

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS KÖRBES BRACHT

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO COM FOCO
EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO BIM**

FLORIANÓPOLIS

2016

MATHEUS KÖRBES BRACHT

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO COM FOCO
EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, Dr.

FLORIANÓPOLIS

2016

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

Bracht, Matheus Körbes

Estudo de alternativas de projeto com foco em
eficiência energética utilizando BIM / Matheus Körbes
Bracht ; orientador, Roberto Lamberts - Florianópolis, SC,
2016.

85 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Processo de projeto. 3. BIM. 4.
Eficiência energética. I. Lamberts, Roberto. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

MATHEUS KÖRBES BRACHT

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO COM FOCO
EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO BIM**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de julho de 2016.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Jarbas Macedo Lorenzini, Me.
Portal Engenharia Ltda

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, Ivo Jose Bracht e Juliane Körbes Bracht, e minha irmã, Martina Körbes Bracht, por todo companheirismo, ensinamentos e histórias. Vocês são tudo o que tenho de melhor.

À toda minha imensa família pelas grosserias caricatas, apoio e exemplos que sempre me inspiram.

Aos amigos da Engenharia Civil que me acompanharam por 6 longos anos em alguns aprendizados de engenharia e vários de vida. Que possamos continuar resolvendo os grandes problemas da humanidade em conversas de bar.

Aos meus amigos e colegas do PET/ECV, em especial ao professor Cláudio Cesar Zimmermann, que me acolheram no meu primeiro lar em Florianópolis.

Ao professor Roberto Lamberts, o qual eu tive o privilégio de ter como orientador.

Aos colegas da Portal Engenharia que deram abertura e ouvidos às minhas ideias e que tanto contribuem para o meu amadurecimento.

A todos os amigos que colecionei no meu intercâmbio na Alemanha, os quais levarei para sempre entre minhas mais marcantes memórias.

Aos amigos do Colégio Sagrada Família por me fazerem acreditar no valor das grandes amizades e das piadas eternas.

Aos rapazes da SUM, por serem mais quatro irmãos que a vida me deu a oportunidade de ter.

E finalmente, à minha namorada, Aline Kirsten Vidal de Oliveira, pela cumplicidade, aprendizados e crescimento nesses anos incríveis juntos.

RESUMO

Building Information Models (BIM) em conjunto com simulações energéticas nas etapas iniciais de projeto apresentam uma oportunidade valiosa para ganhos significativos na qualidade das nossas construções. Entretanto, há hoje o desafio de entender quais são as possibilidades que as ferramentas BIM atuais nos fornecem e quais são as mudanças trazidas para o processo de projeto. Esse trabalho objetiva, portanto, analisar o potencial dos *Building Information Models* para a realização de análise de desempenho energético ao longo do processo de projeto de forma iterativa e incremental. Para atingir tal objetivo, três alternativas de volumetria foram modeladas com ferramentas BIM. Tais volumes foram simulados utilizando *softwares* integrados de análise energética, os resultados das simulações foram analisados e a alternativa mais eficiente foi escolhida. Houve, em seguida, uma inserção de maiores informações geométricas e semânticas na alternativa escolhida, simulando um processo de projeto incremental e resultando em análises desse processo. Pode-se concluir que a possibilidade de realizar análises, dimensionamentos e tomadas de decisão nas etapas iniciais de projeto surgem como um novo paradigma para a construção civil, aumentando a produtividade dos projetistas, diminuindo drasticamente o retrabalho, facilitando o processo de decisão embasado de soluções de arquitetura e engenharia e, assim sendo, contribuindo para o surgimento de edificações mais sustentáveis e eficientes. Entretanto, deve-se atentar para falhas nos *softwares* existentes de simulação e para novos complicadores no processo de projeto. Essas mudanças exigirão novas responsabilidades para os projetistas, para a equipe de coordenação do projeto e para o executor, além de novos conhecimentos para o cliente, exigindo assim novos estudos e experiências práticas.

Palavras-chave: BIM; eficiência energética; simulação energética; processo de projeto.

ABSTRACT

Building Information Models (BIM) together with energy simulations in the early stages of design present a valuable opportunity for significant gains in the quality of our buildings. However, there is the challenge to understand what are the possibilities that current BIM tools provide us and which changes are brought into the design process. This work aims therefore to analyze the potential of Building Information Models for conducting energy performance analysis throughout an iterative and incremental design process. To achieve this goal, three alternatives of volumes were modeled with BIM tools. These volumes were simulated using integrated software for energy analysis, the simulation results were analyzed and the most efficient alternative was chosen. Then more geometrical and semantic information were inserted on the alternative chosen, simulating an incremental process design analysis and enabling an analysis of this process. It could be concluded that the possibility of analysis, sizing and decision-making in the early stages of design emerge as a new paradigm for the construction, increasing the productivity of designers, dramatically reducing rework, facilitating grounded decision for architecture and engineering solutions and, thus, contributing to the emergence of more sustainable and efficient buildings. However, it is important to pay attention to flaws in existing software simulation and new complicating factors in the design process. These changes require new responsibilities for designers, for the project coordination team and for the constructor, besides new knowledges to the customer, consequently requiring new studies and practical experience.

Keywords: BIM; energy efficiency; energy simulations; design process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produtividade relativa da mão-de-obra na construção e na indústria.....	14
Figura 2 – Gráfico representando o esforço despendido e o efeito causado em várias fases de projeto.....	20
Figura 3 – Modelo de LOD 100 e as informações de área e volume associadas.....	22
Figura 4 – Modelo de LOD 200 e quantitativos relacionados.....	22
Figura 5 – Modelo de LOD 300 com quantitativo de materiais.....	23
Figura 6 – Modelo de LOD 400 com os detalhes bidimensionais.....	23
Figura 7 – Modelo de LOD 500 com informações para operação e manutenção	24
Figura 8 – Evolução do impacto das decisões no processo de projeto.....	29
Figura 9 – Modelagem de forma volume simples.....	36
Figura 10 – Volumetria com os pisos de massa criados.	37
Figura 11 – Painel de propriedades contendo informações do modelo de massa. ...	38
Figura 12 – Nova volumetria com a área bruta de pisos almejada.....	39
Figura 13 – Proposições de volumetria básica escolhidas.....	39
Figura 14 – Configuração de energia com os valores padrões do <i>software</i>	41
Figura 15 – Ocupação padrão para escritório.	42
Figura 16 – Uso padrão dos equipamentos para escritório.....	43
Figura 17 – Parâmetro construções conceituais.	45
Figura 18 – Brises criados automaticamente pelo <i>Autodesk Revit</i>	46
Figura 19 – Painel de “configurações de energia” com os valores adotados.	48
Figura 20 – Modelos para análise energética.....	49
Figura 21 – Estudo de insolação para o inverno da alternativa 1.....	50
Figura 22 – Aba “Análise de energia” do <i>Autodesk Revit</i>	51
Figura 23 – Janela “Executar a simulação de energia” do <i>Autodesk Revit</i>	51
Figura 24 – Alerta do <i>Autodesk Revit</i>	52
Figura 25 – Gráfico das cargas mensais de aquecimento da alternativa 3.	53
Figura 26 – Gráfico das cargas mensais de resfriamento da alternativa 3.....	54
Figura 27 – Consumo mensal de eletricidade da alternativa 3.....	55
Figura 28 – Consumo mensal de combustível da alternativa 3.....	55
Figura 29 – Potencial de geração limpa da alternativa 3.....	56
Figura 30 – Comparação das análises de energia.	56
Figura 31 – Interface do <i>Green Building Studio</i> com os resultados das simulações.	58

Figura 32 – Volumetria com elementos construtivos básicos.....	59
Figura 33 – Navegador de materiais com as propriedades térmicas em destaque...60	60
Figura 34 – Parede exemplo com suas propriedades térmicas.	61
Figura 35 – Espaços definidos no modelo.	62
Figura 36 – Cargas de aquecimento e resfriamento.	63
Figura 37 – Configurações de tipo de espaço.	64
Figura 38 – Configurações do tipo de construção.....	65
Figura 39 – Modelo com um maior nível de desenvolvimento.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de ocupação, uso e operação para tipo de construção escritório.	42
Tabela 2 – Propriedades térmicas das construções conceituais.....	45
Tabela 3 – Intensidade do consumo de eletricidade das alternativas de volumetria.	57
Tabela 4 – Intensidade do consumo de combustível das alternativas de volumetria.	57
Tabela 5 – Intensidade do consumo de energia das alternativas de volumetria.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BIM	Building Information Modelling
CAD	Computer Aided Design
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GBS	Green Building Studio
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
IES	Integrated Environmental Solution Limited
IFC	Industry Foundation Class
LOD	Level of Development
TMY	Typical Meteorological Year
WWR	Window-to-Wall Ratio
XML	eXtensible Markup Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVAS	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 LIMITAÇÕES	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING	17
2.1.1 Conceitos básicos	17
2.1.2 Benefícios	18
2.1.3 Mudanças no processo de projeto	19
<i>2.1.3.1 Level of Development – LOD</i>	<i>21</i>
2.1.4 Interoperabilidade	24
<i>2.1.4.1 buildingSMART e o IFC</i>	<i>25</i>
<i>2.1.4.2 gbXML</i>	<i>25</i>
2.1.5 Softwares para criação de modelos	26
<i>2.1.5.1 Autodesk Revit</i>	<i>26</i>
<i>2.1.5.2 ArchiCAD</i>	<i>27</i>
<i>2.1.5.3 AECOSim</i>	<i>27</i>
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	27
2.2.1 Crescimento da demanda por maior eficiência nas edificações	28
2.2.2 Simulação energética	29
<i>2.2.2.1 EnergyPlus</i>	<i>30</i>
<i>2.2.2.2 IES Virtual Environment</i>	<i>31</i>
<i>2.2.2.3 Green Building Studio</i>	<i>31</i>
<i>2.2.2.4 Insight 360</i>	<i>31</i>
<i>2.2.2.5 AECOSim Energy Simulation</i>	<i>32</i>
2.2.3 Relação entre BIM e simulações energéticas	32
3 METODOLOGIA DE TRABALHO	33
3.1 ESTUDO DE VOLUMETRIA	33
3.1.1 Modelagem geométrica do volume	33
3.1.2 Criação do modelo para análise energética	34

3.1.3 Simulação e análise energética da volumetria	34
3.1.4 Otimização da alternativa escolhida	35
3.2 ESTUDO COM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	35
4 RESULTADOS.....	36
4.1 ESTUDO DE VOLUMETRIA	36
4.1.1 Modelagem geométrica do volume	36
4.1.2 Criação do modelo para análise energética	40
4.1.3 Simulação e análise energética da volumetria	49
4.1.4 Otimização da alternativa escolhida	57
4.2 ESTUDO COM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.....	59
5 CONCLUSÕES	67
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXO A – Valores fornecidos pela Autodesk	73
APÊNDICE A	76

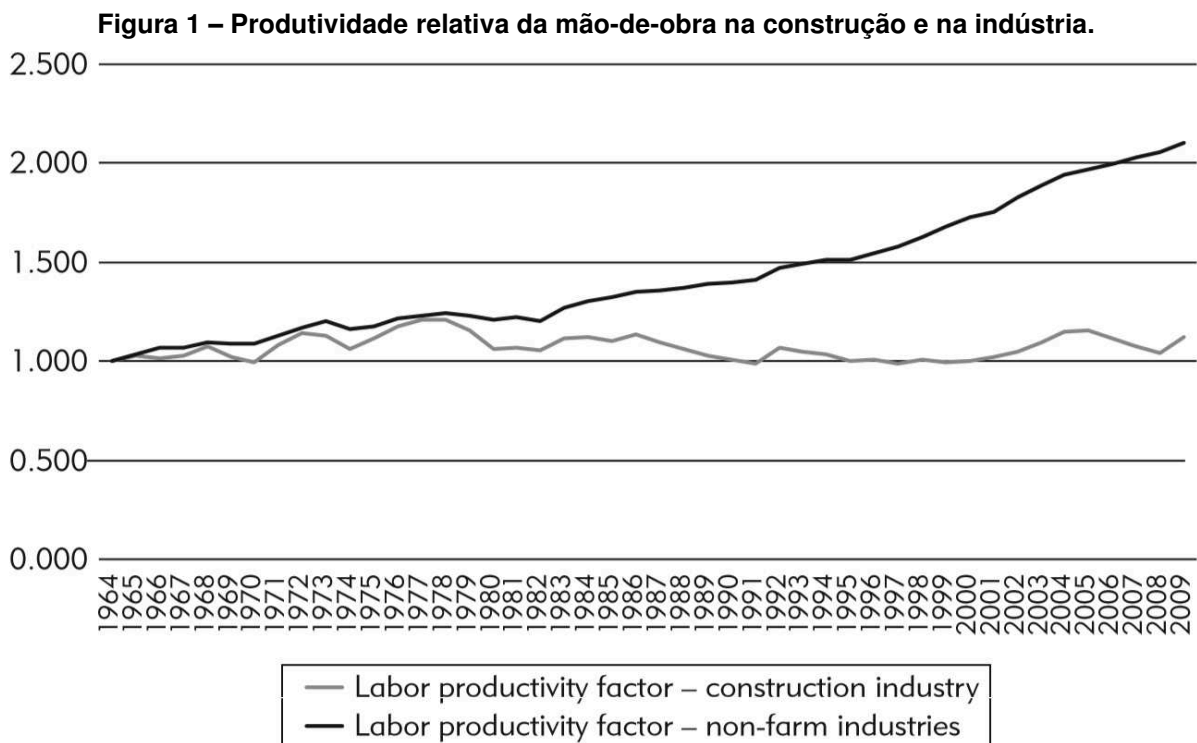
1 INTRODUÇÃO

Os *Building Information Models* (BIM) apresentam uma oportunidade valiosa para a avaliação e simulação preliminares dos projetos podendo trazer ganhos significativos na qualidade das nossas construções.

Tais possibilidades aliadas com a análise da eficiência energética de modelos nas etapas iniciais de projeto podem criar edificações mais otimizadas desde sua concepção. Entretanto, há hoje o desafio de entender quais são as possibilidades que as ferramentas BIM atuais nos fornecem e quais são as mudanças trazidas para o processo de projeto.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Temos na construção civil um desafio de ganho de produtividade. Como podemos ver na Figura 1, a produtividade do setor está estável há mais de 4 décadas, enquanto outras indústrias mais que dobraram a sua.



Fonte: Extraído de Eastman (2011).

Incoerências entre projetado e executado, retrabalho excessivo, subutilização da capacidade computacional atual, projetos não otimizados gerando construções ineficientes, são todos fatores que contribuem para esse cenário de estagnação. Uma nova realidade de projeto e de execução, e de todo ciclo de vida da construção na realidade, como o *Building Information Modelling* (BIM) pode mudar nossas perspectivas a respeito do setor (EASTMAN et al., 2011).

Concomitantemente, devido a crises do petróleo e a incertezas de abastecimento de energia, vivemos um período em que a eficiência energética de nossas edificações está em evidência. Dessa forma, simulações e análises energéticas nas fases iniciais projeto são cada vez mais indispensáveis (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

Tradicionalmente, entretanto, a grande maioria das simulações e análises energéticas são realizadas apenas em fases finais de projeto. Nessa etapa, o foco recai no sistema de ar condicionado ou de iluminação que irá suportar as condições da volumetria, e um enfoque em alternativas de *design* mais eficientes nas fases iniciais de projeto normalmente não é realizado. Isso ocorre devido à dificuldade e complexidade da modelagem da edificação e dos seus sistemas para a realização das análises. As ferramentas presentes em um processo BIM surgem, portanto, como uma oportunidade de mudar esse cenário, trazendo a realização das análises para fases mais iniciais de projeto onde poderão impactar ao máximo na eficiência da edificação (STUMPF; KIM; JENICEK, 2009).

Este trabalho surge, conseqüentemente, do interesse de aprofundar o estudo a respeito das implicações que o BIM tem e terá nos processos de projeto, especificamente na realização de simulações energéticas e suas iterações, e seus possíveis ganhos nos aspectos de produtividade e de qualidade de projeto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o potencial dos *Building Information Models* para a realização de análise de desempenho energético ao longo do processo de projeto de forma iterativa e incremental.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Modelar alternativas conceituais de volumetria e desenvolver análises energéticas utilizando-as;
- b) Identificar as possibilidades que os *softwares* atuais fornecem para modelagem e realização de simulações energéticas;
- c) Realizar a escolha de uma das alternativas e realizar um processo incremental de inserção de informações apresentando as possibilidades que uma ferramenta BIM pode oferecer;
- d) Analisar qualitativamente o processo de modelagem, simulação e resultados.

1.3 LIMITAÇÕES

O trabalho demonstrará um processo simplificado de projeto, não levando em consideração demais condicionantes fora os aspectos de eficiência energética. Não será realizado nenhuma espécie de cálculo ou análise para determinação do *Level of Development* (LOD), aspectos relacionados à interoperabilidade usando o formato IFC não serão profundamente estudados e não serão executadas determinações de valores de cargas térmicas para fins de dimensionamento de sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIM – BUILDING INFORMATION MODELLING

2.1.1 Conceitos básicos

A sigla BIM (*Building Information Modelling*) é entendida por diversos autores como uma metodologia de projeto (KRYGIEL & NIES, 2008) não devendo ser confundida com apenas um conjunto de *softwares*. Segundo EASTMAN et al. (2011) em seu *BIM Handbook*, ao longo de toda a história da arquitetura a representação dos edifícios foi feita por meio de simples desenhos e sua substituição por uma nova forma de representação alterará profundamente as ferramentas, os meios de comunicação e os processos de trabalho envolvidos.

Essa nova forma de representação consiste em um modelo tridimensional do projeto com todas as informações necessárias para dar suporte aos processos do ciclo de vida da construção, envolvendo seu planejamento, construção, operação e, finalmente, demolição ou reforma (KYMMELL, 2008).

EASTMAN et al. (2011) caracteriza os modelos gerados num processo BIM como um conjunto de objetos que formam a edificação representados digitalmente, apresentando ao mesmo tempo informações geométricas e semânticas sobre o seu desempenho, custo, origem, entre outras. Define ainda que os objetos devem seguir regras paramétricas, possibilitando a sua manipulação geométrica de forma inteligente.

Todas essas características fazem com que os objetos representados digitalmente “saibam” o que são, como devem se comportar e como estão relacionados aos outros objetos (MANZIONE, 2013). Por exemplo, em um ambiente CAD uma porta em uma parede é apenas um conjunto de linhas representando os objetos, já em um modelo BIM o *software* entenderá que a porta é formada por certos materiais e que ela está inserida na parede, criando assim uma relação com seu hospedeiro. Se deletarmos a parede não fará mais sentido a porta continuar existindo, dessa forma, em um ambiente BIM, a porta também é deletada.

Podemos dividir ainda os conceitos de *Building Information Modelling* e *Building Information Models*. A GENERAL SERVICES ADMINISTRATION (2007) os distingue

entendendo que *Building Information Modelling* consiste no processo de desenvolvimento e uso de um modelo de informações, não apenas para documentar o projeto de uma edificação, mas também para simular as suas fases de construção e a operação. Já os *Building Information Models* são entendidos como o resultado desse processo.

UNDERWOOD & ISIKDAG (2010) *apud* MANZIONE (2013) identificaram as principais características dos *Building Information Models* como:

- a) Orientados a objetos: os modelos são definidos em um ambiente orientado a objeto;
- b) Ricos em dados e abrangentes: os modelos cobrem e mantem todas as características físicas/funcionais e estados dos elementos construtivos;
- c) Tridimensionais: os modelos sempre representam a geometria da construção em três dimensões;
- d) Relacionados espacialmente: as relações espaciais entre elementos construtivos são mantidas nos modelos BIM de maneira hierárquica;
- e) Semanticamente ricos: os modelos mantem uma grande quantidade de informação semântica e funcional sobre os elementos construtivos;
- f) Possibilidade de geração de vistas: as vistas do modelo são subconjuntos ou instantâneos do modelo que podem ser gerados a partir da base de informações do modelo. As vistas podem ser criadas automaticamente segundo as necessidades do usuário.

2.1.2 Benefícios

Os benefícios da utilização do processo BIM são diversos e variam conforme a fase de desenvolvimento em que a edificação se encontra. Nesse trabalho será dado enfoque para as etapas de concepção inicial e de projeto. Dessa forma, EASTMAN et al. (2011) elege algumas formas que um *Building Information Model* pode auxiliar nessas fases:

- a) Concepção inicial: permite visualizações, simulações e estimativas prévias com a criação de um modelo esquemático antes da geração de um modelo detalhado. Tal modelo pode ser colaborativo, promovendo ajustes mais precisos e inteligentes com participação das diversas disciplinas de projeto aumentando a performance e qualidade da edificação;
- b) Projeto: possibilita visualizações mais precisas e prévias do projeto. Mudanças de projeto são atualizadas automaticamente em todas as vistas, diminuindo o retrabalho e conferindo maior agilidade. Verificação facilitada de incongruências projetuais e extração de quantitativos precisa para estimativas de custo no decorrer do desenvolvimento do projeto. Possibilidade de realização de várias simulações energéticas no decorrer do projeto.

KRYGIEL & KIES (2008) elencam ainda três benefícios básicos ao modelarmos a construção num ambiente BIM:

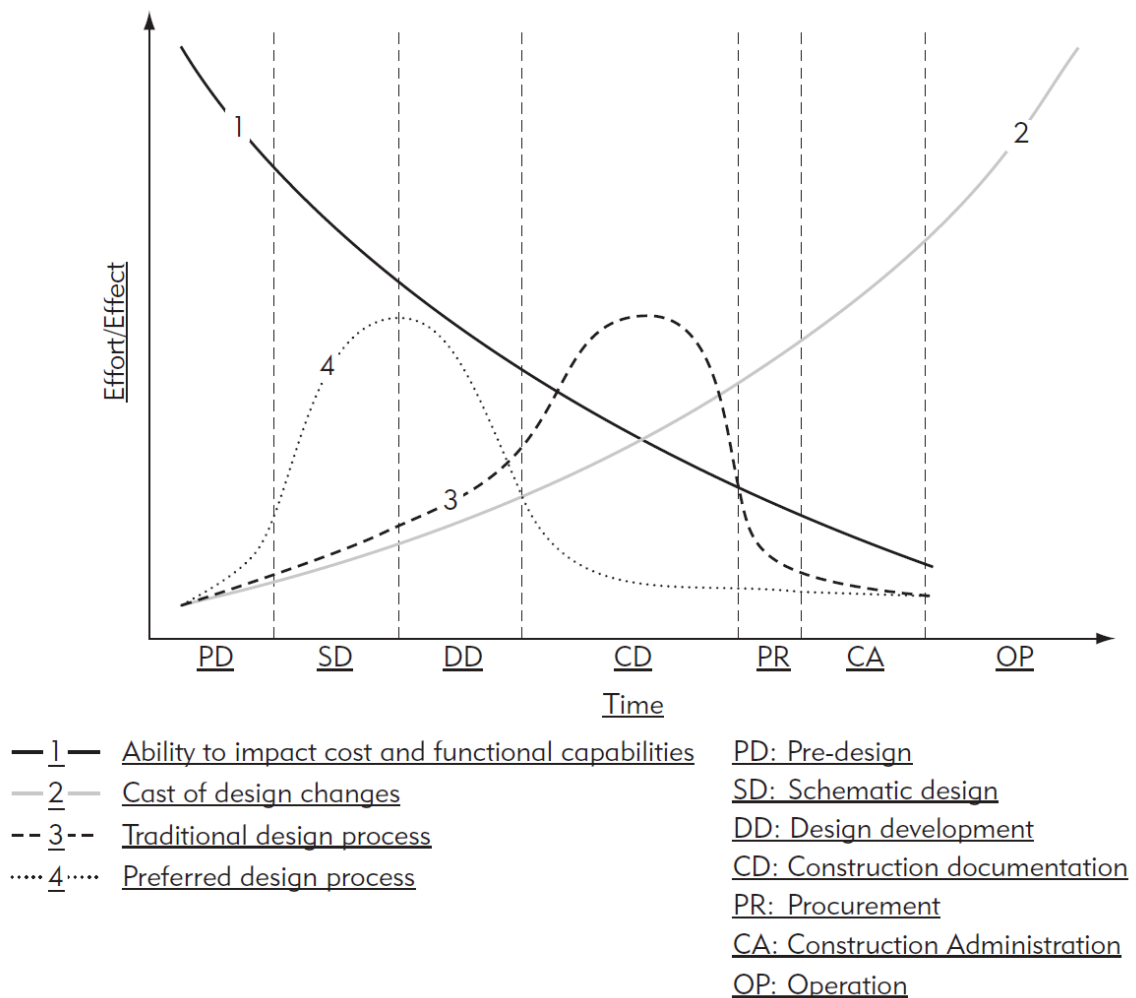
- a) Simulação 3D vs. representação 2D: permitindo não somente demonstrar as diferentes possibilidades de aparência física, mas também podendo prever colisões, realizar simulações e extrair listas de quantitativos;
- b) Precisão vs. estimativas: é adicionado um nível de previsão tanto para as análises quantitativas como qualitativas que superam os métodos tradicionais de projeto e documentação;
- c) Eficiência vs. redundância: com as vistas geradas automaticamente como capturas da edificação tridimensional vários processos de retrabalho suscetíveis a erro são minimizados.

2.1.3 Mudanças no processo de projeto

Tradicionalmente em um processo CAD um grande esforço de tempo é despendido na fase de documentação dos projetos da edificação. A tendência com o *Building Information Modelling* é de que, com a automatização de padrões de detalhamento, menos tempo seja gasto na documentação e mais tempo investido na

fase de projeto e tomada de decisões propriamente dita, fases as quais impactam muito mais nos custos e desempenho finais da edificação (EASTMAN et al., 2011) conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico representando o esforço despendido e o efeito causado em várias fases de projeto.



Fonte: Extraído de Eastman (2011).

Portanto, temos com o BIM um novo paradigma de projeto, no qual fases diferentes de projeto são unidas em um modelo. Devemos entender que o modelo pode ser usado para diferentes propósitos, e para isso, deve cumprir diferentes requisitos durante o seu desenvolvimento (EASTMAN, 2011). Por exemplo, um modelo que objetiva extração de quantitativos precisos e simulação 4D necessitará de uma modelagem que permita a divisão dos elementos em suas etapas construtivas

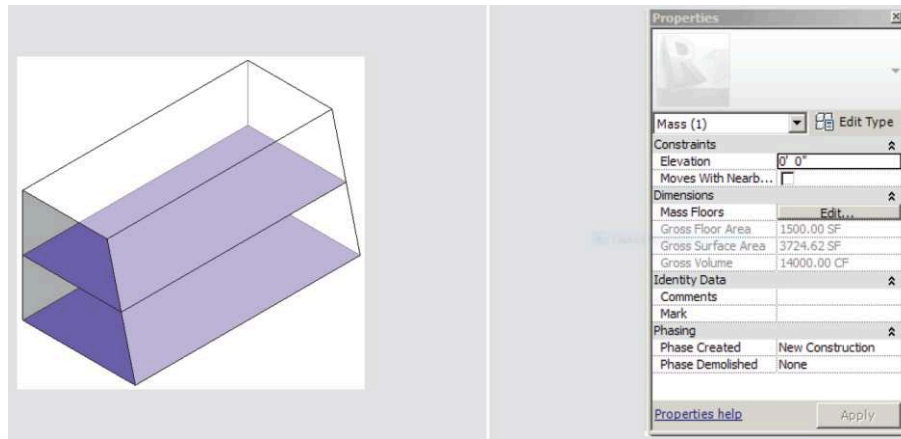
(uma parede deveria ser modelada da forma que a alvenaria, chapisco, reboco e acabamento possam ser considerados entidades separadas pelo *software* de simulação), entretanto tal divisão fará com que o modelo de trabalho do arquiteto fique extremamente pesado e de difícil manuseio. Sendo assim, se torna necessário um planejamento prévio à modelagem propriamente dita, estabelecendo parâmetros que o modelo deve cumprir a cada etapa do processo de projeto. Para auxiliar nessas definições alguns termos, como o nível de desenvolvimento (*Level of Development – LOD*), foram propostos.

2.1.3.1 *Level of Development – LOD*

O BIM *Guidelines* da cidade de Nova Iorque propõe uma ideia de continuidade para o modelo. As informações devem ser inseridas no modelo gradativamente, aumentando o nível de desenvolvimento (*Level of Development – LOD*) do mesmo, possibilitando a realização de análises, extrações de quantitativos e documentação da construção cada vez mais precisas (NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION, 2012).

É proposto que o LOD seja dividido em níveis, indo do LOD 100 até o LOD 500. Cada nível apresenta então maiores informações relacionadas ao modelo, com geometria mais precisa e usos e objetivos definidos.

Os modelos de LOD 100 incluem elementos como massa e são utilizados para estudos preliminares. Podem ser retirados quantitativos sobre a área e volume e análises baseadas em localização e orientação podem ser realizadas como podemos ver na Figura 3 (GOVERNO DE SANTA CATARINA, 2014).

Figura 3 – Modelo de LOD 100 e as informações de área e volume associadas.

Fonte: Extraído de NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION (2012).

Alcançando o LOD 200 os elementos conceituais se tornam objetos genéricos com definições básicas do ponto de vista geométrico (Figura 4). Já se torna possível a retirada de quantitativos mais precisos com base nesses objetos e a realização de simulações mais precisas (NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION, 2012).

Figura 4 – Modelo de LOD 200 e quantitativos relacionados.

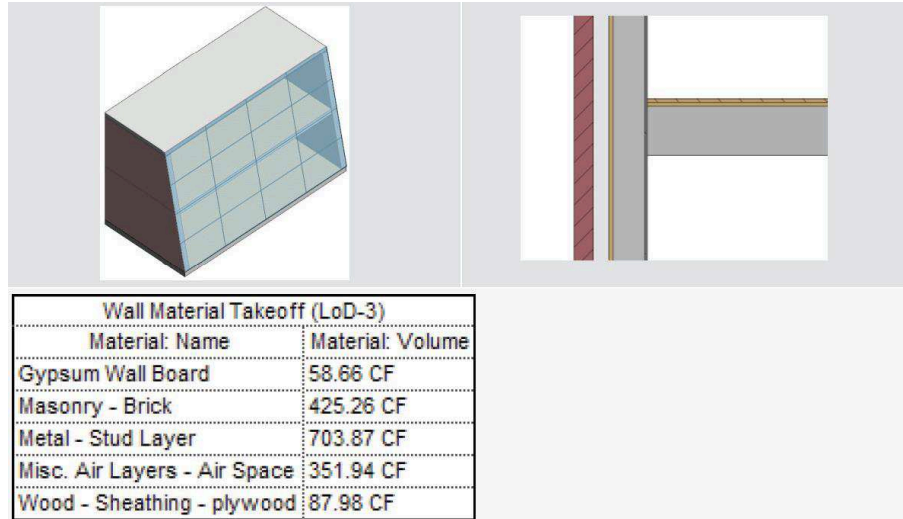
Wall Schedule (LoD-2)					
Family	Type	Width	Length	Area	Volume
Basic Wall	Generic - 8"	0' - 8"	39' - 0"	656 SF	437.51 CF
Basic Wall	Generic - 12"	1' - 0"	39' - 4"	759 SF	759.22 CF

Fonte: Extraído de NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION (2012).

No LOD 300 os objetos genéricos são definidos como elementos construtivos finais com maior clareza a respeito de sua construção (Figura 5). Com isso podemos realizar quantitativos baseados em listagens de materiais e avaliações de custos, métodos construtivos e prazos de execução (GOVERNO DE SANTA CATARINA;

2014). Pode-se comparar esse nível com os projetos executivos entregues no método tradicional CAD (NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION, 2012).

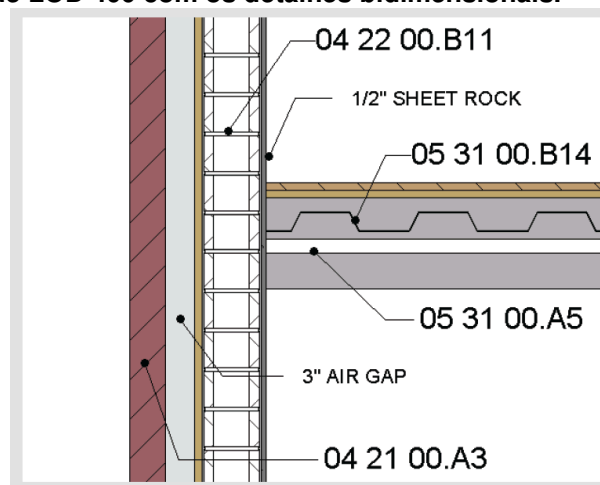
Figura 5 – Modelo de LOD 300 com quantitativo de materiais.



Fonte: Extraído de NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION (2012).

O LOD 400 apresenta todas as informações necessárias para fabricação e montagem das estruturas idealizadas. Nesse nível o modelo pode apresentar também informações bidimensionais como textos, cotas, detalhes 2D, entre outros para facilitar o entendimento do projeto, como exemplificado na Figura 6 (NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION, 2012).


Figura 6 – Modelo de LOD 400 com os detalhes bidimensionais.



Fonte: Extraído de NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION (2012).

E por último, temos o LOD 500 o qual apresenta os elementos modelados exatamente como construídos. Podemos comparar esse nível com os projetos *as built* que temos atualmente (Figura 7). O modelo de LOD 500 objetiva servir, principalmente, para propósitos de operação e manutenção da edificação (NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION, 2012).

Figura 7 – Modelo de LOD 500 com informações para operação e manutenção



element_ID	revit_ID	last_inspected	next_inspection_due_date	priority	condition
132457383	659832	6/2/2008	9/11/2011	medium	good
132426790	679334	6/2/2008	9/11/2011	medium	good
132447782	650023	6/2/2008	9/11/2011	medium	good
131276003	672363	4/20/2006	1/24/2011	high	fair
132786522	650933	6/2/2008	9/11/2011	medium	good
131028862	667681	6/2/2008	9/11/2011	medium	good
132290073	679911	6/2/2008	9/11/2011	medium	excellent
131189520	640087	6/2/2008	9/11/2011	medium	good

Fonte: Extraído de NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION (2012).

2.1.4 Interoperabilidade

Com o aumento do uso e estudo do BIM a interoperabilidade vem ganhando cada vez mais atenção (McGraw Hill Construction, 2007). Os dados de um *Building Information Model* devem ser compartilhados entre diversas equipes envolvidas nos processos relacionados com o ciclo de vida da construção, comumente utilizando *softwares* e plataformas diversas. Segundo EASTMAN et al. (2011), a necessidade de realizar cópias manuais toda vez que um modelo BIM mudasse de plataforma desencorajaria iterações durante a fase de projeto, prejudicando a qualidade das soluções de projeto encontradas, levaria a erros e causaria grande retrabalho.

A McGraw Hill Construction estimou ainda que 3,1% dos custos de projeto são relacionados com problemas de interoperabilidade entre *softwares*. Podemos notar que a questão da interoperabilidade se apresenta como um ponto crítico para o

desenvolvimento de um projeto BIM. Dessa forma, existem atualmente iniciativas globais que visam estudar e apresentar soluções para o problema.

2.1.4.1 buildingSMART e o IFC

A buildingSMART surgiu em 1995 como uma aliança de empresas privadas de *softwares* com o objetivo de pesquisar a relevância e benefícios da interoperabilidade. Tal aliança evoluiu para uma organização internacional e aberta a novos membros que busca desenvolver formatos abertos e não-proprietários para a troca de arquivos na indústria de construção e infraestrutura (buildingSMART, 2015).

A organização promove o *Industry Foundation Class* (IFC) como um produto neutro para dar suporte ao ciclo de vida do edifício e permitir a troca ou compartilhamento de informações sobre o mesmo (MANZIONE, 2013).

De acordo com EASTMAN et al. (2011), o IFC permite a troca de informações a respeito da geometria, do tipo de objetos, de suas relações com outros objetos e propriedades relevantes. É extremamente rico em informações tentando abranger todas as etapas do ciclo de vida da edificação, dessa forma, pode-se mostrar bastante redundante. Existem diversos tipos de geometria, propriedades e relacionamentos entre objetos. Deve-se, portanto, analisar quais são as informações necessárias para cada atividade e configurar o enfoque que a exportação deve apresentar.

2.1.4.2 gbXML

Segundo EASTMAN et al. (2011), XML (*eXtensible Markup Language*) é uma extensão do HTML, a linguagem básica da internet. O formato é considerado bom para a troca de pequenas quantidades de dados. Diversas estruturas de dados diferentes baseadas em XML foram desenvolvidas para atender segmentos específicos da indústria da construção civil, entre elas se encontra o gbXML (Green Building XML).

O gbXML é um formato desenvolvido para transferir informações necessárias para análises preliminares de energia de envelopes da edificação, zonas e simulação de equipamentos mecânicos (EASTMAN et al., 2011).

De acordo com Cho et al. (2009), o gbXML foi identificado como o formato de arquivo mais preciso para interoperabilidade entre programas BIM e de simulação energética.

2.1.5 Softwares para criação de modelos

A seguir serão expostos alguns dos *softwares* disponíveis para a criação de *Building Information Models* com o objetivo de fornecer um breve panorama das opções disponíveis no mercado.

2.1.5.1 Autodesk Revit

O *Autodesk Revit* é o atual líder de mercado e a ferramenta BIM mais conhecida para projetos de arquitetura. O *software* foi adquirido em 2002 pela *Autodesk* e não apresenta relação com o conhecido *AutoCAD*, tendo sua estrutura de arquivos e código-base feita de forma completamente diferente. O *Revit* apresenta atualmente as versões *Architecture*, *MEP* e *Structure*, possibilitando o desenvolvimento de projetos integrados. Ele apresenta interface gbXML, ferramenta de projetos conceituais e habilidade de importar modelos do SketchUp (EASTMAN et al., 2011).

Durante a fase de projeto conceitual, o *Revit* consegue simular um número máximo de superfícies, aberturas e espaços para a análise energética (AUTODESK SUSTAINABILITY WORKSHOP, 2016):

- a) Superfícies exteriores: 8192;
- b) Superfícies interiores: 8192;
- c) Superfícies no subsolo: 8192;
- d) Superfícies de sombra: 1024;
- e) Aberturas: 8192;
- f) Espaços: 4096.

2.1.5.2 ArchiCAD

O *ArchiCAD* é, segundo EASTMAN et al (2011), a ferramenta BIM mais antiga de projeto de arquitetura que ainda se encontra disponível no mercado atual. Começou a ser comercializado pela *Graphisoft* no começo da década de 80, recentemente foi comprado pela alemã *Nemetschek*. Possui um conjunto forte de interfaces para análises energéticas e de sustentabilidade como gbXML, Ecotect, Energy+, ARCHIPHISIK e RIUSKA). Apresenta uma grande biblioteca de objetos e se apresenta como o único produto BIM de peso para Mac OS X.

2.1.5.3 AECOSim

Software BIM da *Bentley* que se apresenta como uma solução multidisciplinar completa para as etapas de modelagem, análise, construção e manutenção de todos os tipos de edificações e destaca-se pelas ótimas possibilidades de modelagem de formas geométricas complexas. Permite a análise energética da edificação com a incorporação do motor de simulação *EnergyPlus* e com base nos *standards* da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) (BENTLEY, 2015).

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo LAMBERTS, DUTRA e PEIREIRA (2014), a eficiência energética deve ser entendida como um atributo da edificação que possibilita aos seus usuários um conforto térmico, visual e acústico com um baixo consumo de energia.

Para alcançar esse baixo consumo de energia o processo de projeto arquitetônico deveria ser acompanhado de análises sobre sua eficiência energética, pois, de acordo com os mesmos autores, cada decisão de projeto tem o poder de influenciar o desempenho térmico e luminoso da edificação.

Diferentemente da década de 90, hoje existe um entendimento que não basta utilizarmos materiais reciclados para obtermos uma edificação sustentável, mas sim que todo o ciclo de vida da edificação deve ser levado em conta, desde seus materiais construtivos, como também os processos envolvidos na construção, a eficiência dos

seus sistemas no decorrer de toda vida do edifício, a facilidade de manutenção e, finalmente, na sua demolição ou reforma (KRYGIEL & KIES, 2008).

Para entendermos o porquê de a eficiência energética ter ganhado tanta importância nos últimos anos devemos atentar para alguns fatos históricos que serão expostos a seguir.

2.2.1 Crescimento da demanda por maior eficiência nas edificações

No século XX tivemos um grande salto no uso de tecnologias de aquecimento, ventilação, iluminação e sistemas de ar condicionado em nossas edificações, distanciando a necessidade da edificação ser projetada conforme as necessidades do clima local e possibilitando uma uniformização da arquitetura em escala global, como bem descreve KRYGIEL & KIES (2008):

A maior parte do aquecimento e resfriamento de nossas edificações são mecânicos, nossa iluminação é artificial e nossos materiais construtivos vem de qualquer parte do globo.

Tais sistemas artificiais possibilitaram aos projetistas uma situação muito confortável, onde falhas de projeto poderiam ser sanadas simplesmente utilizando soluções mecânicas e elétricas. Essa facilidade fez com que prédios extremamente ineficientes aparecessem ao redor do globo, aplicando uma pressão gigantesca sobre o sistema de geração de eletricidade em países ao redor do mundo. Esta situação foi ainda agravada com a urbanização crescente da década de 80 e a crise de petróleo de 1973 (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

Para aliviar essa pressão, investimentos maciços em novas centrais elétricas foram realizados e fontes alternativas de geração de energia começaram a ser estudadas. As novas usinas apresentaram, porém, o inconveniente do impacto ambiental e social, provocando deslocamentos populacionais, trazendo poluição e colocando a segurança pública em risco, a exemplo das usinas nucleares. Foi também por volta desse período que ocorreu o começo de uma conscientização do impacto do ser humano na natureza (KRYGIEL & KIES, 2008).

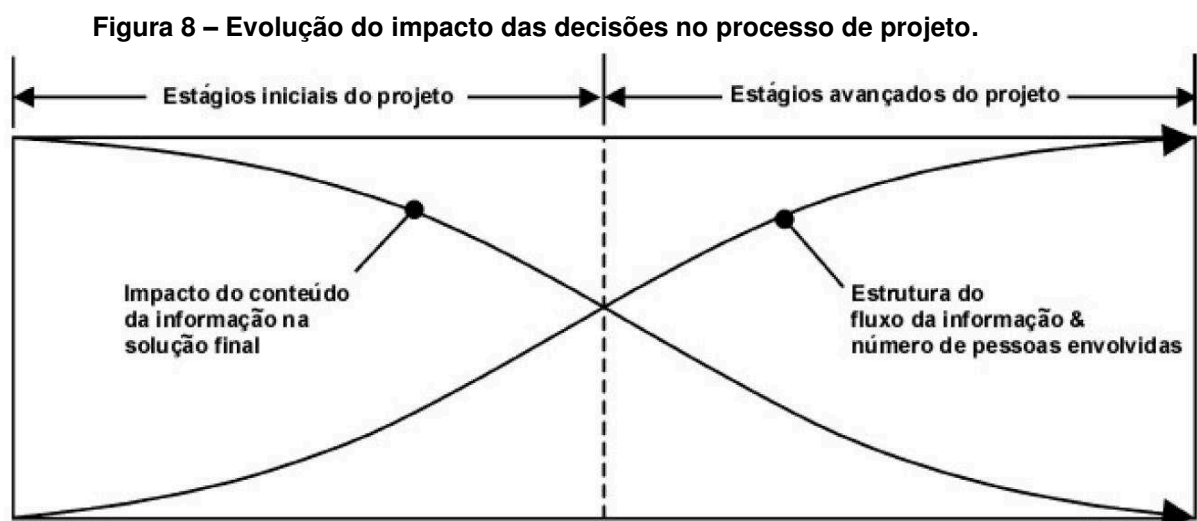
Como alternativa a esses investimentos, medidas para redução do consumo começaram a ser lembradas e estudadas. De acordo com GELLER (1994) apud

LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA (2014), a economia de energia é uma boa forma de retirar a pressão de investimento e inovação do Estado, passando aos fabricantes de equipamentos e aos consumidores, dividindo assim as contas e dinamizando a economia.

Atualmente no Brasil continuamos vendo um cenário de crescimento do consumo de energia elétrica. Baseados nos dados da EPE (2015), podemos estimar que entre 1995 e 2014 o consumo nacional de energia elétrica quase dobrou e que mais de 40% desse consumo é gerado pelas edificações. Estes fatos aliados à crescente dificuldade de aprovação ambiental para grandes projetos provoca uma ação lenta do Estado, fazendo com que a economia de energia e o consequente aumento de eficiência energética em edificações surjam como atores cada vez mais importantes.

2.2.2 Simulação energética

A simulação energética atualmente aparece como uma ferramenta de apoio à decisão do projetista. Cada alteração de elemento ou de estratégia de desenho bioclimático deve ser simulada e comparada, tornando o processo de projeto iterativo e incremental. Quanto mais prematuramente o projetista iniciar o processo, mais impactantes serão as mudanças e mais facilmente alcançará bons resultados como podemos observar na Figura 8 (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).



Fonte: Adaptado de Manzione (2013).

As simulações energéticas ocorrem em *softwares* especializados que criam um modelo matemático computacional representando a edificação e permitem a realização de análises detalhadas de uso energético de todo o edifício como de parâmetros específicos como estudos de iluminação, ventilação natural, conforto dos usuários, entre outros (RMI IBPSA-USA, 2016).

É importante notar que todos os modelos são meras aproximações da realidade. Entender como tornar esses modelos os mais próximos possíveis do comportamento real do edifício se torna algo de extrema importância para validar as nossas simulações e análises (AUTODESK SUSTAINABILITY WORKSHOP, 2016).

Segundo MENDES et al (2005) o projetista pode, por meio das simulações, avaliar o desempenho térmico e energético de uma edificação levando em consideração suas características arquitetônicas, construtivas e seus sistemas de engenharia. Além disso, a simulação possibilita uma abordagem mais integrada do projeto com o clima local, otimizando a relação dos sistemas naturais e artificiais na edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEIREIRA, 2014).

Serão apresentadas a seguir algumas ferramentas conhecidas para a realização de simulações energéticas.

2.2.2.1 *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* se apresenta como um motor para simulação energética bastante utilizado ao redor do globo. Foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e permite estimar o consumo de energia para aquecimento, ventilação, iluminação, entre outros (EnergyPlus, 2015).

Os dados de entrada para essa ferramenta são complexos: desenhos bidimensionais ou dados baseados em texto que requerem um grande tempo para serem dominados. Dessa forma, projetistas normalmente consideram análises energéticas um processo que consome tempo demais e acabam deixando estas análises para as fases finais de projeto (STUMPF; KIM; JENICEK, 2009).

É possível, entretanto, desenvolver ferramentas gráficas para fornecer os *inputs* necessários e analisar os dados de saída do *EnergyPlus*. Dessa forma, existem interfaces que surgiram para facilitar esses processos e acabaram integrando essa

ferramenta a outros *softwares* de projeto (AUTODESK BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS, 2015).

2.2.2.2 IES Virtual Environment

Software desenvolvido pela IES (*Integrated Environmental Solutions Limited*) que permite às análises energéticas utilizar um único modelo central integrado, poupando tempo e facilitando as iterações do projeto. Apresenta diversos módulos para realização de diferentes simulações. Oferece uma grande interoperabilidade entre *softwares* diferentes, aceitando formatos do *Autodesk Revit* e o gbXML, entre outros (INTEGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS, 2015).

2.2.2.3 Green Building Studio

O *Green Building Studio* é uma ferramenta da *Autodesk* baseada na nuvem, onde as simulações não são realizadas localmente, mas sim em servidores remotos da empresa. Funciona com o formato gbXML exportado de diversos *softwares* BIM e usa as informações fornecidas na modelagem para realizar simulações energéticas com base em ferramentas como o *EnergyPlus* e o DOE-2 (AUTODESK, 2015).

A plataforma permite a realização de várias mudanças nas alternativas de design, como orientação, materiais de fechamento, iluminação e refrigeração de forma prática e rápida, permitindo a determinação da opção mais eficiente (STUMPF; KIM; JENICEK, 2009).

2.2.2.4 Insight 360

Nova ferramenta da *Autodesk* lançada no final do ano de 2015. Se apresenta como uma forma interativa de apresentação dos resultados das simulações realizadas pelo *Green Building Studio*. Permite analisar facilmente diferenças na performance energética que alterações de orientação, materiais de revestimento, porcentagem de áreas envidraçadas e outras causam na edificação. É prometido também o uso do *EnergyPlus Cloud* para entregar resultados ainda mais precisos de cargas de

aquecimento e resfriamento por espaços criados no modelo (INSIGHT 360 BLOG, 2016).

2.2.2.5 AECOSim Energy Simulation

O *AECOSim* surge como a alternativa da *Bentley Systems* para o desenvolvimento de projetos com o uso do BIM. O *AECOSim Energy Simulation* especificamente se apresenta como uma ferramenta de simulação intuitiva e capaz de analisar sistemas mecânicos, condições ambientais e performance energética. O simulador é também integrado ao *EnergyPlus* e apresenta boas opções de interoperabilidade (Bentley, 2015).

2.2.3 Relação entre BIM e simulações energéticas

Temos com as simulações energéticas, portanto, um processo iterativo, incremental, que deve ser realizado prematuramente, baseado em geometria e em informações acerca dos elementos construtivos. Como pudemos ver durante a revisão bibliográfica, características que poderiam ser facilmente casadas com os aspectos e qualidades que o BIM pode oferecer ao usuário. Dessa forma, é compreensível que essa possibilidade tenha gerado tremendo interesse sobre seu impacto no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis e em seu potencial de conexão com ferramentas de análise energéticas (JALAEI; JRADE, 2014).

O uso de ferramentas BIM pode oferecer ao projetista a possibilidade de explorar diversas alternativas de projeto, evitando o processo exaustivo de reentrada de geometria tridimensional e outras informações necessárias para a execução das simulações energéticas, dessa forma dinamizando e otimizando o processo (JALAEI; JRADE, 2014).

Assim sendo, será exposto nos próximos capítulos o procedimento realizado para avaliar as possibilidades do BIM para análise energética utilizando a seção de revisão bibliográfica como seu subsídio.

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Esse trabalho analisará de forma quantitativa e, principalmente, qualitativa a execução de um processo de análises e simulações de eficiência energética utilizando *Building Information Models*.

Para atingir tal objetivo, será realizada uma simulação de um processo de projeto arquitetônico. Tal processo será bastante simplificado ampliando as questões relacionadas à eficiência energética da edificação em detrimento de vários outros complicadores inerentes a um projeto arquitetônico completo, como obediência a diversas normas e questões ligadas ao partido arquitetônico. Tal decisão foi tomada por se entender que não seria relevante para o presente trabalho.

Foi então escolhido um projeto com uma área total de 5.000,00 metros quadrados e entrepiso de 4,00 metros, caracterizado como uma edificação de uso comercial. A localização foi definida como sendo nas imediações do bairro Santa Mônica no município de Florianópolis, Santa Catarina (Latitude $-27,5927^\circ$ e longitude $-48,5060^\circ$). A partir dessas informações, a metodologia e, conseqüentemente, os resultados serão divididos em etapas e sub-etapas as quais serão apresentadas e descritas a seguir.

3.1 ESTUDO DE VOLUMETRIA

3.1.1 Modelagem geométrica do volume

Primeiramente será feita a modelagem da geometria para estudos básicos de volumetria. Tal modelagem objetivará atingir a área bruta de pisos total de 5.000,00 metros quadrados como exposto anteriormente.

Para atingir tal meta será utilizada a ferramenta *Autodesk Revit*, dessa forma a edificação proposta será criada desde o princípio como um *Building Information Model*. Assim sendo, as vantagens relacionadas a parametrização da geometria e a presença de informações relacionadas com o volume serão apresentadas.

Questões organizacionais das alternativas de projeto em conformidade com a filosofia BIM também serão abordadas, apresentando assim um processo de projeto mais integrado e dinâmico desde o seu princípio.

Ao final do processo de modelagem, três alternativas de volumetria serão selecionadas e estudadas com maior atenção nas próximas etapas.

3.1.2 Criação do modelo para análise energética

Tendo finalizada a modelagem das alternativas de volumetria para a edificação propostas, começará então a etapa de criação e inserção de informações nos *Building Information Models* visando a criação de modelos para fins de simulações e análises energéticas.

As informações e os parâmetros inseridos serão iguais para as três alternativas de volumetria, possibilitando assim a comparação facilitada dos resultados das simulações que serão realizadas.

Ao final dessa etapa, teremos em mãos três modelos prontos para serem introduzidos em ferramentas de análise e simulação energética da própria *Autodesk*, ou ainda capazes de serem exportados em formato *gbXML* para outras plataformas.

3.1.3 Simulação e análise energética da volumetria

Serão apresentadas as ferramentas de simulação e análise integradas à plataforma da *Autodesk*. Estudos de insolação básicos com os volumes e simulações energéticas dos modelos criados anteriormente serão apresentadas. As simulações ocorrerão com base no *Green Building Studio*. Os resultados serão apresentados e discutidos, e finalmente a alternativa mais eficiente será escolhida.

Todo o processo de modelagem, simulações, resultados e iterações será analisado e apresentado. Ganhos de produtividade, redução de retrabalho, problemas de integridade, exatidão e completude dos modelos serão reportados e suas possíveis soluções apresentadas.

O objetivo final dessa seção será atingido quando a alternativa de volumetria mais eficiente do ponto de vista energético for escolhida. Tal escolha será feita utilizando o consumo de energia por área construída (kWh/m²/ano) para uma comparação objetiva entre as volumetrias.

3.1.4 Otimização da alternativa escolhida

Utilizando as mais de 100 análises alternativas, realizadas automaticamente pelo *Green Building Studio*, será exposto o resultado da alternativa com os parâmetros mais eficientes encontrada pelo *software*. Será utilizado também o *plug-in* Insight 360 para analisar as possibilidades do processo iterativo o qual ele se propõe a permitir.

3.2 ESTUDO COM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Será feita, por fim, a inserção gradativa de mais informações geométricas e semânticas no *Building Information Model*, aumentando seu LOD (*Level of Development*).

O modelo passará de um simples estudo de massa e volumetria para um modelo contendo elementos construtivos modelados, como paredes e aberturas propriamente ditas. Ocorrerá também a inserção de zonas térmicas no modelo permitindo a inserção de informações que possibilitariam análises até para dimensionamento de sistemas de refrigeração e aquecimento. Além disso, possibilitará uma visualização de um processo de projeto mais realista onde o *design* evolui e a coordenação de informação do modelo surge como um caso importante de estudo.

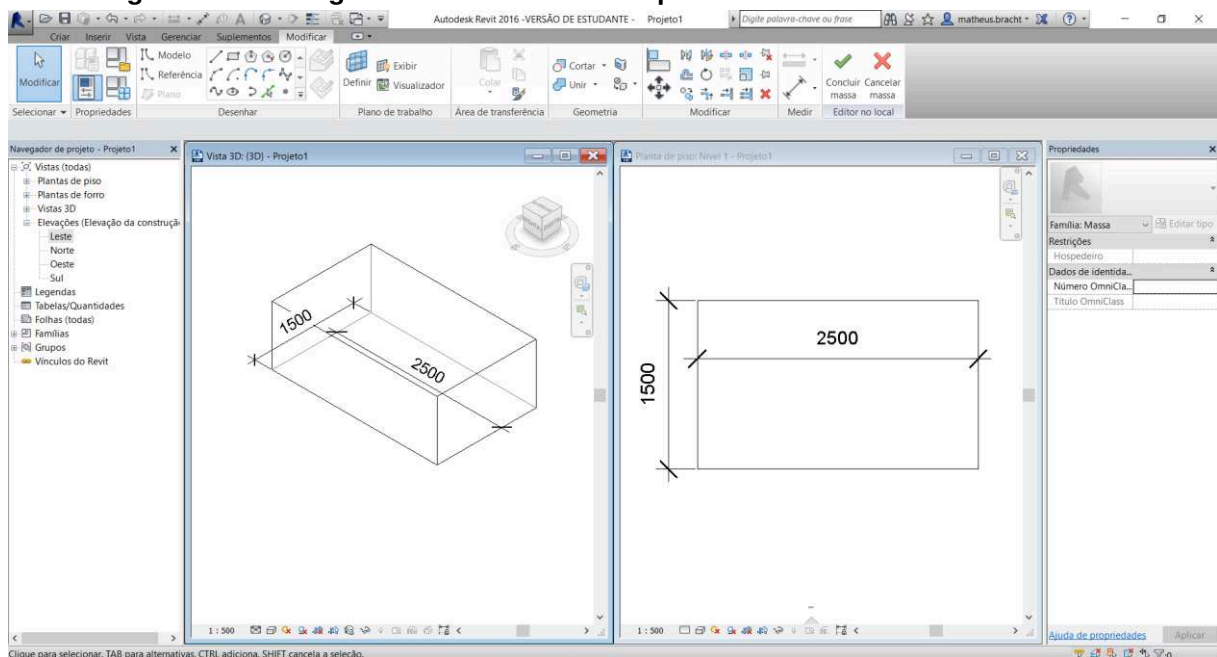
4 RESULTADOS

4.1 ESTUDO DE VOLUMETRIA

4.1.1 Modelagem geométrica do volume

Para a modelagem da volumetria básica da edificação proposta foi utilizada a ferramenta “modelagem de massa” do *Autodesk Revit*. Tal ferramenta de modelagem oferece diversas opções para criação de formas tridimensionais a partir de bases bidimensionais simples assim como a partir de curvas *splines* mais complexas. Temos como resultado um volume automaticamente parametrizado, tornando simples a modificação das suas dimensões como podemos observar na Figura 9.

Figura 9 – Modelagem de forma volume simples.



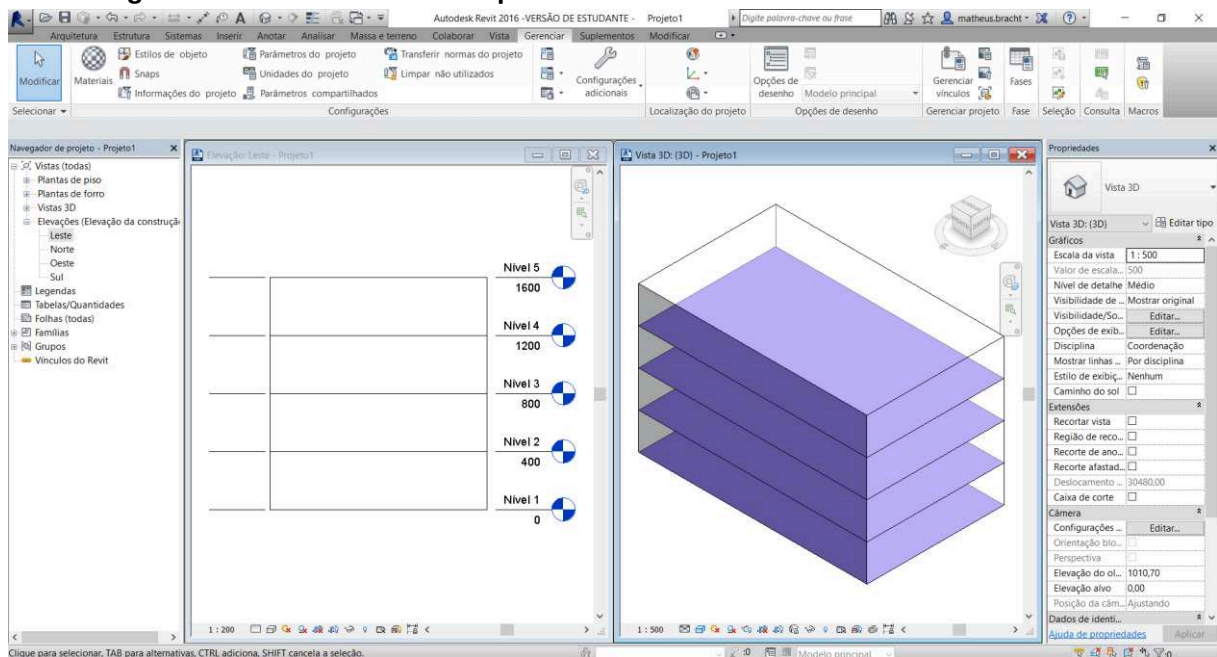
Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Nota: Dimensões em centímetros.

Conforme o esperado para um *software* BIM as alterações das dimensões do volume em uma vista são automaticamente refletidas em outras vistas, facilitando a visualização de diferentes perspectivas, agilizando o processo de alterações do volume e evitando erros de documentação e modelagem.

Como podemos ver a geometria não apresenta dados a respeito das áreas de cada pavimento, por não apresentar nenhuma informação de nível propriamente dito. Para solucionar esse aspecto e obtermos as informações de áreas necessárias para atingirmos a marca dos 5.000 metros quadrados foram criados níveis a cada 4,00 metros. Relacionados a esses níveis foram criados os chamados pisos de massa, que são representações simplificadas de pisos para uso em estudos de volumetria. Tais pisos podem fornecer informações a respeito de áreas e também funcionam como parâmetro para a simulação energética. Na Figura 10 podemos visualizar os níveis na vista de elevação leste a esquerda e os pisos de massa criados na visualização tridimensional.

Figura 10 – Volumetria com os pisos de massa criados.



Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Com a volumetria básica definida podemos passar a observar as informações relacionadas ao nosso modelo, começaremos então a tirar vantagem do “1” de informações da sigla BIM. Por se tratar de um modelo LOD 100 somos capazes de retirar quantitativos genéricos do modelo, assim sendo, selecionando o volume criado e atentando ao painel de propriedades podemos observar que o *software* já nos fornece informações acerca da nossa volumetria experimental. No caso da Figura 11,

observamos que a área bruta total de pisos nos retorna o valor de 1.500,00 metros quadrados.

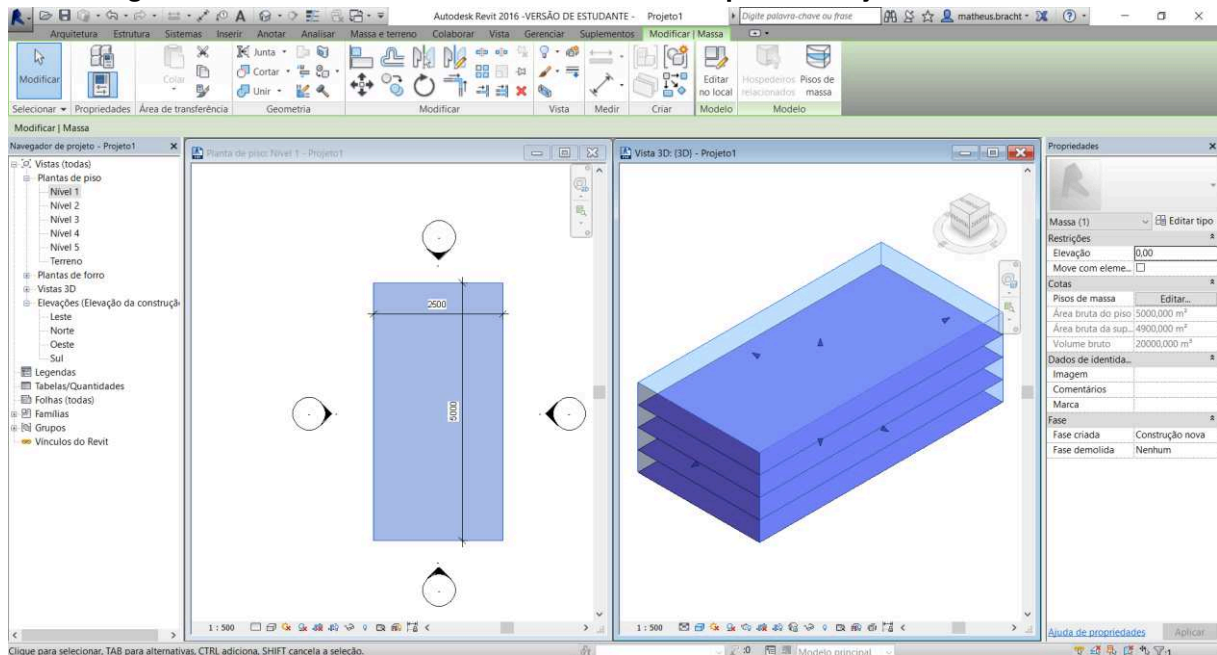
Figura 11 – Painel de propriedades contendo informações do modelo de massa.

Propriedades	
Massa (1)	Editar tipo
Restrições	
Elevação	0,00
Move com elementos próximos	<input type="checkbox"/>
Cotas	
Pisos de massa	Editar...
Área bruta do piso	1500,000 m ²
Área bruta da superfície	2030,000 m ²
Volume bruto	6000,000 m ³
Dados de identidade	
Imagem	
Comentários	
Marca	
Fase	
Fase criada	Construção nova
Fase demolida	Nenhum
Ajuda de propriedades	
Aplicar	

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

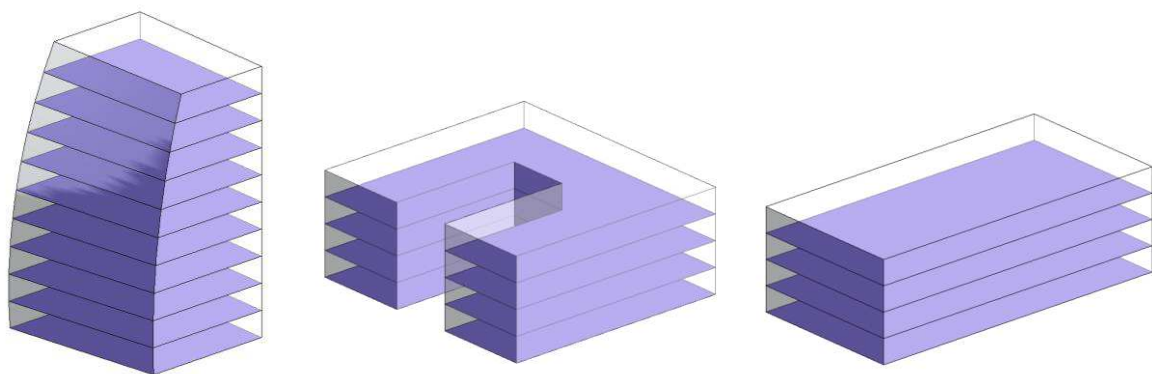
Com essas informações notamos com facilidade que a volumetria não atende a área estipulada originalmente. Em conjunto com a geometria parametrizada podemos rapidamente promover as alterações necessárias nas dimensões do volume.

Tal facilidade de iterações acompanhada da atualização automática do quadro de áreas facilita em muito o desenvolvimento e a validação de formas alternativas para a edificação, possibilitando o encontro da melhor opção. Como resultado temos uma nova volumetria (Figura 12).

Figura 12 – Nova volumetria com a área bruta de pisos almejada.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

O processo de modelagem anteriormente descrito foi executado algumas vezes. Com o uso de ferramentas básicas de modelagem tridimensional foram escolhidas as três proposições abaixo, todas com área bruta de pisos com aproximadamente 5.000,00 metros quadrados (Figura 13).

Figura 13 – Proposições de volumetria básica escolhidas.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Objetivando o desenvolvimento de um processo baseado nas “melhores práticas” BIM, as três opções acima foram todas modeladas em um mesmo arquivo .rvt fazendo uso da ferramenta de “Opções de Projeto” nativa do Autodesk Revit. Tal

ferramenta possibilita que alternativas de *design* sejam desenvolvidas e estudadas todas em um mesmo arquivo, facilitando a coordenação de informações do modelo e evitando falhas de comunicação e entendimento no processo de projeto.

4.1.2 Criação do modelo para análise energética

A partir das volumetrias básicas definidas teve início então o processo de criação dos modelos de análise energética com base nesses volumes. Para isso precisamos inserir mais informações e parâmetros ao nosso modelo de volumetria básico. O *Revit* apresenta ferramentas para isso na aba Análise, no painel “Análise de Energia”, ali encontramos as “Configurações de Energia”. Essa ferramenta nos retorna a janela a seguir onde entramos com as informações pertinentes a respeito da nossa edificação para a definição do modelo de análise energética (Figura 14).

Figura 14 – Configuração de energia com os valores padrões do software.

Parâmetro	Valor
Comum ^	
Tipo de construção	Escritório
Localização	Brasília, Brasil
Nível de referência	Nível 1
Modelo detalhado ^	
Exportar categoria	Ambientes
Exportar complexidade	Simple com superfícies sombreadas
Incluir propriedades térmicas	<input type="checkbox"/>
Fase do projeto	Construção nova
Tolerância de espaço estreito	30,48
Ambiente de construção	Utilizar o parâmetro de função
Tamanho da célula da grade analítica	91,44
Modelo de energia ^	
Modo de análise	Utilizar elementos de construção
Resolução do espaço analítico	45,72
Resolução da superfície analítica	30,48
Deslocamento de núcleo	360,00
Dividir zonas de perímetro	<input checked="" type="checkbox"/>
Construções conceituais	Editar...
Percentual de destino da vidraça	40%
Altura de destino do parapeito	75,00
A vidraça está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidade da sombra	60,00
Percentual de destino da clarabóia	0%
Largura e profundidade da clarabóia	91,44
Modelo de energia - Serviços de cons ^	
Tabela de operações de construção	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado central,
Informações sobre o ar exterior	Editar...

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Nessa janela encontramos diversas opções que afetam diretamente a criação do modelo propriamente dito, os resultados das simulações de consumo de energia ou apenas alteram aspectos do arquivo gbXML exportado. Assim sendo, será feita uma breve explanação dessas opções e como elas afetam o modelo de análise de energia.

Primeiramente temos o parâmetro “Tipo de construção”. Tal parâmetro deve ser escolhido conforme a opção que reflita melhor o uso planejado para a edificação, influenciando nos ganhos de calor internos por meio do número de ocupantes e padrões de uso. Todos os dados são baseados nas normas da ASHRAE (American

Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Para o caso em estudo foi escolhida a opção predefinida “Escritório” com dados relacionados demonstrados na Tabela 1.

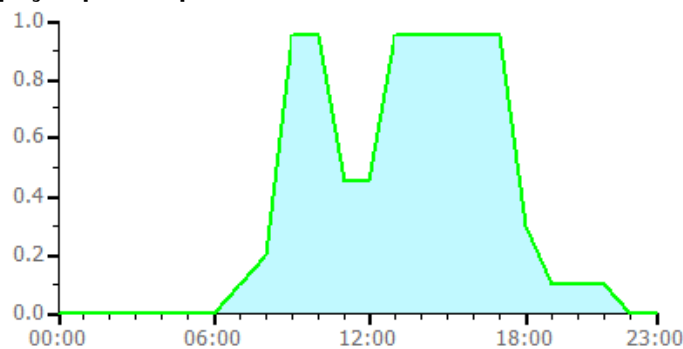
Tabela 1 – Dados de ocupação, uso e operação para tipo de construção escritório.

Parâmetro	Valor
Área por pessoa (m ²)	28,571
Ganho de calor sensível de pessoas (W)	73,27
Ganho de calor latente de pessoas (W)	58,61
Densidade de carga de iluminação (W/m ²)	10,76
Densidade de carga de equipamentos (W/m ²)	13,99
Ponto definido de resfriamento quando desocupado (°C)	27,78

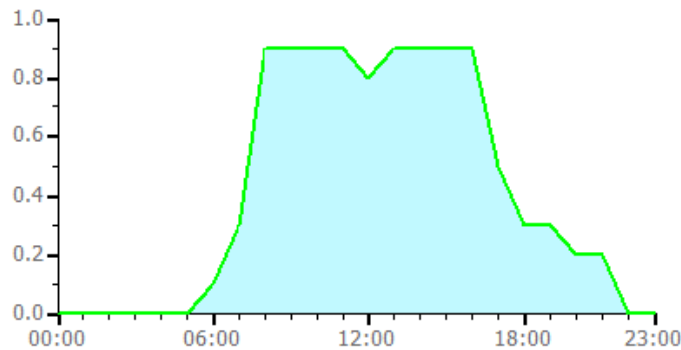
Fonte: Autoria própria. Valores retirados do Autodesk Revit.

Estão atrelados ao tipo de construção os regimes padrões de ocupação e de uso e operação de equipamentos e iluminação. Tais gráficos se baseiam em multiplicadores que indicam o percentual de ocupantes e de funcionamento dos equipamentos da edificação ao longo das 24 horas do dia. Os valores dos multiplicadores também se baseiam nas normas ASHRAE e não foram alterados para a simulação. Os gráficos padrões para o tipo de construção escritório estão apresentados abaixo (Figura 15 e Figura 16).

Figura 15 – Ocupação padrão para escritório.



Fonte: Retirado do Autodesk Revit.

Figura 16 – Uso padrão dos equipamentos para escritório.

Fonte: Retirado do Autodesk Revit.

O parâmetro da localização é vital para a criação de um modelo para análise energética válido. No *Revit* após a escolha do local do projeto são oferecidas estações climáticas próximas, as quais são caracterizadas, segundo a própria página de ajuda da *Autodesk*, como:

As estações climáticas incluem estações climáticas virtuais do "ano real" e estações climáticas anuais típicas (TMY2 e outros formatos) com base em médias de 30 anos de dados climáticos, normalmente obtidas de localizações de aeroportos.

É importante, portanto, selecionar uma estação que se encontre numa situação geográfica semelhante à da localização do projeto em questão, pois grandes massas de água, elevações muito diferentes e outras variáveis distintas entre a estação escolhida e o local do projeto afetarão o quão crível será o resultado da análise de consumo de energia realizada.

No caso desse projeto, a localização foi definida como sendo nas imediações do bairro Santa Mônica no município de Florianópolis, Santa Catarina. Latitude - 27,5927° e longitude -48,5060° utilizando a estação meteorológica 833732 fornecida pelo *software*.

A determinação do nível de referência é importante pois fica entendido que tudo que se encontra abaixo desse nível está na realidade no subsolo, sendo assim não apresentando vidraças e possibilitando o uso de um tipo de parede externa diferente das localizadas acima do chão.

O modo de análise determina se o *Revit* usará somente massas, elementos construtivos ou uma combinação de ambos para criar o modelo de análise energética. O AECBytes (2016) e o próprio *site* de ajuda da Autodesk recomendam a opção “Utilizar massas conceituais e elementos de construção”, introduzida na versão 2016 do *Revit*, pois apresenta um zoneamento térmico automático mais avançado fornecendo resultados mais precisos. Tal zoneamento divide a construção em zonas baseado nas recomendações de modelagem da ASHRAE. Nesse trabalho foi utilizado o zoneamento automático já que as decisões de *layout* interno da construção ainda não foram tomadas.

As opções de resolução do espaço analítico e da superfície analítica estão atreladas a simplificações do modelo. A primeira permite que pequenos buracos no envelope sejam suprimidos e qual sua dimensão máxima. O *Revit* não reconhece elementos de algumas categorias como Modelos Genéricos e famílias modeladas no local, portanto essas falhas são comuns em modelos mais detalhados de edificações. Já a última trabalha em conjunto com a primeira, definindo o grau de precisão dos limites das superfícies. Os valores de ambas podem ser reduzidos, resultando em um modelo de análise energética mais preciso, mas tendo como consequência a maior demora para realização das simulações.

O deslocamento do núcleo representa a distância medida das paredes exteriores para dentro da volumetria, responsável por criar a zona central da edificação que costumeiramente apresenta um comportamento energético diferente das regiões próximas das paredes externas.

A próxima opção, dividir zonas de perímetro, permite que o perímetro do modelo seja dividido em múltiplas zonas para análises mais precisas levando em consideração a diferença causada pela orientação solar da edificação.

As construções conceituais estabelecem os tipos de materiais utilizados nas diferentes superfícies definidas na volumetria conforme a Figura 17 abaixo.

Figura 17 – Parâmetro construções conceituais.

Modelo de massa	Construções
Parede externa da massa	Construção leve – Isolamento típico de clima temperado
Parede interna da massa	Construção leve – Sem isolamento
Parede externa da massa - Subterrânea	Construção pesada – Isolamento típico de clima temperado
Telhado da massa	Isolamento típico - Telhado frio
Piso de massa	Construção leve – Sem isolamento
Laje de massa	Construção pesada – Sem isolamento
Vidraça da massa	Painel duplo claro - Sem revestimento
Clarabóia da massa	Painel duplo claro - Sem revestimento
Sombreado da massa	Sombra básica
Abertura da massa	Ar

Fonte: Retirado do *Autodesk Revit*.

As opções de construções foram mantidas como demonstradas na Figura 17 acima. Uma falha notável dessa tabela é a falta das características térmicas de cada opção de construção, fazendo com que o projetista não tenha grande segurança nas escolhas que está fazendo. Os valores das propriedades térmicas de cada tipo de material podem ser consultados no Anexo A que se encontra disponível também na internet, entretanto esse fato torna o processo menos intuitivo e dinâmico do que poderia ser. Foi criada, então, a Tabela 2 a seguir para facilitar a exibição dos dados no presente trabalho.

Tabela 2 – Propriedades térmicas das construções conceituais

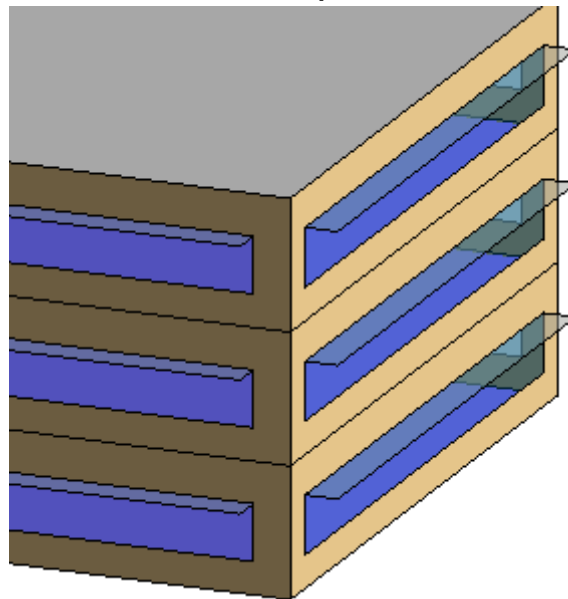
Construções conceituais	Valor R (m ² .K/W)	Densidade (kg/m ³)	Capacidade térmica (J/m ² .K)
Parede externa	1,73	184,15	0,193
Parede interna	0,49	455,55	0,193
Parede externa subterrânea	1,91	512,67	1,080
Telhado	3,87	73,04	0,123
Piso	3,67	33,13	0,068
Laje	1,08	602,93	1,203
Vidraça	3,17	0,69	0,78
Claraboia	3,17	0,69	0,78

Fonte: Autoria própria. Dados retirados de AUTODESK (2016).

O parâmetro percentual de destino da vidraça, na realidade uma tradução duvidosa da expressão inglesa *window-to-wall ratio* (WWR), cria as áreas envidraçadas nas paredes exteriores da volumetria com base no percentual de abertura na fachada introduzido. O padrão do *software* é dado como 40%. Temos também a altura de destino do parapeito que fornece o valor do parapeito para criação das áreas envidraçadas, segundo AUTODESK (2016) janelas abaixo de 0,75 metros não contribuem mais para a iluminação natural efetiva, apenas aumentando os ganhos e perdas de calor.

O *Revit* ainda permite selecionar a opção de sombreamento das janelas. Essa opção faz com que sejam criados pequenos brises simplificados sobre as vidraças do modelo analítico de energia, como demonstrado na figura abaixo. A profundidade da sombra especifica a dimensão dos brises (Figura 18).

Figura 18 – Brises criados automaticamente pelo Autodesk Revit.



Fonte: Extraído de AUTODESK (2016).

Temos ainda a opção de definir claraboias na superfície do telhado por meio de um percentual em relação a área total de telhado e definir suas dimensões.

As configurações de modelo detalhado afetam apenas as exportações para o formato gbXML e os cálculos de aquecimento e resfriamento realizados pelos

engenheiros mecânicos em fases mais avançadas de projeto, não tendo influência sobre a criação do modelo analítico de energia com base em volumetria.

Nas configurações de Serviço da Construção podemos sobrescrever os valores da tabela de operações relacionadas ao tipo de construção definido anteriormente, entrar com o tipo de sistema de aquecimento e resfriamento utilizado para cálculos monetários mais aproximados e a necessidade de trocas de ar por pessoa, área ou por hora. Foi adotado o valor padrão do *software* de 8,00 L/s por pessoa para as três alternativas de volumetria.

Os parâmetros apresentados foram então estipulados em valores idênticos para as três alternativas possibilitando a comparação facilitada entre eles. Os parâmetros adotados ao final podem ser observados na Figura 19.

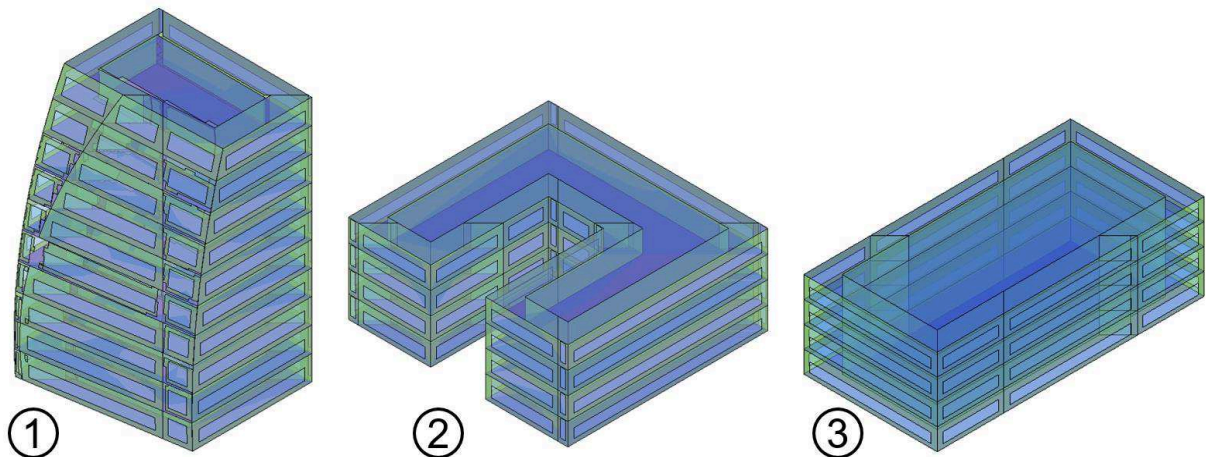
Figura 19 – Painel de “configurações de energia” com os valores adotados.

Parâmetro	Valor
Comum	
Tipo de construção	Escritório
Localização	-27.5927028656006,-48.5060348510742
Nível de referência	Nível 1
Modelo detalhado	
Exportar categoria	Ambientes
Exportar complexidade	Simple com superfícies sombreadas
Incluir propriedades térmicas	<input type="checkbox"/>
Fase do projeto	Construção nova
Tolerância de espaço estreito	30,48
Ambiente de construção	Utilizar o parâmetro de função
Tamanho da célula da grade analítica	91,44
Modelo de energia	
Modo de análise	Utilizar massas conceituais e elementos d
Resolução do espaço analítico	45,72
Resolução da superfície analítica	30,48
Deslocamento de núcleo	360,00
Dividir zonas de perímetro	<input checked="" type="checkbox"/>
Construções conceituais	Editar...
Percentual de destino da vidraça	40%
Altura de destino do parapeito	75,00
A vidraça está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidade da sombra	60,00
Percentual de destino da clarabóia	0%
Largura e profundidade da clarabóia	91,44
Modelo de energia - Serviços de con	
Tabela de operações de construção	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado central, Aque
Informações sobre o ar exterior	Editar...

OK Cancelar

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo *Autodesk Revit*.

Assim sendo, temos como resultados os três modelos para análise energética apresentados a seguir que serão numerados de 1 a 3 na ordem abaixo para facilitar a posterior identificação (Figura 20):

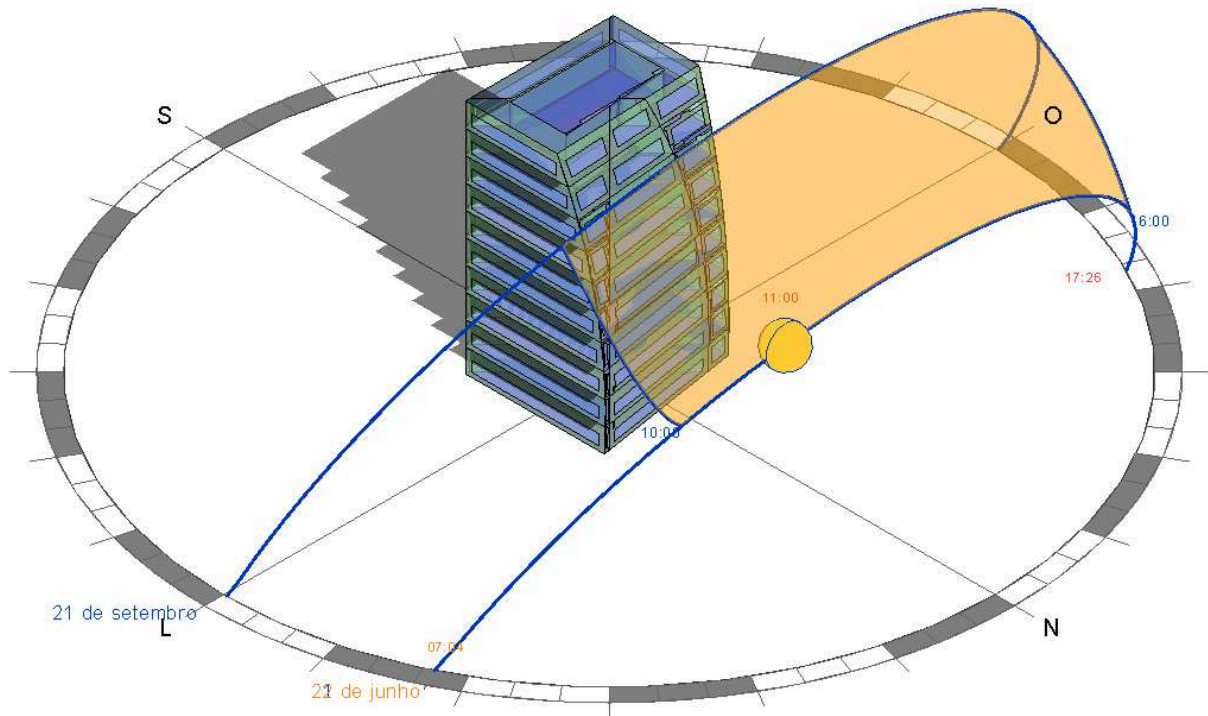
Figura 20 – Modelos para análise energética.

Fonte: A autoria própria. Gerado pelo *Autodesk Revit*.

Tais modelos podem ser então utilizados para a realização de simulações de consumo energético com as ferramentas da própria *Autodesk* ou exportados no formato *gbXML* levando consigo as informações semânticas e geométricas necessárias para a realização de simulações de consumo energético em outras plataformas.

4.1.3 Simulação e análise energética da volumetria

De uma maneira bastante visual, o *Revit* já nos permite realizar um estudo de insolação simplificado dos modelos com base na localização fornecida anteriormente. Sendo assim, o projetista já pode visualizar os efeitos do Sol no volume modelado com suas aberturas esquemáticas em dias e horários específicos do ano, em datas especiais como equinócios e solstícios ou ainda em múltiplos dias para análises de estações do ano como podemos ver na Figura 21 abaixo.

Figura 21 – Estudo de insolação para o inverno da alternativa 1.

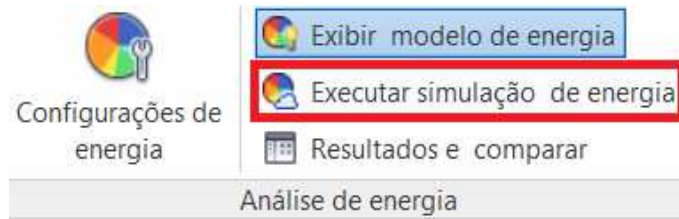
Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

É possível movimentar a representação do Sol por toda a área amarelada, a qual representa todas as possíveis localizações do astro durante o período estipulado, possibilitando a análise de sombras para horários e datas específicos.

Esse tipo de ferramenta de análise acessível e em tempo real, permite validar o modelo durante o próprio processo de modelagem, possibilitando alcançar soluções melhores e mais completas.

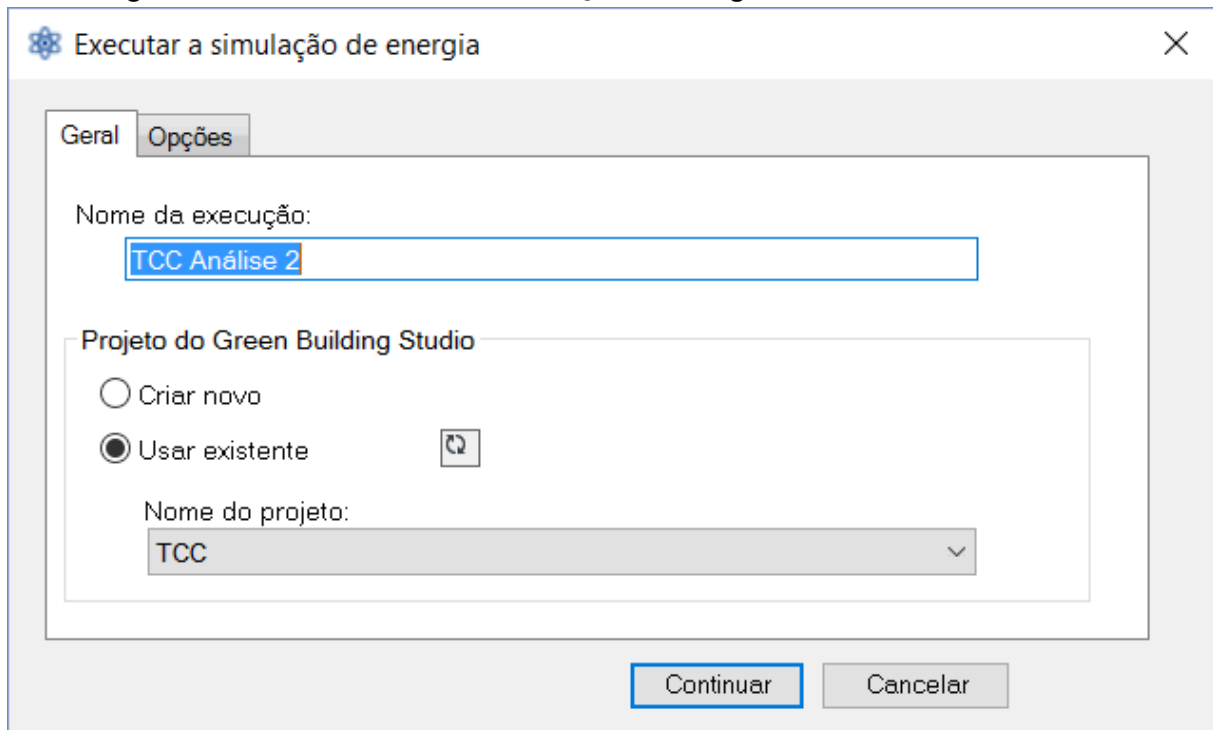
Com os modelos preparados e finalizados é realizada então a simulação energética propriamente dita. No presente estudo foi utilizada a ferramenta na nuvem da Autodesk, o *Green Building Studio*. Sendo a ferramenta integrada ao *Revit*, o processo se torna bastante simples como veremos a seguir.

As alternativas de volumetria foram analisadas individualmente. Primeiramente, com a alternativa de volumetria visível e escolhida como principal, é selecionada a opção “Executar simulação de energia” no painel de “Análise de energia” que podemos visualizar abaixo (Figura 22).

Figura 22 – Aba “Análise de energia” do Autodesk Revit.

Fonte: Autoria própria

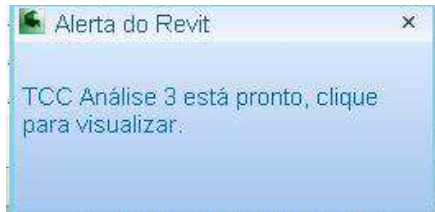
Dessa forma, a janela “Executar a simulação de energia” surge requisitando o “Nome da execução” e em qual projeto do *Green Building Studio* a execução ficará armazenada. Segundo AUTODESK (2016), é sugerido dar nomes bastante representativos para a execução e o projeto facilitando a posterior organização e entendimento. Foi criado então o projeto denominado TCC e dentro desse projeto foram executadas três simulações, a TCC Análise 1, TCC Análise 2 e TCC Análise 3 para cada alternativa de volumetria (Figura 23). A numeração seguiu a ordem apresentada ao final da seção anterior.

Figura 23 – Janela “Executar a simulação de energia” do Autodesk Revit.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Com essas informações o modelo é enviado para o serviço na nuvem e o *software* nos avisa quando a simulação estiver concluída com o *pop-up* abaixo (Figura 24).

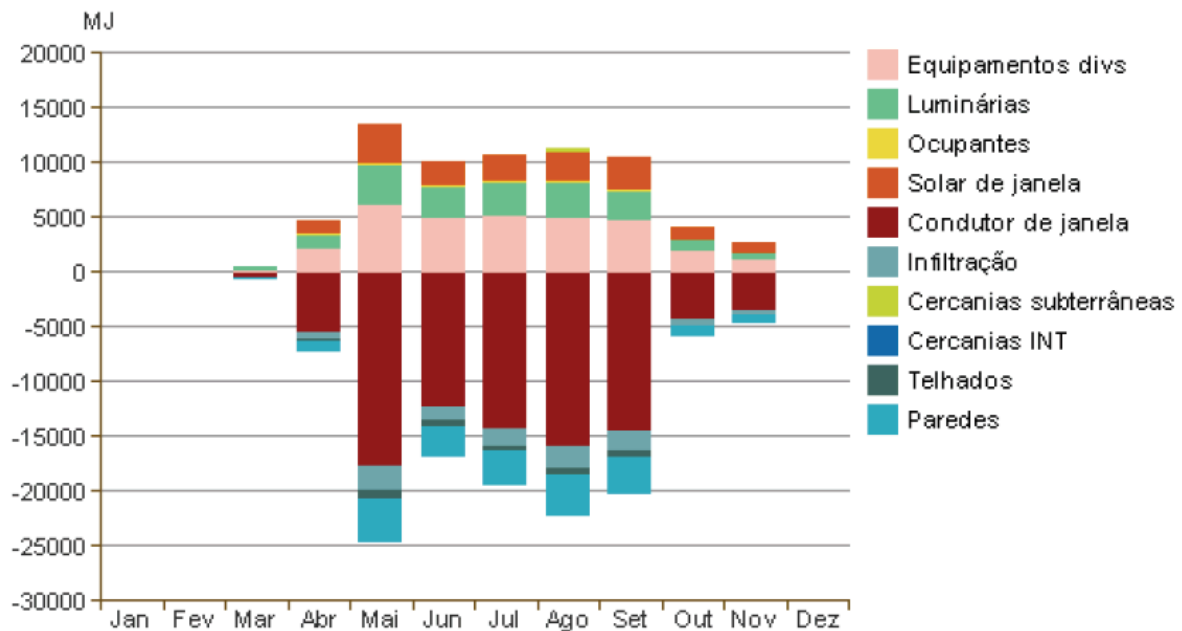
Figura 24 – Alerta do Autodesk Revit.



Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Os resultados então retornam informações a respeito do clima do local (gráficos de temperatura, umidade e aspecto dos ventos da região), cargas mensais de aquecimento e resfriamento, análise do ciclo de vida da edificação, potenciais para instalação de equipamentos de energia renovável, entre outros. Os relatórios completos podem ser conferidos no Apêndice A.

Os resultados das cargas são apresentados em forma de gráfico, possibilitando uma análise visual dos componentes mais críticos do projeto do ponto de vista térmico. Na Figura 25, é apresentado o gráfico com as cargas mensais de aquecimento de uma das alternativas de volumetria.

Figura 25 – Gráfico das cargas mensais de aquecimento da alternativa 3.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo *Green Building Studio*.

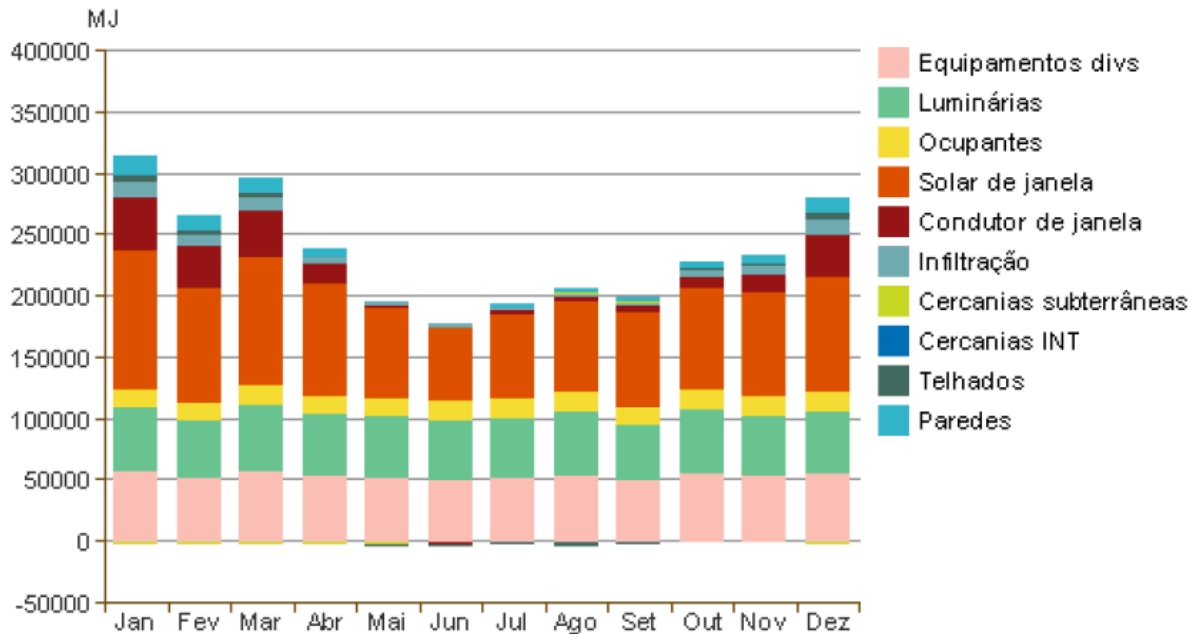
Os valores negativos representam as perdas de calor da edificação para o meio, enquanto os valores positivos são os ganhos de calor, o balanço entre os dois valores nos fornece a carga de aquecimento resultante. Os gráficos são também divididos nas variáveis que provocam essas perdas e ganhos, possibilitando a visualização dos maiores gargalos do projeto e a tomada de decisão facilitada. Existem, como podemos observar, problemas decorrentes da tradução do inglês para o nosso idioma, dificultando em alguns casos a correta identificação das variáveis e podendo levar o projetista a cometer erros de interpretação.

Podemos notar também que os valores de cargas de aquecimento podem parecer exagerados para a localização de Florianópolis, sendo assim a própria AUTODESK SUSTAINABILITY WORKSHOP (2016) reconhece que as simulações do DOE-2 tendem a superestimar essas cargas, recomendando assim o uso dos resultados somente para comparações de alternativas de projeto e não como valores numéricos absolutos.

A seguir podemos observar o gráfico de cargas mensais de resfriamento, também da alternativa 3. Como podemos ver, as variáveis são apresentadas da

mesma forma, entretanto os valores mais expressivos de ganho de calor são encontrados nos meses que vão de dezembro a março, como esperado.

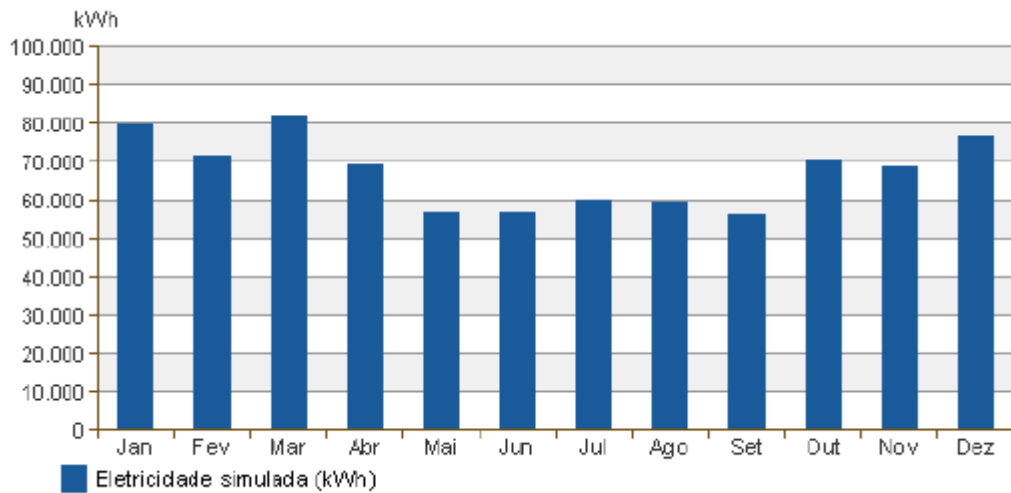
Figura 26 – Gráfico das cargas mensais de resfriamento da alternativa 3.



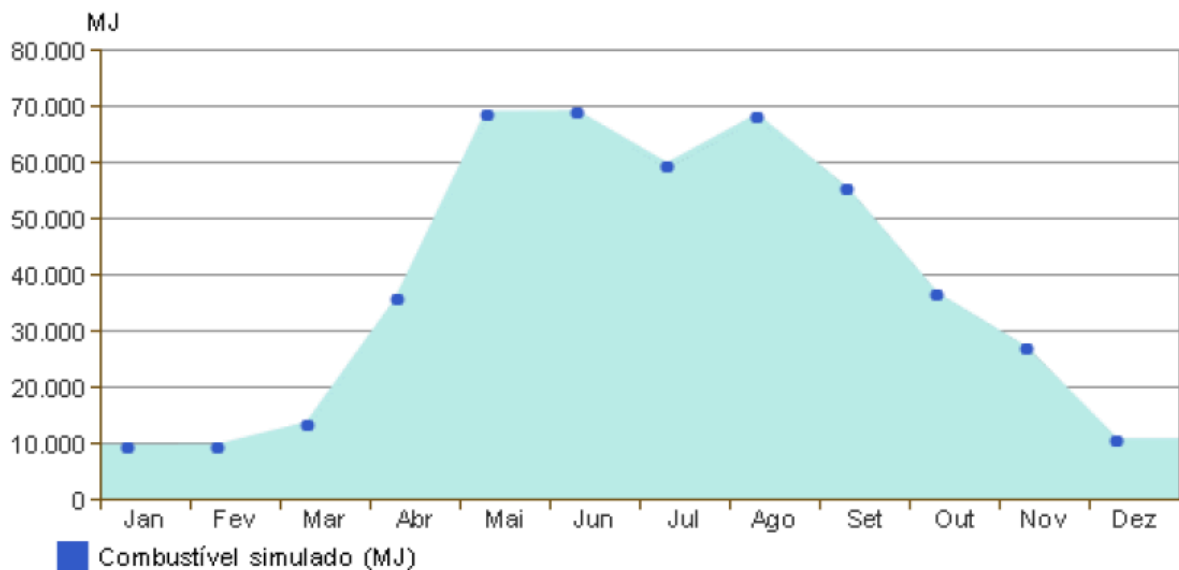
Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Green Building Studio.

Precisamos atentar também para as escalas do eixo Y dos gráficos apresentados acima. O gráfico das cargas mensais de resfriamento (Figura 26) chega ao valor de mais de 300 mil MJ, enquanto no gráfico das cargas de aquecimento (Figura 25) o valor máximo não chega a 25 mil. Podemos concluir, dessa forma, que o projeto é dominado majoritariamente por cargas de resfriamento, entretanto tal apresentação dos resultados pode levar a interpretações errôneas do projetista.

Podemos ainda analisar os gastos com resfriamento e aquecimento das propostas de volumetria por meio de gráficos como os apresentados na Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 – Consumo mensal de eletricidade da alternativa 3.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo *Green Building Studio*.

Figura 28 – Consumo mensal de combustível da alternativa 3.

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo *Green Building Studio*.

Podemos notar que o consumo de eletricidade aumenta no período de verão por conta do resfriamento exigido pela edificação. Enquanto que o consumo de combustível aumenta no inverno para suprir a demanda de aquecimento. O valor vestigial de 10.000 MJ no consumo de combustível durante o período de verão refere-se ao aquecimento de água. É importante notar que a simulação ocorre considerando que o aquecimento da edificação e da água é feito utilizando combustível para

caldeira. As opções de escolha para a definição desse parâmetro infelizmente são pouco abrangentes, não permitindo uma customização muito aprofundada.

Temos a disposição também informações a respeito do potencial de geração de energia limpa da edificação. São apresentadas estimativas de valores para geração de energia fotovoltaica utilizando a superfície do telhado e eólica. Os dados são apresentados em forma de tabela simples e apresentam variações na eficiência dos painéis fotovoltaicos como visto a seguir na Figura 29.

Figura 29 – Potencial de geração limpa da alternativa 3.

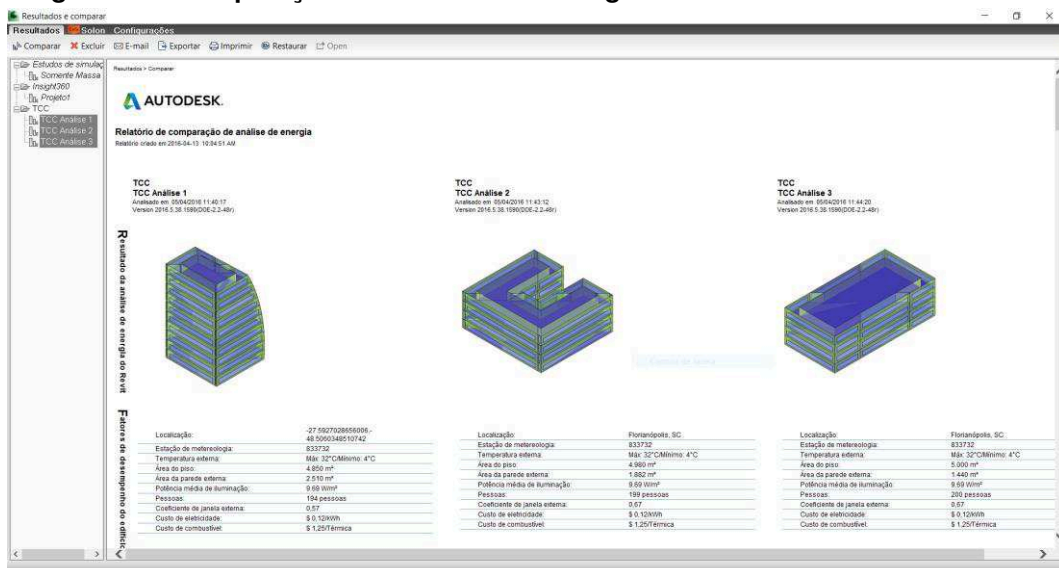
Sistema PV Montado no Telhado (Baixa eficácia):	90,777 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Média eficácia):	181,554 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Alta eficácia):	272,330 kWh/ano
Potencial de Turbina de Vento 15' Única:	776 kWh/ano

*As eficácias PV são assumidas como 5%, 10% e 15% para sistemas de baixa, média e alta eficácia

Fonte: Autoria própria. Gerado pelo **Green Building Studio**.

A ferramenta ainda nos permite comparar facilmente as três alternativas lado-a-lado, possibilitando a visualização simultânea dos diferentes resultados e gráficos (Figura 30). Entretanto os gráficos das alternativas aparecem em escalas diferentes entre si, dificultando a rápida interpretação dos mesmos.

Figura 30 – Comparação das análises de energia.



Fonte: Autoria própria. Gerado pelo **Green Building Studio**.

Realizando a comparação entre as alternativas podemos retirar o valor do consumo por área construída de eletricidade, combustível e energia total das mesmas, os quais são apresentados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente.

Tabela 3 – Intensidade do consumo de eletricidade das alternativas de volumetria.

Alternativa	Intensidade do consumo
TCC Análise 1	186 kWh/m ² /ano
TCC Análise 2	173 kWh/m ² /ano
TCC Análise 3	161 kWh/m ² /ano

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Intensidade do consumo de combustível das alternativas de volumetria.

Alternativa	Intensidade do consumo
TCC Análise 1	150 MJ/m ² /ano
TCC Análise 2	117 MJ/m ² /ano
TCC Análise 3	92 MJ/m ² /ano

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Intensidade do consumo de energia das alternativas de volumetria.

Alternativa	Intensidade do consumo
TCC Análise 1	828 MJ/m ² /ano
TCC Análise 2	739 MJ/m ² /ano
TCC Análise 3	673 MJ/m ² /ano

Fonte: Autoria própria.

Como proposto na metodologia podemos concluir que a alternativa 3 se mostra a mais eficiente do ponto de vista energético dentre as opções simuladas.

4.1.4 Otimização da alternativa escolhida

Para a volumetria escolhida a motor de simulação *Green Building Studio* realizou as simulações 111 vezes, alterando parâmetros como orientação solar, materiais construtivos conceituais, porcentagem de área de janela, entre outros parâmetros. Dessa forma, é possível analisar os diferentes gastos energéticos que cada alteração causa no modelo como podemos ver na Figura 31.

Figura 31 – Interface do *Green Building Studio* com os resultados das simulações.

Name	Date	User Name	Floor Area (m²)	Energy Use Intensity (MJ/m²/year)	Electric Cost (kWh)	Fuel Cost (MJ)	Total Annual Cost ¹			Total Annual Energy ¹			Compare	Potential Energy Savings
Project Default Utility Rates							Electric	Fuel	Energy	Electric (kWh)	Fuel (MJ)	Carbon Emissions (kg)	Weather Data: CBS_06M12_13_20099	
Base Run					\$0.12	\$0.01	--	--	--	--	--	--		
TCC-Análise 9	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	672.5	\$0.12	\$0.01	\$96.736	\$5.438	\$102.174	806.136	460.426	23.0		
Alternate Run(s) of TCC-Análise 9														
TCC-Análise 3_AltBRAE 90_1-2016	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	687.9	\$0.12	\$0.01	\$100.468	\$5.025	\$105.494	837.236	425.529	21.2		
TCC-Análise 3_HiPer 01a	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	368.5	\$0.12	\$0.01	\$51.249	\$3.602	\$54.850	427.072	304.955	15.2		
TCC-Análise 3_HiPer 02a	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	379.8	\$0.12	\$0.01	\$52.555	\$3.782	\$56.347	437.969	321.164	16.0		
TCC-Análise 3_HiPer 03a	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	415.2	\$0.12	\$0.01	\$54.653	\$5.155	\$59.807	455.442	436.454	21.8		
TCC-Análise 3_HiPer 04a	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	373.7	\$0.12	\$0.01	\$51.259	\$3.908	\$55.167	427.159	336.999	16.5		
TCC-Análise 3_HiPer 02b	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	366.7	\$0.12	\$0.01	\$52.735	\$4.150	\$56.885	439.459	351.377	17.5		
TCC-Análise 3_HiPer 03b	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	425.6	\$0.12	\$0.01	\$54.987	\$5.653	\$60.639	458.223	478.631	23.9		
TCC-Análise 3_HiPer 01c	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	374.7	\$0.12	\$0.01	\$51.362	\$3.926	\$55.288	428.018	332.415	16.6		
TCC-Análise 3_HiPer 02c	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	387.7	\$0.12	\$0.01	\$52.834	\$4.176	\$57.010	440.260	353.806	17.6		
TCC-Análise 3_HiPer 03c	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	426.2	\$0.12	\$0.01	\$55.101	\$5.646	\$60.747	459.175	478.053	23.8		
TCC-Análise 3_Base Model	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	674.1	\$0.12	\$0.01	\$98.854	\$5.493	\$102.347	807.117	465.106	23.2		
TCC-Análise 3_5%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	667.5	\$0.12	\$0.01	\$98.232	\$5.320	\$101.552	801.935	450.472	22.5		
TCC-Análise 3_15%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	669.9	\$0.12	\$0.01	\$96.447	\$5.388	\$101.836	803.729	456.235	22.8		
TCC-Análise 3_30%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	672.3	\$0.12	\$0.01	\$96.653	\$5.458	\$102.111	805.441	462.126	23.0		
TCC-Análise 3_40%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	674.1	\$0.12	\$0.01	\$98.812	\$5.505	\$102.318	806.768	466.173	23.2		
TCC-Análise 3_50%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	676.6	\$0.12	\$0.01	\$96.978	\$5.590	\$102.538	808.151	470.801	23.5		
TCC-Análise 3_55%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	678.8	\$0.12	\$0.01	\$97.228	\$5.639	\$102.864	810.214	477.439	23.8		
TCC-Análise 3_60%	4/5/2016 11:45 AM	mrsh	5,000	681.8	\$0.12	\$0.01	\$97.466	\$5.725	\$103.191	812.218	484.772	24.2		

Fonte: Autoria própria.

Infelizmente a interface *web* apresentada pelo programa é de uso bastante não intuitivo e dificulta em muita a comparação e análise apropriada dos resultados. Podemos observar, portanto, que as informações e dados existem em profusão nos resultados do *software*, mas a própria apresentação dos mesmos acaba por dificultar grande parte da experiência.

Foi possível, apesar disso, visualizar que a alternativa TCC Análise 3_HiPer 01a mostra uma intensidade de uso energético consideravelmente menor do que a alternativa originalmente simulada. Para efeitos de comparação a alternativa mais eficiente utilizou praticamente metade da alternativa originalmente simulada. Infelizmente foi impossível descobrir de maneira intuitiva quais foram os parâmetros modificados para atingir tal marca de consumo de energia. O que foi possível notar, entretanto, é que os parâmetros de densidade de potência de iluminação e de equipamentos foram reduzidos significativamente, podendo apontar a consideração do uso de aparelhos e lâmpadas mais eficientes pela simulação.

A Autodesk no final do ano de 2015 lançou a ferramenta *Insight 360* que permite uma visualização muito mais intuitiva e interativa desses mesmos dados possibilitando um uso muito mais proveitoso das informações, descobrindo assim quais são os parâmetros que mais afetam a edificação, podendo interagir e obter *feedbacks* em

tempo real. Infelizmente, a plataforma apresenta ainda diversos *bugs* e seu potencial não pode ser mensurado no presente trabalho.

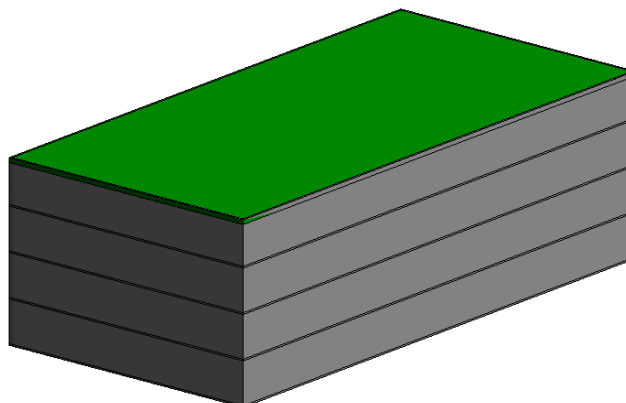
O *plug-in* foi testado em três computadores com configurações distintas (Acer Aspire V Nitro, Macbook Air de 13 polegadas e um desktop HP), duas versões diferentes do *Autodesk Revit* (versão 2016 R2 e a recém lançada versão 2017) e três contas de usuário, sendo uma delas disponibilizada pela própria *Autodesk*. Mesmo assim, não foi possível utilizar o *software*.

4.2 ESTUDO COM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Uma grande vantagem do BIM e do *Autodesk Revit* em específico é a possibilidade de “evoluir” o modelo de volumetria facilmente para um modelo recheado de maiores informações semânticas e detalhamento geométrico.

Com certa facilidade pode-se transformar os pisos de massa, as paredes conceituais e as aberturas em entidades construtivas mais próximas a realidade como podemos ver na Figura 32. Infelizmente podemos notar que o programa não leva em conta as áreas de abertura definidas na criação do modelo para análise energética quando são criados os elementos de parede, sendo necessária a modelagem das esquadrias manualmente atentando para o atendimento das porcentagens definidas anteriormente.

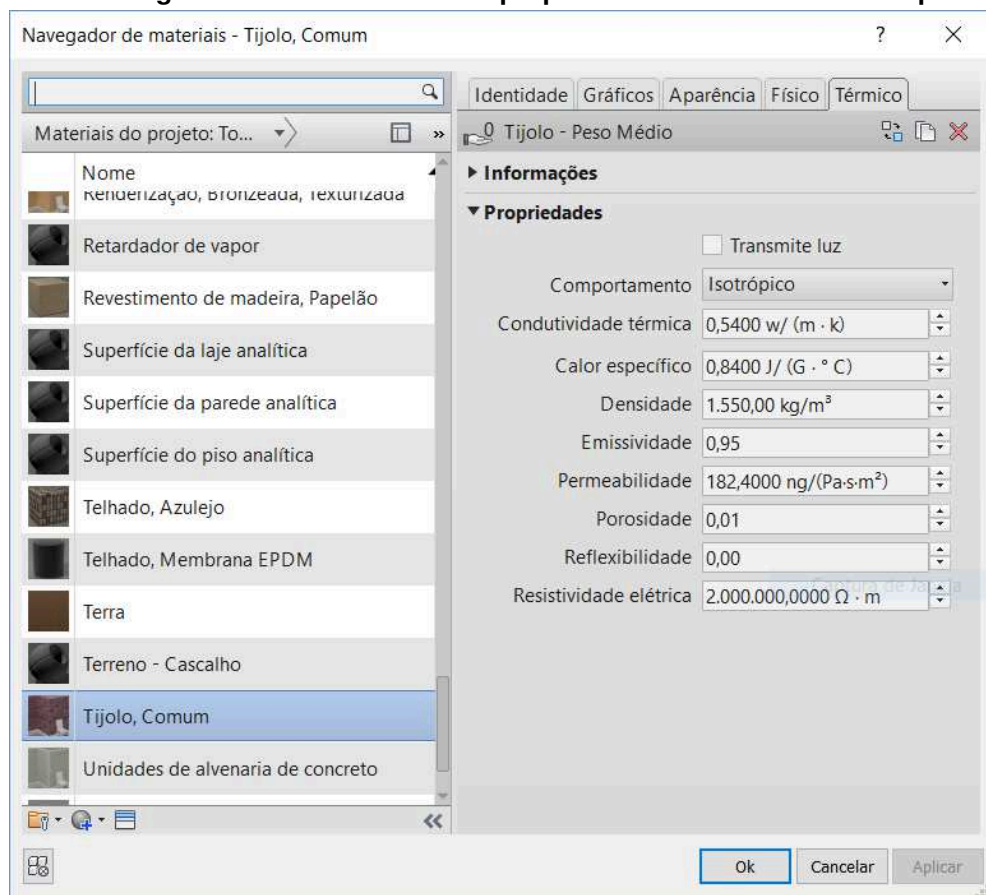
Figura 32 – Volumetria com elementos construtivos básicos.



Fonte: Autoria própria. Gerado pelo *Autodesk Revit*.

Esses elementos construtivos criados apresentam maiores informações geométricas e nos permitem adicionar maiores parâmetros aos mesmos, como custos, materiais construtivos e características físicas. No caso das paredes, é possível adicionar as camadas que as formam, inserir seus materiais constituintes e fornecer as suas características térmicas. Dessa forma, o *software* armazena tais informações, calcula a característica térmica da parede como um todo e pode utilizar esses dados para simulações posteriores. Na Figura 33 podemos observar as propriedades térmicas padrões do *software* para o material tijolo: tais propriedades podem ser alteradas e novos materiais podem ser criados.

Figura 33 – Navegador de materiais com as propriedades térmicas em destaque.



Fonte: Retirado do Autodesk Revit.

Na Figura 34 podemos observar uma parede criada com camadas e materiais definidos resultando em uma característica de comportamento térmico do conjunto. Sendo assim, o *Revit* permite criar uma infinidade de tipos de paredes que acabam

por espelhar as diversas formas construtivas que temos na indústria da construção civil e possibilitar simulações mais apuradas se tivermos todas essas informações durante o projeto.

Figura 34 – Parede exemplo com suas propriedades térmicas.

Editar montagem

Família: Parede básica
 Tipo: Genérico - 200 mm
 Espessura total: 20,00
 Resistência (R): 0,3345 (m²·K)/W
 Massa térmica: 24,97 kJ/K

Altura da amostra: 600,00

Camadas

LADO EXTERNO					
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural
1	Limite do núcleo	Camadas acima da virada		0,00	
2	Substrato [2]	Concreto, Faixa de areia/	2,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comum	16,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Substrato [2]	Concreto, Faixa de areia/	2,00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Limite do núcleo	Camadas abaixo da virada		0,00	

LADO INTERNO

Inserir Excluir Acima Abaixo

Virada do revestimento-padrão

Nas inserções: Não virar
 Nas extremidades: Nenhum

Modificar estrutura vertical (somente na visualização do corte)

Modificar Mesclar regiões Extrusão por percurso
 Atribuir camadas Dividir região Frisos

<< Visualizar OK Cancelar Ajuda

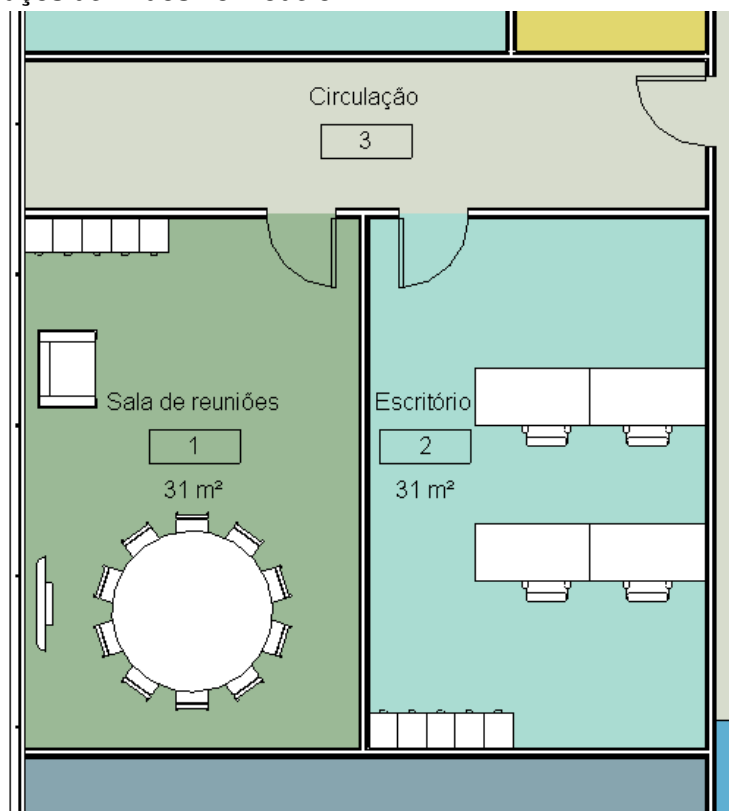
Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

O mesmo procedimento de criação de camadas pode ser aplicado para os pisos e os telhados, permitindo a criação de uma biblioteca bastante vasta abrangendo toda a edificação e seus elementos construtivos.

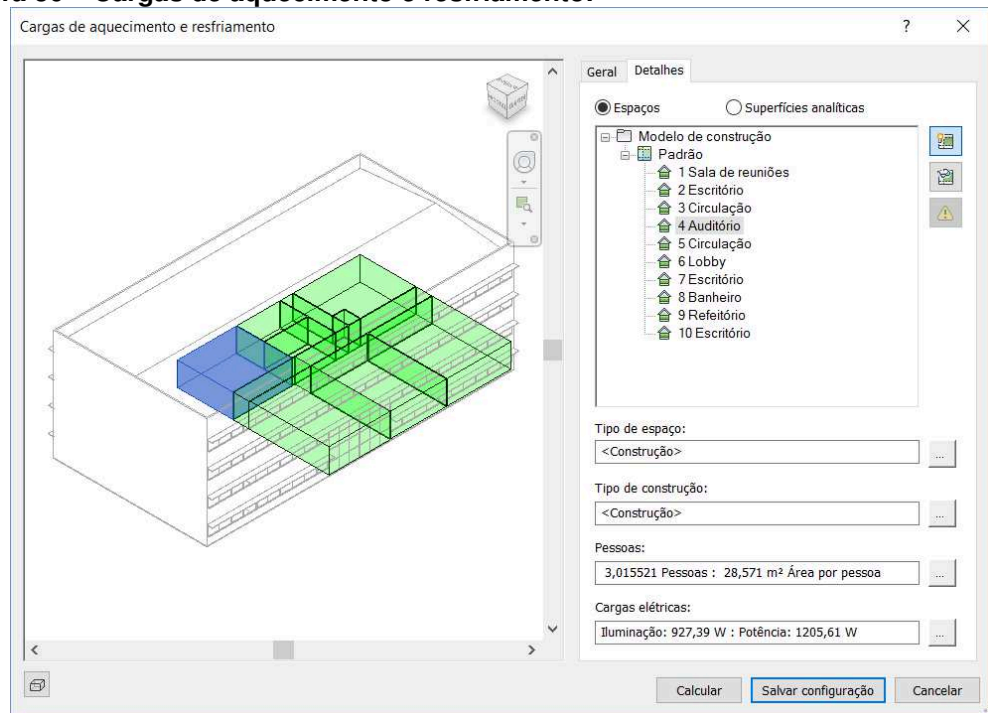
É possível também adicionarmos diferentes zonas térmicas, as quais o *Autodesk Revit* denomina como “espaços”. Na Figura 35 foram definidos alguns espaços diferentes. Podemos atribuir características de uso e de materiais construtivos para essas salas separadamente conforme demonstrado na Figura 36. Tais características podem ser usadas para os cálculos de carga térmica necessários para o dimensionamento de sistemas de climatização e ventilação mecânica. Para esse dimensionamento é possível ainda informar o tipo de condição para sala

(aquecida e resfriada, somente aquecida ou resfriada, sem ar condicionado, ventilada ou ventilação natural) e informar cargas de aquecimento e resfriamento diferentes das calculadas pelo *software*.

Figura 35 – Espaços definidos no modelo.

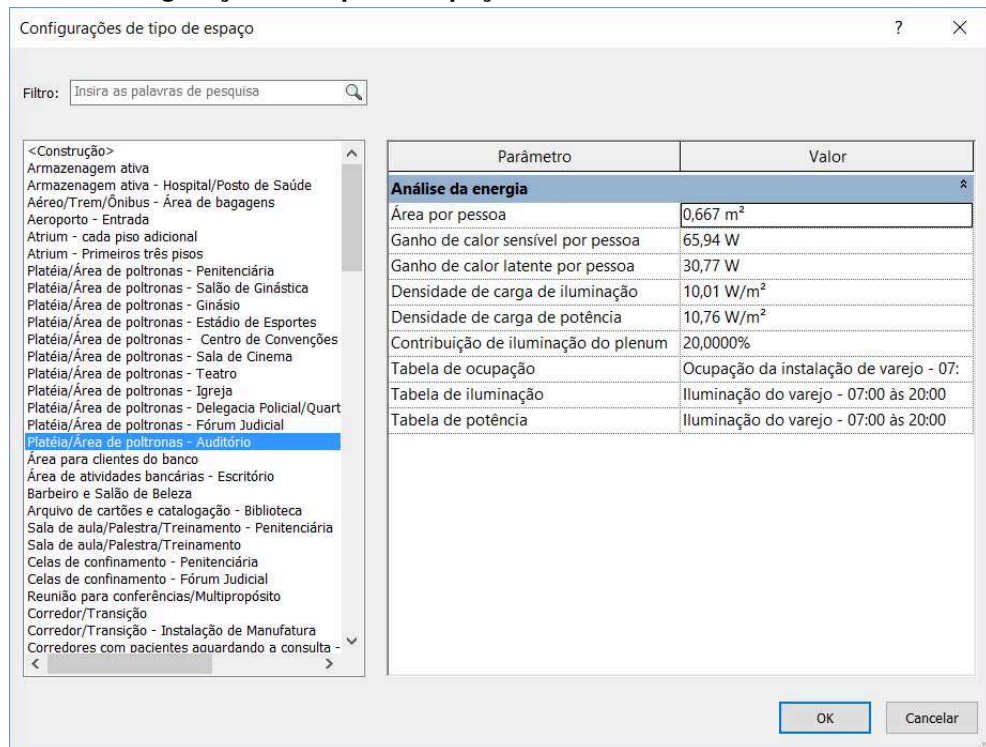


Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Figura 36 – Cargas de aquecimento e resfriamento.

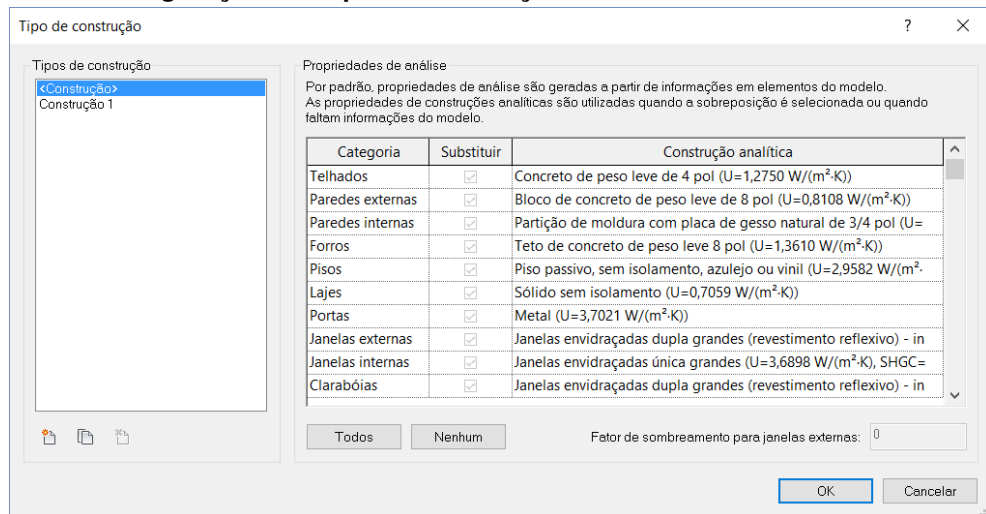
Fonte: Autoria própria. Gerado pelo Autodesk Revit.

Para definirmos o tipo de espaço escolhemos a opção que mais se adequa ao uso futuro da sala, assim sendo, parâmetros como área por pessoa, ganho de calor sensível e latente por pessoa e outros são ajustados para permitir um cálculo mais preciso das cargas térmicas (Figura 37).

Figura 37 – Configurações de tipo de espaço.

Fonte: Retirado do *Autodesk Revit*.

É possível também definir o tipo de construção quando adicionamos informações nos espaços criados. Tal informação pode complementar as características térmicas dos elementos modelados ou até substituí-las. Essa possibilidade surge para que o engenheiro responsável pelo projeto de climatização e ventilação mecânica tenha um controle mais centralizado sobre as características dos elementos dos espaços (Figura 38).

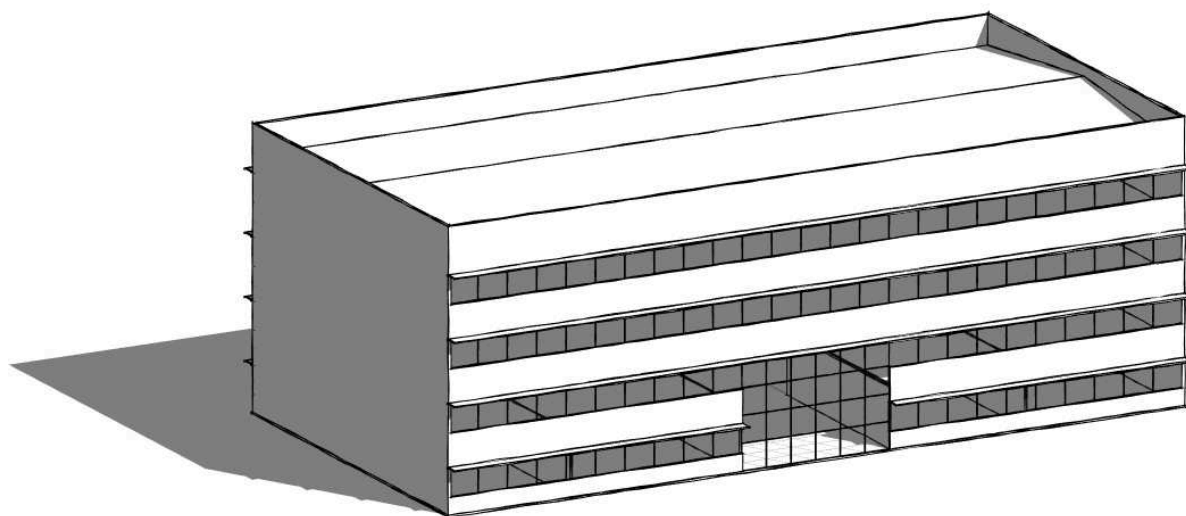
Figura 38 – Configurações do tipo de construção.

Fonte: Retirado do Autodesk Revit.

Podemos notar que nessa tabela as características térmicas das alternativas de construção são apresentadas simplificadaamente, entretanto a maneira para alterar os valores das características térmicas ou adicionar novos tipos de construção analítica se apresenta de forma bastante não intuitiva. É necessário navegar por várias pastas nos arquivos de instalação do *software* (no caso do notebook utilizado para esse trabalho: C:\Program Files\Autodesk\Revit 2016\en-US) e modificar com bastante cautela o arquivo *Constructions.xml*, criando assim uma barreira para o projetista customizar o seu projeto como necessário.

Tais informações também ficam armazenadas no modelo e disponíveis quando uma simulação ou o próprio usuário as demandarem tornando o modelo inteligente e responsivo. Dessa forma, podemos continuar com os detalhamentos até atingir níveis mais elevados de desenvolvimento (LOD 300, 400, até 500) permitindo outros usos do modelo BIM durante o ciclo de vida da edificação (Figura 39).

Figura 39 – Modelo com um maior nível de desenvolvimento.



Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho podemos separar as conclusões em algumas partes principais: as ferramentas de modelagem, as ferramentas de análise e, por fim, o processo utilizando a tecnologia BIM.

As ferramentas de modelagem de massas conceituais utilizadas se apresentaram de forma bastante intuitiva permitindo a criação das formas pretendidas. A existência de parâmetros automáticos em conjunto com informações facilmente acessíveis (como da área total da edificação) permitem a manipulação bastante veloz e assertiva da geometria das volumetrias.

A utilização das alternativas de projeto em paralelo ao processo de modelagem culminou na significativa redução da problemática de conflitos entre arquivos diferentes representando a mesma edificação. É possível realizar todos os estudos de alternativas geométricas em um mesmo arquivo, facilitando o controle da informação e o futuro desenvolvimento da alternativa escolhida.

Com as alternativas de volumetria modeladas nos foi apresentado o fato de podermos entrar com todas as informações necessárias para a análise energética em apenas uma janela e sem a necessidade de remodelagem geométrica em outro *software*, tornando o processo muito mais acessível e preciso para o projetista. Essas características em conjunto com o fato das simulações acontecerem na nuvem incentiva o projetista a realizar muito mais iterações de projeto buscando a melhor solução.

Entretanto, as ferramentas de análise ainda apresentam deficiências, principalmente no tocante à apresentação de resultados e na bibliografia de suporte. Os resultados, como pudemos observar, são apresentados de forma confusa. Gráficos, como os de carga térmica, nos permitem realizar avaliações gerais do comportamento térmico da edificação proposta, mas não são claros se quisermos nos aprofundar nas suas informações e nem tampouco claras são as explicações da Autodesk a respeito desses resultados. Em conjunto com uma tradução para o português extremamente discutível e escolhas não usuais de unidades, acabamos tendo uma dificuldade para realizar análises mais aprofundadas da edificação.

Fica claro ainda que a plataforma *Green Building Studio* precisa apresentar grandes evoluções na sua interface para permitir uma otimização satisfatória da alternativa de volumetria escolhida. Possivelmente a ferramenta *Insight 360* surge para suprir essa deficiência, mas ainda não atingiu um nível de maturidade para ser considerada estável para o uso.

Porém, foi possível notar pela bibliografia e pelos próprios resultados desse trabalho que o objetivo atual da Autodesk com as suas ferramentas para análise energética na fase de volumetria é de assessorar o projetista apenas no entendimento básico do comportamento energético do seu projeto, não estimulando a busca por informações mais complexas a respeito do desempenho da edificação. Entretanto, essa abordagem aumenta o risco de informações errôneas serem inseridas no modelo, fazendo com que o projetista possa tirar conclusões precipitadas e equivocadas a respeito das suas volumetrias.

Por fim, ao analisarmos puramente o processo utilizando a tecnologia BIM, podemos notar vantagens claras como uma redução do retrabalho e uma confiabilidade das informações muito maior. A não necessidade de remodelagem nos permite um processo ininterrupto resultando em uma grande confiança de que a informação não foi perdida e que os modelos estão todos coerentes entre si.

Quando passamos à fase de estudos conceituais, por exemplo, a possibilidade de “evoluir” as informações geométricas e semânticas a partir da modelagem de massa conceitual surge como uma ótima ferramenta, poupando retrabalho e diminuindo as chances de erros e incoerências na modelagem posterior.

Temos ainda a existência de opções para a continuação de um trabalho mais profundo de análises de cargas térmicas para dimensionamento até de sistemas de HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) com a definição de espaços e zonas no mesmo modelo no qual vínhamos trabalhando até esse momento. Infelizmente, certas opções dessa etapa se apresentam de forma não intuitiva para o projetista, escondendo-se em arquivos obscuros nas pastas de instalação do *software*.

A possibilidade de realizar essas análises, dimensionamentos e tomadas de decisão na etapa de projeto surgem como um novo paradigma para a construção civil, aumentando a produtividade dos projetistas, diminuindo drasticamente o retrabalho, facilitando o processo de decisão embasado de soluções de arquitetura e engenharia

e, assim sendo, contribuindo para o surgimento de edificações mais sustentáveis e eficientes. Entretanto, deve-se atentar para novos complicadores no processo de projeto: discussões sobre a responsabilidade da entrada de informações no modelo (por exemplo, as características térmicas dos elementos), direitos autorais do modelo, formas de comunicação entre as equipes de trabalho, definições do que deve ou não conter o modelo, etc. Essas discussões exigirão novas responsabilidades para os projetistas, para a equipe de coordenação do projeto e para o executor, além de novos conhecimentos para o cliente, exigindo assim novos estudos e experiências práticas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, sugerem-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- a) Quantificar os impactos dos parâmetros na criação de arquivos gbXML;
- b) Desenvolvimento de projeto interdisciplinar (arquitetura, eficiência energética e dimensionamento HVAC completo);
- c) Realização de comparativos entre os métodos de projeto tradicional e com uso de BIM utilizando parâmetros para medição de produtividade;
- d) Utilização de *softwares* variados para a criação e análise dos modelos testando a eficiência de interoperabilidade dos formatos gbXML e IFC;
- e) Realização de modelagem de edificação existente e comparação dos resultados das análises aos obtidos em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECBytes. Building Performance Analysis in Revit 2016 R2 with Autodesk Insight 360. Disponível em: <<http://aecbytes.com/tipsandtricks/2015/issue76-revit.html>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2016.

Autodesk. Caixa de diálogo Configurações de energia. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/PTB/?guid=GUID-C524B6AE-EE0A-49F5-A33A-FEFF601E7818>>. Acesso em 11 de abril de 2016.

Autodesk. Green Building Studio. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

Autodesk Sustainability Workshop. Vasari/Revit: Basic Energy Loads. Disponível em: <<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/vasarirevit-basic-energy-loads>>. Acesso em: 26 de abril de 2016.

Autodesk Building Performance Analysis. Why is Autodesk Investing in EnergyPlus? Disponível em: <<http://autodesk.typepad.com/bpa/2015/01/why-is-autodesk-investing-in-energy-plus.html>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

Bentley. AECOsim Building Designer. Disponível em: <<https://www.bentley.com/en/products/brands/aecosim>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

buildingSMART History. Disponível em: <<http://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>>. Acesso em: 3 de novembro de 2015.

CHO, Y., BODE, T., & ALASKAR, S. (2009). **BIM-Driven Energy Analysis for Zero Net Energy Test Home (ZNETH)**. The 3rd international conference on construction engineering and management, and the 6th international conference on construction project management. 54-3, 156.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2ª Edição. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. 2011 626 p.

EnergyPlus. EnergyPlus. Disponível em:< <https://www.energyplus.net/>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

EPE. Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiael%C3%A9trica porclasse%E2%80%931995-2009.aspx>>. Acesso em: 16 de novembro de 2015.

Insight 360 Blog. Introducing Autodesk Insight 360. Disponível em: <<http://blogs.autodesk.com/insight360/introducing-autodesk-insight-360-2/>>. Acesso em: 18 de maio de 2016.

Integrated Environmental Solutions. Software. Disponível em: <<http://www.iesve.com/software>>. Acesso em: 18 de novembro de 2015.

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **BIM Guides Serie 1**. 2007, 49 p.

GOVERNO DE SANTA CATARINA: **Caderno BIM: Termo de Referência para desenvolvimento de projetos com o uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM)**. 2014.

JALAEI, F.; JRADE, A. **Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis tools with Green Building certification system to conceptually design sustainable buildings**. ITcon – Journal of Information Technology in Construction. Vol. 19, 494.

KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. 1ª edição. Estados Unidos: Sybex. 2008, 241 p.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. 1ª edição. Estados Unidos: McGraw-Hill Professional. 2008, 270 p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 366 p.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 325 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **Interoperability in the Construction Industry**. 2007.

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

NYC DEPARTMENT OF DESIGN + CONSTRUCTION. **BIM Guidelines**. 2012.

RMI IBPSA-USA. BEM Library. Disponível em: <<http://www.bemlibrary.com/>>. Acesso em 7 de julho de 2016.

STUMPF, A.; KIM, H.; JENICEK, E. **Early design energy analysis using BIMs**. Construction Research Congress. 2009.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. Preface: being lost or becoming lost. **Handbook of research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies**. 2010, Capítulo Preface, xxxi-xxxvii

ANEXO A – Valores fornecidos pela Autodesk

Construções conceituais

Separe as tabelas abaixo para fornecer valores Imperial (IP) e Métricos (SI) para construções conceituais.

Os valores exibidos nas tabelas abaixo são calculados como segue:

Unidades	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
IP	ft ² -hr °F/Btu	lbm/ft ²	Btu/(ft ² • °F)
SI	(m ² • °K)/W	kg/m ²	J/(m ² • °K)

Parede externa de massa - Valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Construção leve - Alto isolamento	4.47	139.54	0.234
Construção leve - Isolamento típico do clima frio	3.05	155.97	0.214
Construção leve - Isolamento típico de clima ameno (padrão)	1.73	184.15	0.193
Construção leve - Baixo isolamento	1.38	301.46	0.196
Construção leve - Sem isolamento	0.49	455.55	0.193
Construção de massa alta - Alto isolamento	2.91	495.67	1.116
Construção de massa alta - Clima frio típico	2.58	477.14	1.081
Construção de massa alta - Clima ameno típico	1.91	512.67	1.080
Construção de massa alta - Sem isolamento	0.24	669.35	1.075

Parede interna de massa - Valores métricos (IP)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Construção leve - Sem isolamento	0.49	455.55	0.193
Construção de massa alta - Sem isolamento (padrão)	0.24	669.35	1.075

Parede externa de massa - Subterrânea com valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Construção de massa alta - Alto isolamento	2.91	495.67	1.116
Construção de massa alta - Clima frio típico	2.58	477.14	1.081
Construção de massa alta - Clima ameno típico (padrão)	1.91	512.67	1.080
Construção de massa alta - Sem isolamento	0.24	669.35	1.075

Massa do telhado - Valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Alto isolamento - Telhado frio	5.63	108.25	0.158
Alto isolamento - Telhado escuro	5.63	108.25	0.158
Isolamento típico - Telhado frio (padrão)	3.87	73.04	0.123
Isolamento típico - Telhado escuro	3.87	73.04	0.123
Baixo isolamento - Telhado frio	2.11	101.56	0.109
Baixo isolamento - Telhado escuro	2.11	101.56	0.109
Sem isolamento - Telhado escuro	0.35	227.82	0.095

Piso da massa - Valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Construção leve - Alto isolamento	5.81	23.54	0.069
Construção leve - Isolamento típico (padrão)	3.67	33.13	0.068
Construção leve - Baixo isolamento	2.48	48.57	0.066
Construção leve - Sem isolamento	0.74	156.51	0.032

Laje da massa - Valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	R-value	Densidade da unidade	Capacidade de aquecimento
Construção de massa alta - Isolamento de laje de clima frígido	2.84	602.93	1.203
Construção de massa alta - Isolamento de laje de clima frio	1.96	602.93	1.203
Construção de massa alta - Sem isolamento (padrão)	1.08	602.93	1.203

Vidraça da massa - Valores métricos (IP)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	U-value	SHGC	Tvis
Painel claro único - Sem revestimento	6.18	0.81	0.88
Painel único - Colorido	6.32	0.71	0.61
Painel único - Refletivo	5.06	0.28	0.13
Painel claro duplo - Sem revestimento (padrão)	3.17	0.69	0.78
Painel duplo - Colorido	3.24	0.61	0.55
Painel duplo - Refletivo	2.40	0.19	0.10
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC alto	1.96	0.67	0.72
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC baixo	1.68	0.44	0.70
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC baixo	1.63	0.27	0.64
Painel claro triplo - Clima quente ou frio baixoE	1.26	0.47	0.64
Painel claro quádruplo - Clima quente ou frio baixoE	0.66	0.45	0.62

Clarabóia da massa - Valores métricos (SI)

A tabela a seguir mostra os valores SI.

Construções conceituais	U-value	SHGC	Tvis
Painel único - Colorido	6.32	0.71	0.61
Painel único - Refletivo	5.06	0.28	0.13
Painel claro duplo - Sem revestimento (padrão)	3.17	0.69	0.78
Painel duplo - Colorido	3.24	0.61	0.55
Painel duplo - Refletivo	2.40	0.19	0.10
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC alto	1.96	0.67	0.72
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC baixo	1.68	0.44	0.70
Painel claro duplo - Clima frio baixoE, SHGC baixo	1.63	0.27	0.64
Painel claro triplo - Clima quente ou frio baixoE	1.26	0.47	0.64
Painel claro quádruplo - Clima quente ou frio baixoE	0.66	0.45	0.62

Sombra de massa

Selecione a sombra básica. Assuma-se que a sombras de massa seja opacas.

Use sombras e saliências para reduzir as cargas de resfriamento, minimizar os ganhos de aquecimento solar e aumentar o conforto. Para projetos com cargas internas menores, com um construções residenciais, as saliências podem potencialmente aumentar as cargas de aquecimento. Essa questão não é normalmente uma preocupação com projetos não-residenciais de grande porte, devido aos seus ganhos maiores de calor interno.

Abertura de massa

Selecione Ar.

As aberturas são modeladas como vazios em superfícies que são expostas a condições climáticas.

APÊNDICE A



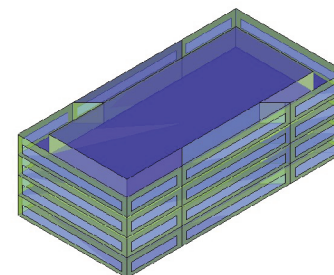
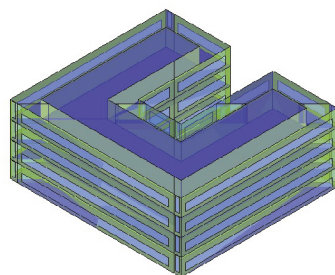
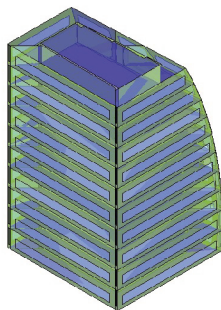
Relatório de comparação de análise de energia

Relatório criado em 2016-05-06 08:59:59 AM

TCC
TCC Análise 1
Analisado em 05/04/2016 11:40:17
Version 2016.5.38.1590(DOE-2.2-48r)

TCC
TCC Análise 2
Analisado em 05/04/2016 11:43:12
Version 2016.5.38.1590(DOE-2.2-48r)

TCC
TCC Análise 3
Analisado em 05/04/2016 11:44:20
Version 2016.5.38.1590(DOE-2.2-48r)



Resultado da análise de energia do Revit

Fatores de desempenho do edifício

Localização:	-27.5927028656006,-48.5060348510742
Estação de meteorologia:	833732
Temperatura externa:	Méd: 32°C/Mínimo: 4°C
Área do piso:	4.850 m²
Área da parede externa:	2.510 m²
Potência média de iluminação:	9.69 W/m²
Pessoas:	194 pessoas
Coefficiente de janela externa:	0,57
Custo de eletricidade:	\$ 0,12/kWh
Custo de combustível:	\$ 1,25/lítrima

Localização:	Florianópolis, SC
Estação de meteorologia:	833732
Temperatura externa:	Méd: 32°C/Mínimo: 4°C
Área do piso:	4.980 m²
Área da parede externa:	1.882 m²
Potência média de iluminação:	9.69 W/m²
Pessoas:	199 pessoas
Coefficiente de janela externa:	0,67
Custo de eletricidade:	\$ 0,12/kWh
Custo de combustível:	\$ 1,25/lítrima

Localização:	Florianópolis, SC
Estação de meteorologia:	833732
Temperatura externa:	Méd: 32°C/Mínimo: 4°C
Área do piso:	5.000 m²
Área da parede externa:	1.440 m²
Potência média de iluminação:	9.69 W/m²
Pessoas:	200 pessoas
Coefficiente de janela externa:	0,67
Custo de eletricidade:	\$ 0,12/kWh
Custo de combustível:	\$ 1,25/lítrima

Intensidade de utilização de energia

EUI de eletricidade:	186 kWh/s/m²ano
EUI de combustível:	160 MJ/s/m²ano
EUI total:	828 MJ/s/m²ano

EUI de eletricidade:	173 kWh/s/m²ano
EUI de combustível:	117 MJ/s/m²ano
EUI total:	739 MJ/s/m²ano

EUI de eletricidade:	161 kWh/s/m²ano
EUI de combustível:	92 MJ/s/m²ano
EUI total:	673 MJ/s/m²ano

do ciclo de vida da energia

Utiliza ² o de ciclo de vida da eletricidade:	27,033,432 kWh
Utiliza ² o do ciclo de vida do combustível:	23,219,473 MJ
Custo de ciclo de vida da energia:	\$ 1.597,280

*Vida por 30 anos e 6.1% de taxa de desconto para custos

Utiliza ² o de ciclo de vida da eletricidade:	25,808,589 kWh
Utiliza ² o do ciclo de vida do combustível:	17,481,931 MJ
Custo de ciclo de vida da energia:	\$ 1.499,787

*Vida por 30 anos e 6.1% de taxa de desconto para custos

Utiliza ² o de ciclo de vida da eletricidade:	24,184,074 kWh
Utiliza ² o do ciclo de vida do combustível:	13,812,790 MJ
Custo de ciclo de vida da energia:	\$ 1.391,610

*Vida por 30 anos e 6.1% de taxa de desconto para custos

Potencial de energia renovável

Sistema PV Montado no Telhado (Baixa eficiência):	26,359 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Média eficiência):	52,719 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Alta eficiência):	79,078 kWh/ano
Potencial de Turbina de Vento 15' Única:	776 kWh/ano

*As eficiências PV são assumidas como 5%, 10% e 15% para sistemas de baixa, média de alta eficiência

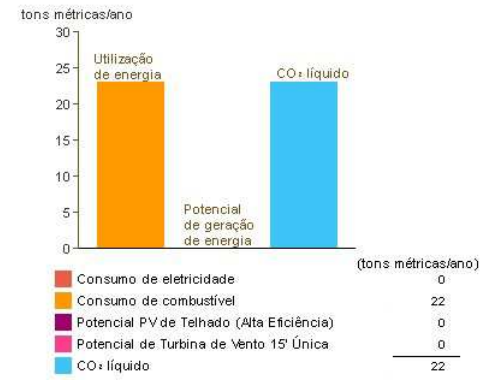
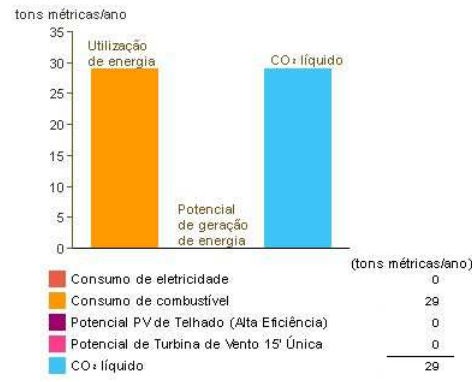
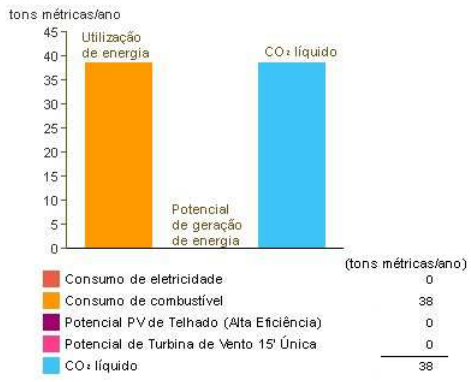
Sistema PV Montado no Telhado (Baixa eficiência):	90,414 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Média eficiência):	180,827 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Alta eficiência):	271,241 kWh/ano
Potencial de Turbina de Vento 15' Única:	776 kWh/ano

*As eficiências PV são assumidas como 5%, 10% e 15% para sistemas de baixa, média de alta eficiência

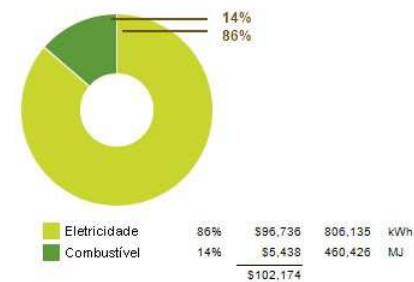
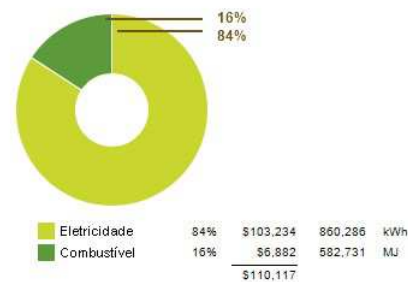
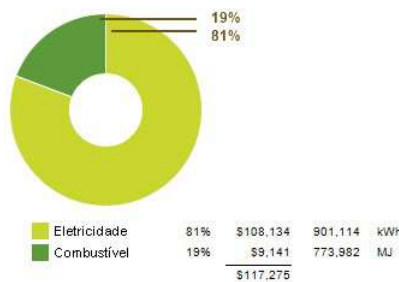
Sistema PV Montado no Telhado (Baixa eficiência):	90,777 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Média eficiência):	181,554 kWh/ano
Sistema PV Montado no Telhado (Alta eficiência):	272,330 kWh/ano
Potencial de Turbina de Vento 15' Única:	776 kWh/ano

*As eficiências PV são assumidas como 5%, 10% e 15% para sistemas de baixa, média de alta eficiência

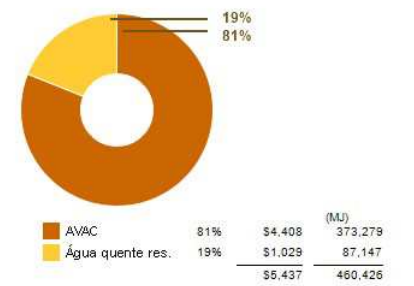
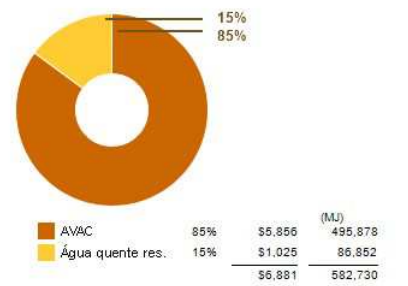
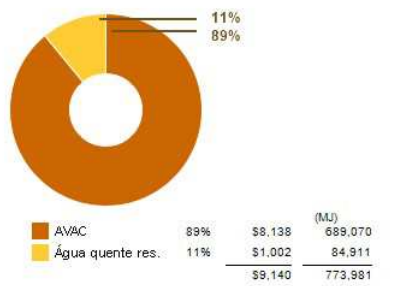
Emissões anuais de carbono



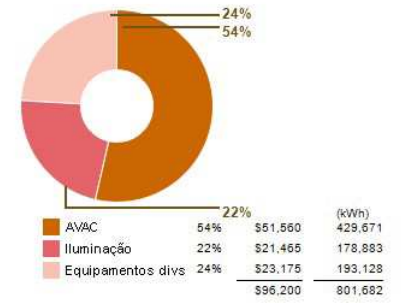
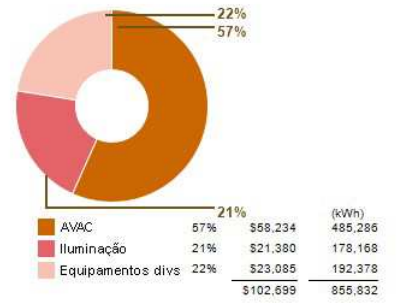
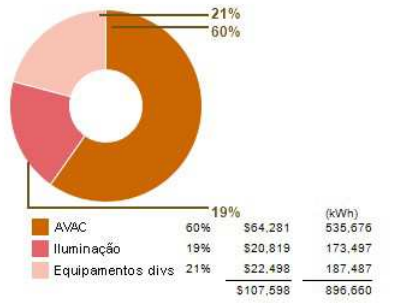
Utiliza²o do custo anual de energia



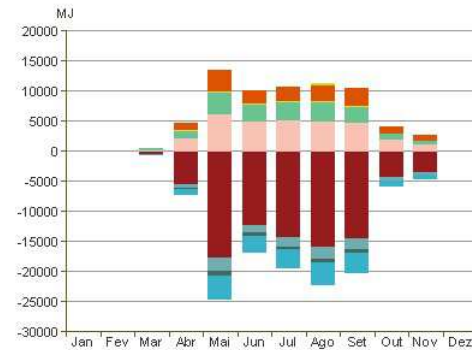
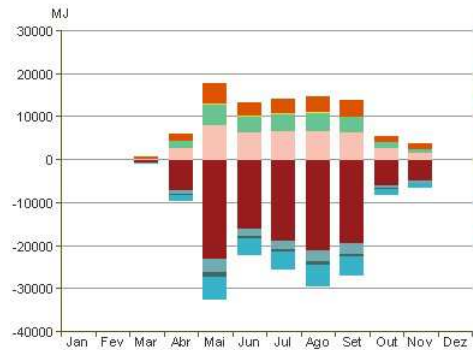
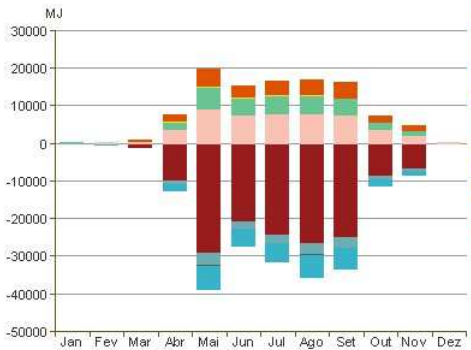
Utilização da energia: Combustível



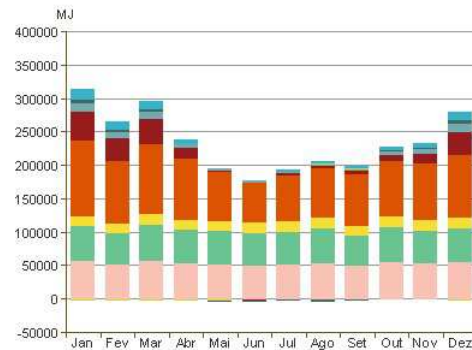
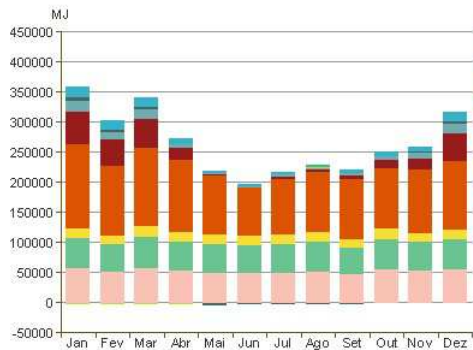
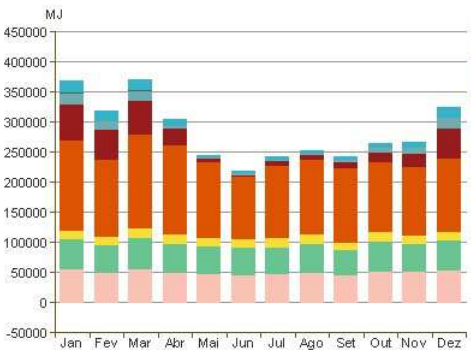
Utilização da energia: Eletricidade



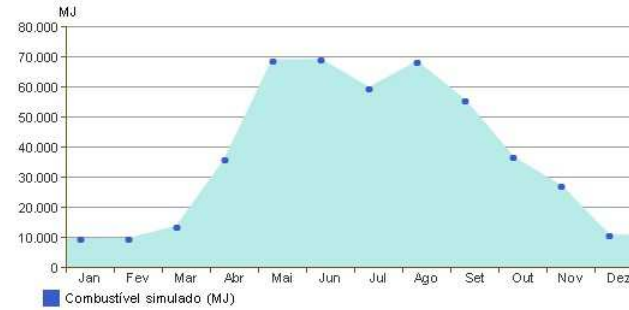
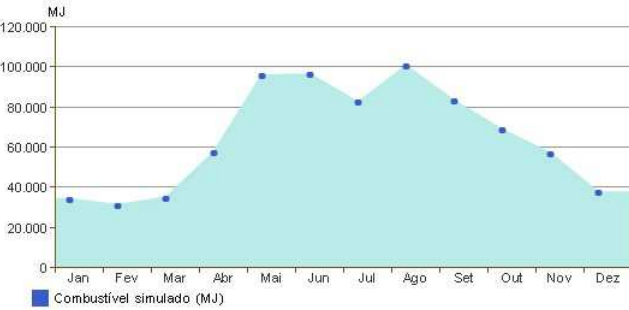
Carga mensal de aquecimento

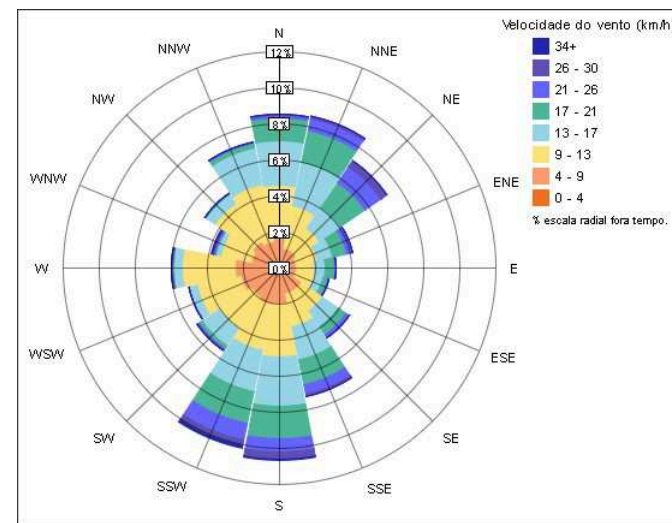
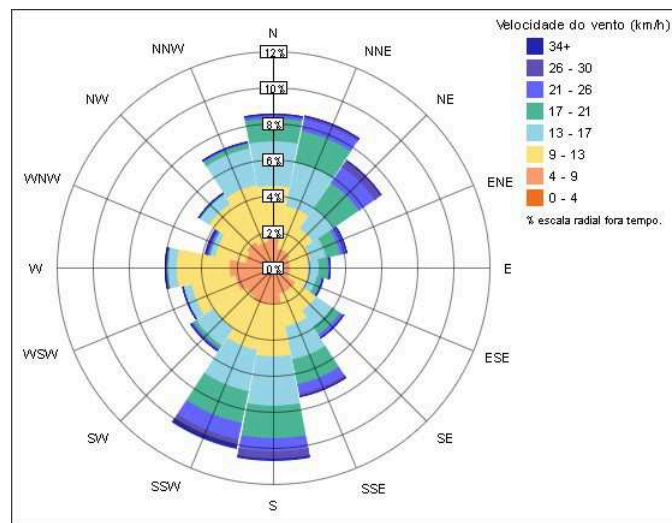
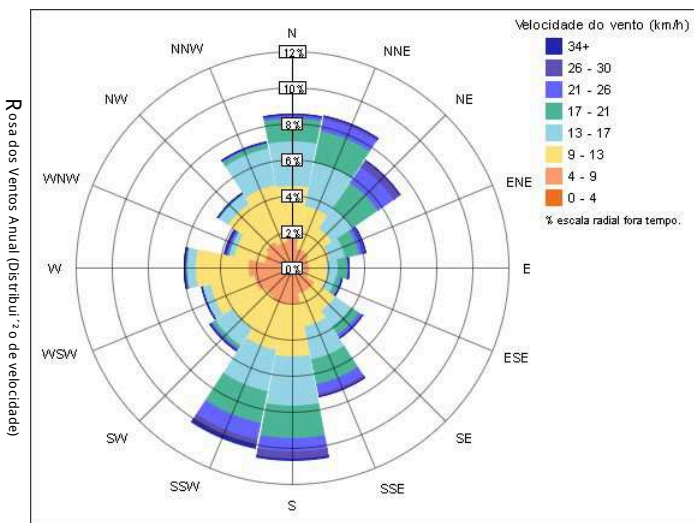
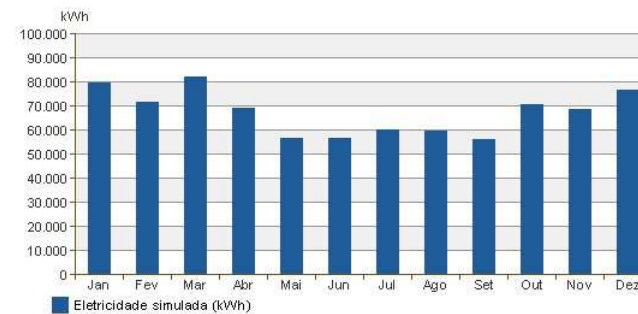
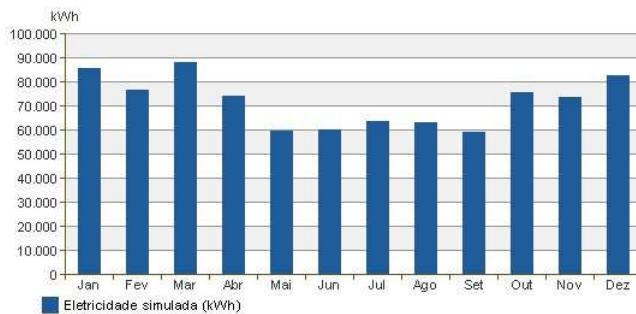
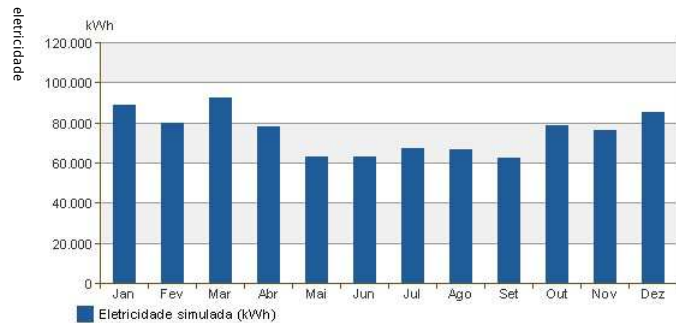


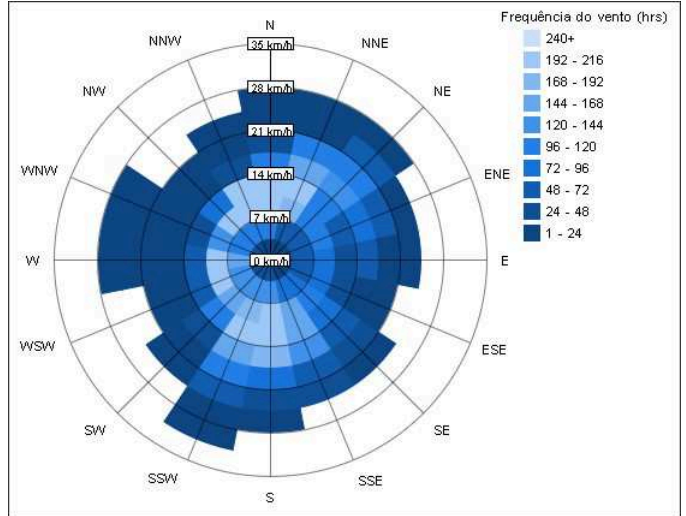
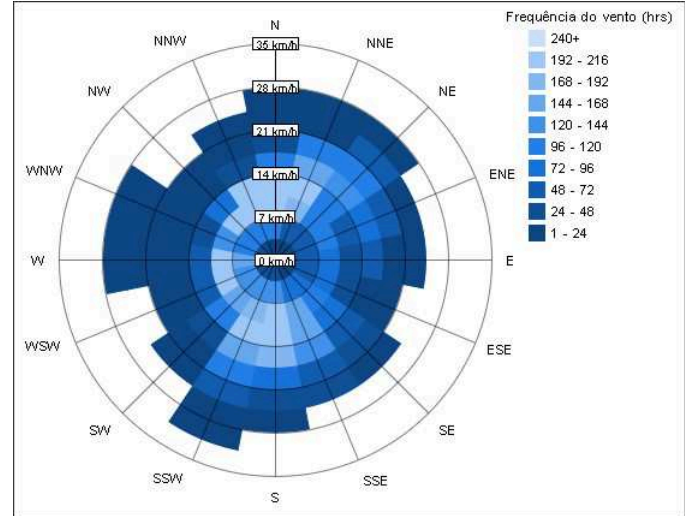
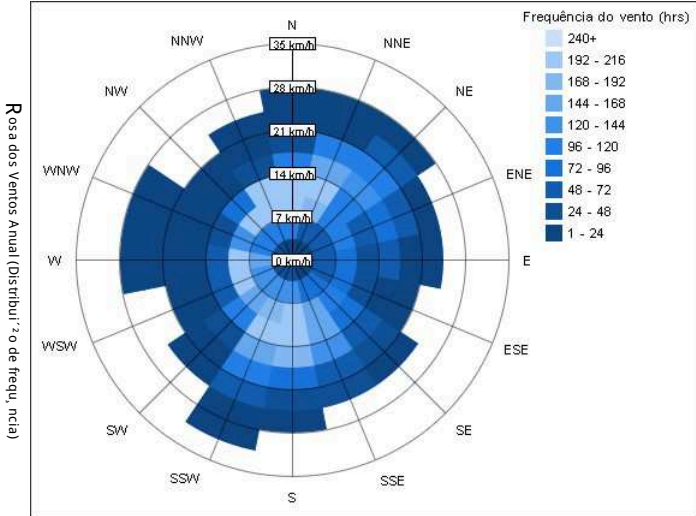
Carga mensal de refrigeração



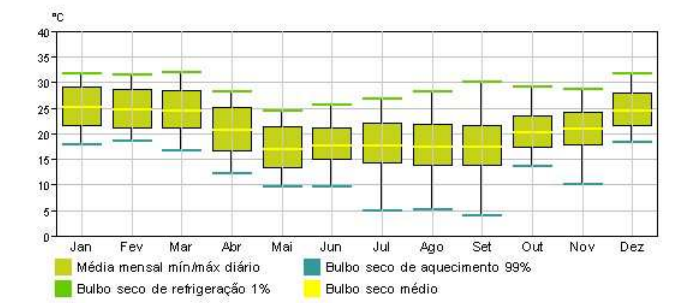
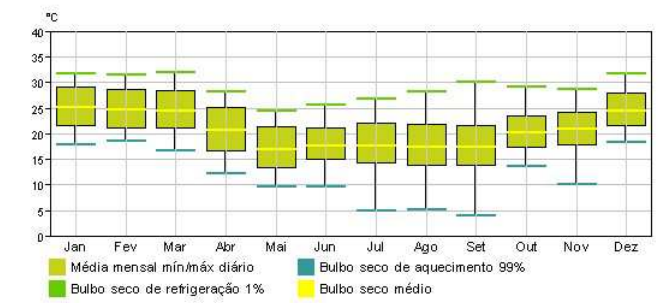
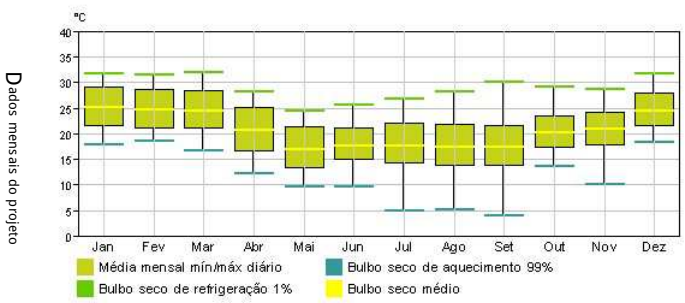
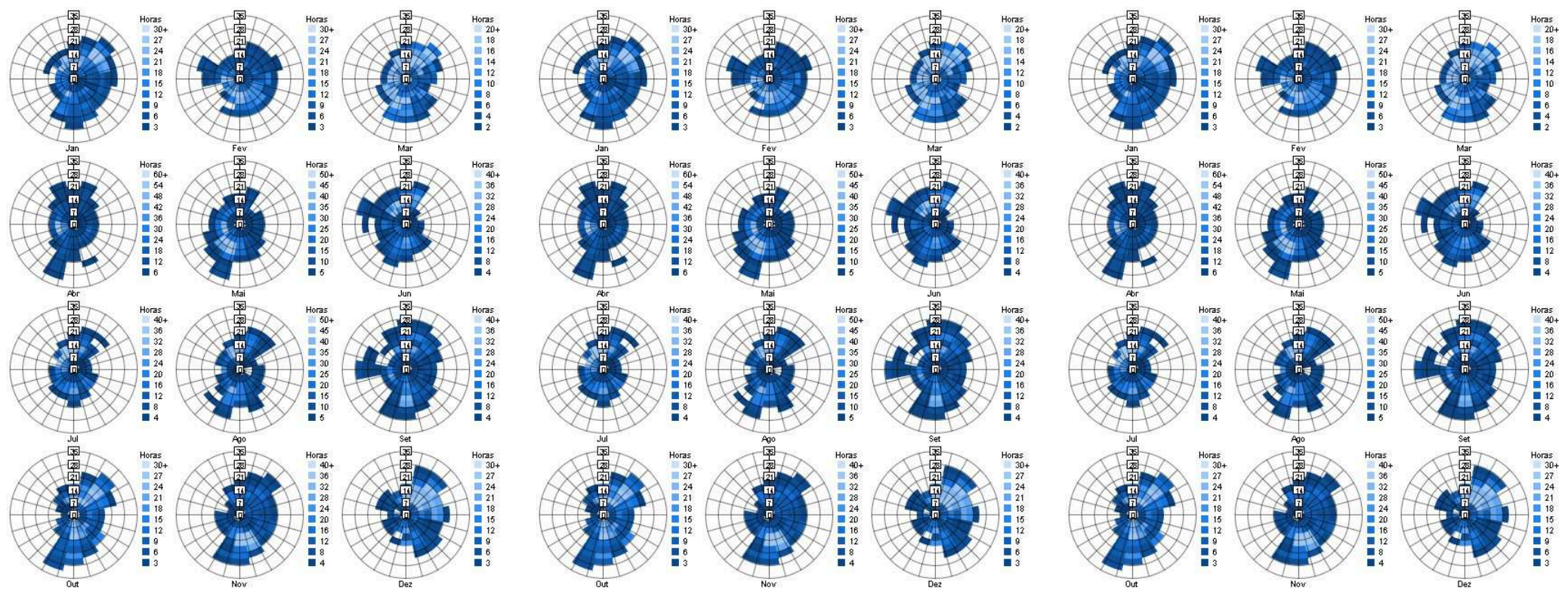
Consumo mensal de combustível

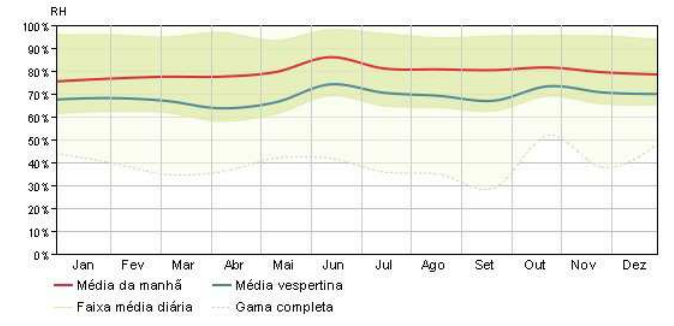
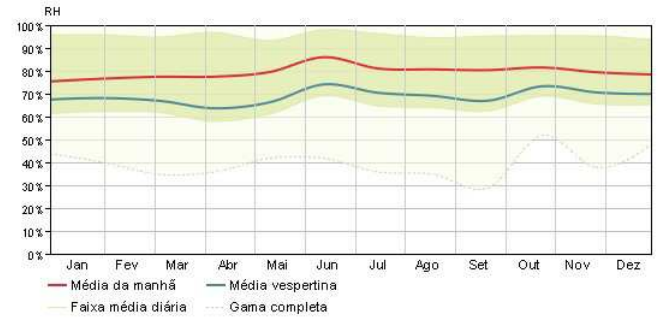
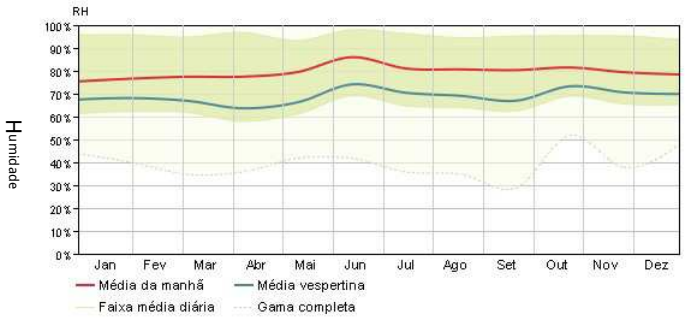
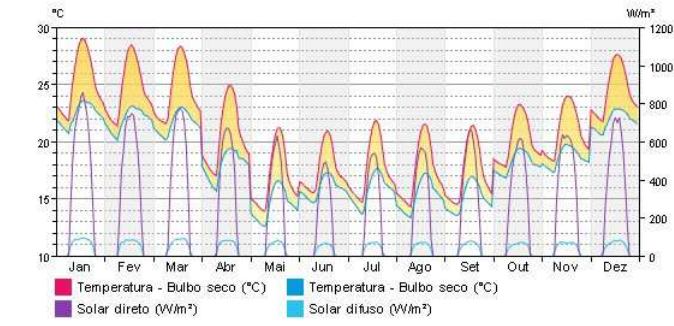
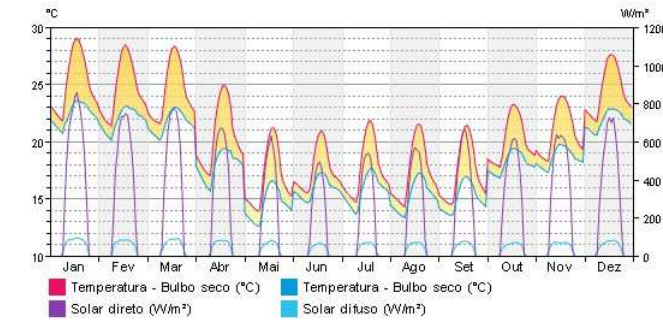
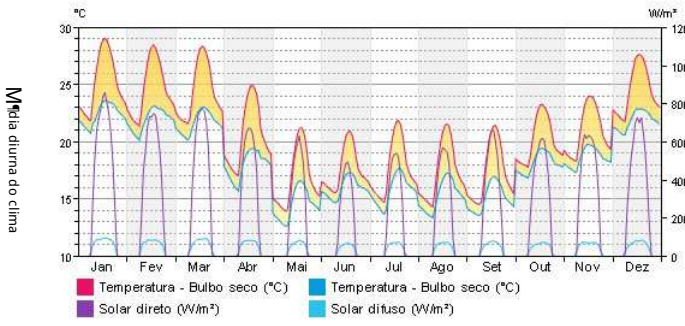
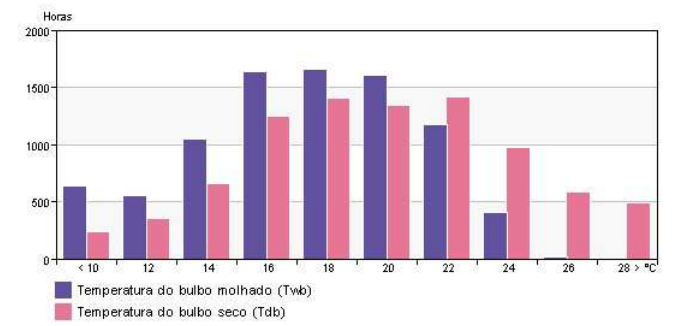
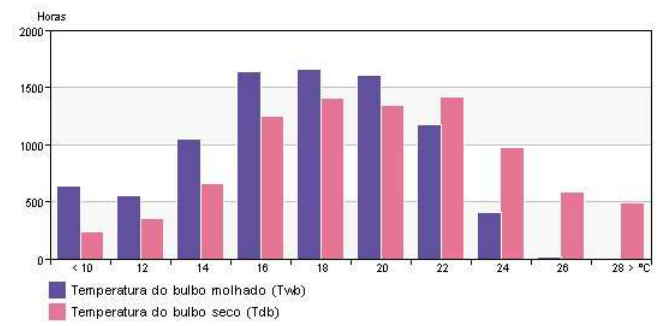
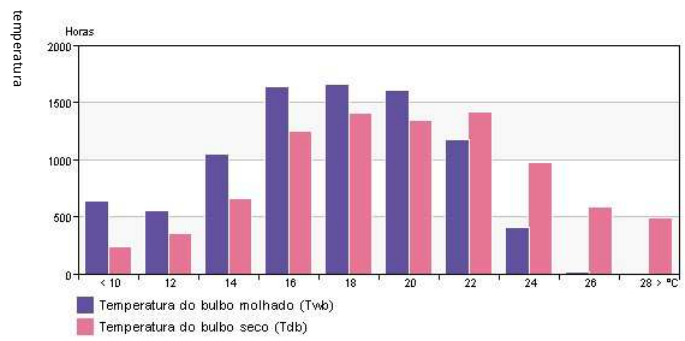






Rosas de Vento Mensais





© Copyright 2015 Autodesk, Inc. All rights reserved. Portions of this software are copyrighted by James J. Hirsch & Associates, the Regents of the University of California, and others.

Energy Analysis Data