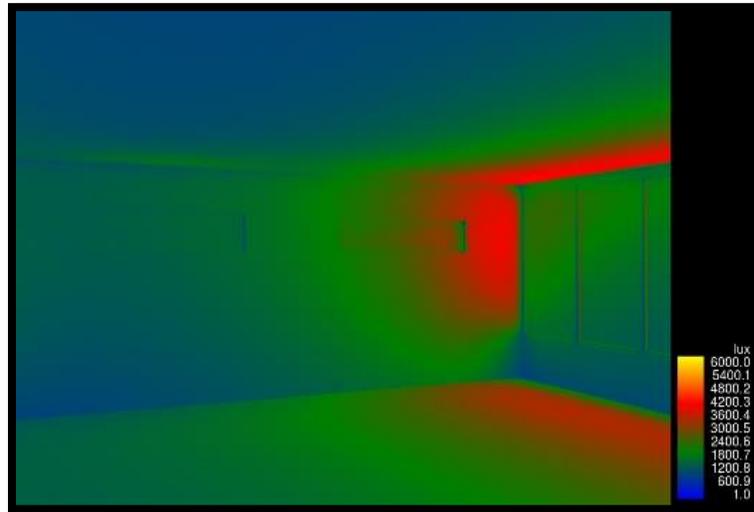
Executiva



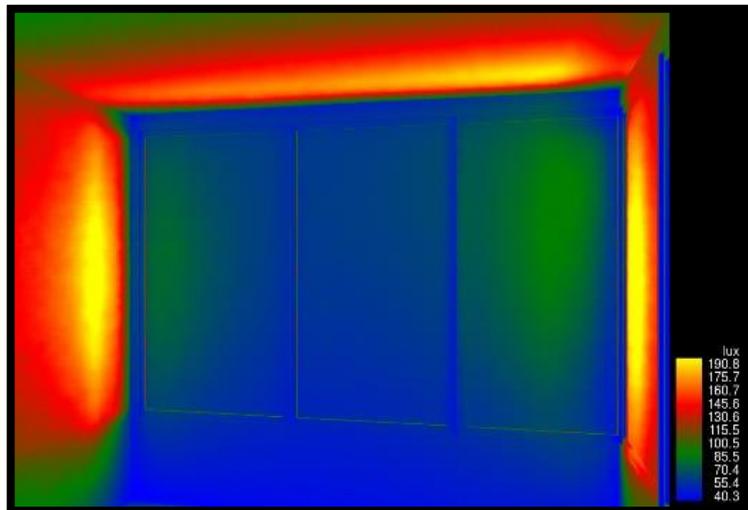
Saúde



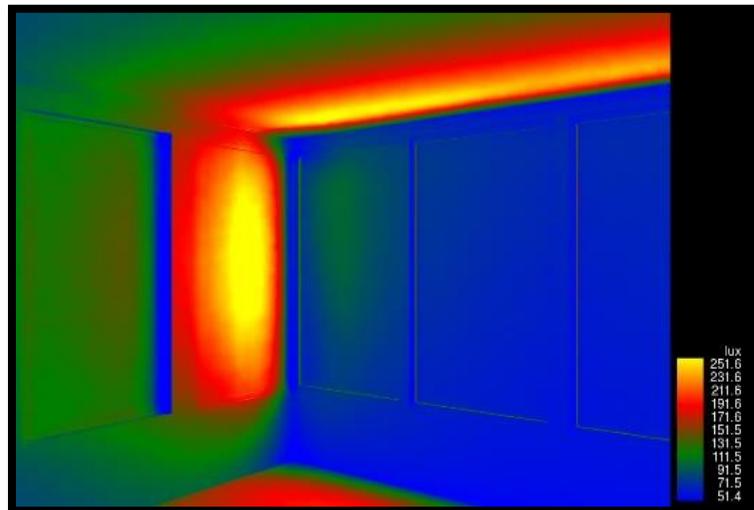
Reuniões



CFHIAC



PPGs

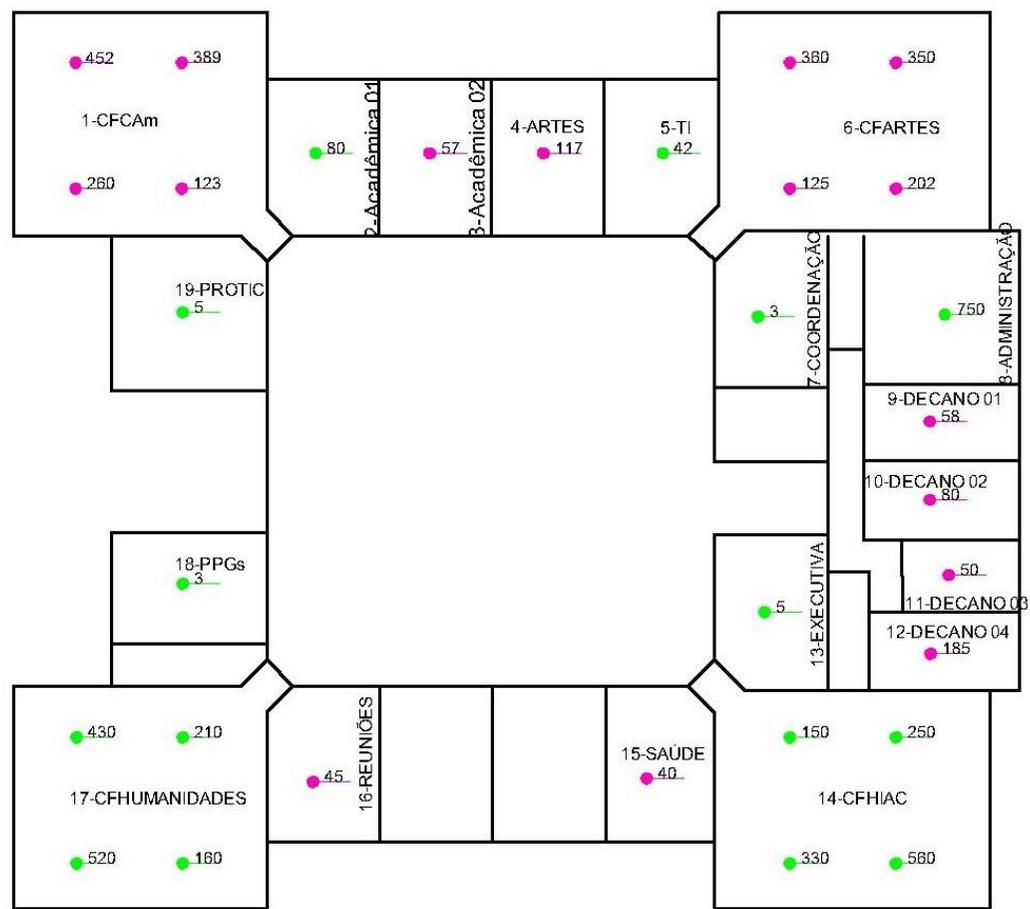


Protic

ANEXO C – ORÇAMENTO SINTÉTICO DAS ESTRATÉGIAS VIÁVEIS

	Descrição do item	und	quant.	Custo unit.	Custo total
	Estratégia B (Substituição de esquadrias) - Modelo Eficiente				R\$ 25.399,73
97622/SINAPI	Demolição de alvenaria de bloco furado, de forma manual, sem reaproveitamento.	m ²	82,78	R\$ 36,14	R\$ 2.991,67
97645/SINAPI	Remoção de janelas, de forma manual, sem reaproveitamento. af_12/2017	m ²	21,97	R\$ 17,35	R\$ 381,18
03256/ORSE	Arestamento de vãos	m ²	99,76	R\$ 10,91	R\$ 1.088,40
94573/SINAPI	Janela de alumínio de correr, 4 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. af_07/2016	m ²	104,75	R\$ 199,89	R\$ 20.938,48
	Estratégia B (Substituição de esquadrias) - Modelo Eficiente Viável				R\$ 17.516,29
97622/SINAPI	Demolição de alvenaria de bloco furado, de forma manual, sem reaproveitamento. af_12/2017	m ²	26,98	R\$ 36,14	R\$ 975,06
97645/SINAPI	Remoção de janelas, de forma manual, sem reaproveitamento. af_12/2017	m ²	21,97	R\$ 17,35	R\$ 381,18
03256/ORSE	Arestamento de vãos	m ²	73,19	R\$ 10,91	R\$ 798,51
94573/SINAPI	Janela de alumínio de correr, 4 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros,	m ²	76,85	R\$ 199,89	R\$ 15.361,55
	Estratégia C (Chaminé)				R\$ 64.102,20
00030/ORSE	Demolição de madeiramento em coberturas com telhas cerâmicas	m ²	380,00	R\$ 18,62	R\$ 7.075,60
12510/ORSE	Estrutura metálica para cobertura	m ²	380,00	R\$ 124,62	R\$ 47.355,60
94201/SINAPI	Telhamento com telha cerâmica capa-canal, tipo colonial, com até 2 águas, incluso	m ²	380,00	R\$ 25,45	R\$ 9.671,00
	Estratégia E (Sombreamento)				R\$ 7.877,52
09370/ORSE	Placa cimentícia e =8mm, dimensões: 1,20x2,00m, para fechamento da fachada, fixada em estrutura metélica (fornecimento e assentamento)	m ²	126,00	R\$ 62,52	R\$ 7.877,52

ANEXO D – PONTOS AFERIDOS COM LUXÍMETRO



● AFERIÇÕES EM 14/12/2018 ÀS 15:30

● AFERIÇÕES EM 15/12/2018 ÀS 11:30

ANEXO E – ESTIMATIVA DE CONSUMO DO PRÉDIO ORIGINAL

cod.	Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Demanda	Hora/dia	dias/ano	Consumo anual
cod.01	Desktop Dell	116	300	60,00%	12	241	60384,96
cod.02	Luminária de calha LED 2x20 w	88	40	45,00%	12	241	4580,93
cod.03	Ar condicionado Carrier 48000 BTU	3	4640	45,00%	12	241	18115,49
cod.04	Impressora Brother MFC - 89520w	4	300	1,00%	12	241	34,70
cod.05	Ar condicionado Midea 22000 BTU (Inverter)	6	1919	45,00%	12	241	14984,32
cod.06	Ar condicionado Midea 22000 BTU	6	1990	45,00%	12	241	15538,72
cod.07	Lâmpada compacta 25 w	18	25	20,00%	12	241	260,28
cod.08	Ar condicionado Carrier 9000 BTU (Inverter)	3	814	67,00%	12	241	4731,72
cod.09	Bebedouro	2	90	20,00%	12	241	104,11
cod.10	Microondas	1	2000	1,00%	12	241	57,84
cod.11	Exaustor 20 w	2	20	20,00%	12	241	23,14
cod.12	Televisor 50" LG	2	135	5,00%	12	241	39,04
cod.13	Refletor Led 50 W	1	50	33,00%	12	241	47,72
cod.14	Refletor Led 30 W	8	30	33,00%	12	241	229,05
cod.15	Ar condicionado Fujitsu 48000 BTU (Inverter)	1	4690	45,00%	12	241	6103,57
cod.16	Frigobar	1	80	30,00%	12	241	69,41
Total							125304,98

