



**Centro Universitário de Brasília  
Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento - ICPD**

**GABRIEL RAMOS DE QUEIRÓZ**

**SOFTWARES PARA ANÁLISE DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS  
VISANDO À SUSTENTABILIDADE**

Estudo de Caso do Projeto Casa Eficiente com o *Software Autodesk Revit 2014*

Brasília  
2013

**GABRIEL RAMOS DE QUEIRÓZ**

**SOFTWARES PARA ANÁLISE DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS  
VISANDO À SUSTENTABILIDADE**

Estudo de Caso do Projeto Casa Eficiente com o *Software Autodesk Revit 2014*

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD) como pré-requisito para obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. MSc. Ana Carolina Netto Gomes Drumond

Brasília  
2013

**GABRIEL RAMOS DE QUEIRÓZ**

**SOFTWARES PARA ANÁLISE DE AMBIENTES CONSTRUÍDOS  
VISANDO À SUSTENTABILIDADE**

Estudo de Caso do Projeto Casa Eficiente com o *Software Autodesk Revit 2014*

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB/ICPD) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Análise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. MSc. Ana Carolina Netto Gomes Drumond

Brasília, 06 de dezembro de 2013.

**Banca Examinadora**

---

Prof<sup>a</sup>. MSc. Luciana de Paiva Luquez

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tânia Cristina S. Cruz

**A Deus e aos Santos que acompanham minha vida,  
por me fazerem acreditar no possível.**

**Aos meus pais, Tennyson e Martha, e ao meu irmão,  
Diego, por serem meus maiores exemplos e  
incentivadores.**

**A eles dedico a conclusão de mais esta etapa.**

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Ana Carolina, minha mestre e amiga, pelos conhecimentos transmitidos e pela segunda vez ter me orientado brilhantemente em um trabalho de conclusão de curso.

À arquiteta Alexandra Maciel, por ter disponibilizado informações necessárias de grande importância para ter tornado possível esta pesquisa.

Ao arquiteto Alexander Justi, pela ajuda e acesso proporcionados ao programa computacional utilizado aqui, tornando viável este trabalho.

Aos professores e ao coordenador do curso, professor Nasser, por me mostrarem uma nova realidade do mundo, me fazendo um ser humano melhor.

Aos colegas de aula, principalmente a amizade especial de Júlia, Monica, Nathália e Norio, que tornaram esta caminhada mais divertida.

Aos amigos próximos ou distantes, especialmente as amigas arquitetas Barbara, Camila A., Camila V. e Isabel e aos parceiros Canabarra, Gilberto, Vinícius e Wesley, pelo constante apoio nas minhas escolhas.

A todos que de alguma forma colaboraram e incentivaram, direta ou indiretamente, muito obrigado!

**“No entanto a ARQUITETURA existe. Coisa admirável, a mais bela. O produto dos povos felizes e o que produz povos felizes.”**

***Le Corbusier, Por uma Arquitetura***

## RESUMO

O presente estudo leva em consideração a importância dos programas computacionais para a análise de espaços edificados a fim de obter projetos mais sustentáveis. Para isso, foi utilizado como base um estudo de caso do projeto Casa Eficiente, localizado em Florianópolis/SC, considerado referência nacional em conforto e eficiência energética para a área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O trabalho tem como objetivo principal a avaliação do desempenho térmico do referido projeto com base na utilização do *software Autodesk Revit 2014*, que utiliza tecnologia BIM (*Building Information Modeling*, ou Modelagem de Informações da Construção). Este instrumento tem seu uso crescente nos ambientes profissionais da construção civil, principalmente nos escritórios de arquitetura, onde é utilizado para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, substituindo em alguns casos a difundida plataforma AutoCAD, também da *Autodesk* (que consiste em uma prancheta eletrônica para o desenho de linhas). O programa *Revit* apresenta, a partir de sua versão 2011, a ferramenta *Energy Analysis* a qual, através de simulações de modelos computacionais, produz relatórios acerca do comportamento energético da edificação. Apesar de integrar o pacote do programa, esta ferramenta permanece ainda pouco explorada pelos profissionais da área. Observou-se por meio deste trabalho que o aplicativo *Energy Analysis* atende aos requisitos necessários para *softwares* de avaliação de desempenho térmico e que os resultados produzidos pela análise computacional condizem com a realidade observada no projeto construído. Ainda assim, concluiu-se que os dados obtidos são superficiais e, portanto, insuficientes para uma análise detalhada do comportamento do edifício, indicando a necessidade de aplicativos adicionais para complementar os estudos de estratégias de projeto.

**Palavras-chave:** Arquitetura sustentável. Simulação computacional. Desempenho térmico. Ferramenta *Energy Analysis* do *software Autodesk Revit*.

## ABSTRACT

*This study evaluates the importance of computer programs for the analysis of the sustainability of built environments. It adopts as a case study the project called **Casa Eficiente** (Efficient House), located in Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. **Casa Eficiente** is considered a national reference in comfort and energy efficiency in the field of Architecture, Engineering and Construction (AEC). The main objective of this study is to evaluate the thermal performance of the referred project as measured by the software Autodesk Revit 2014, a program that uses BIM technology (Building Information Modeling). Recently its use in construction projects has been growing, especially in architecture offices, where it is used as a design tool, in some cases replacing the widely used AutoCAD, Autodesk platform. Starting with its 2011 version, Revit has featured the Energy Analysis tool, which, through simulations of computational models, generates reports on the energy performance of buildings. In spite of its availability in the software package, this tool remains underused by professionals. This study ascertains that the tool Energy Analysis meets the software requirements for thermal performance assessments. It also finds out that the results generated in the computations for the **Casa Eficiente** are consistent with the observed reality of the constructed project. Nonetheless, it concludes that the generated data are superficial and therefore insufficient for a more detailed analysis of the thermal behavior of the building, thus requiring additional analytical tools to complement any design strategy studies.*

**Key words:** Sustainable architecture. Computer simulation. Thermal performance. Energy Analysis for Autodesk Revit.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Esquema 1 - Aspectos do meio ambiente_____	16
Quadro 1 - Exemplo de relação entre aspecto e impacto ambiental_____	18
Quadro 2 - Evolução de alguns indicadores da Construção Civil no Brasil, de 2004 a 2011_____	19
Quadro 3 - Itens a serem verificados em edifícios e construções sustentáveis_____	26
Fluxograma 1 - Etapas do projeto de arquitetura_____	29
Fluxograma 2 - Macrofases do processo de projeto de edificações_____	30
Figura 1 - Arquiteto como coordenador do projeto_____	33
Figura 2 - Desempenhos do ambiente construído classificados por Handler_____	38
Figura 3 - Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico_____	44
Fluxograma 3 - Maneira lógica de projetar integrando conceitos bioclimáticos e de simulação_____	45
Quadro 4 - Comparação CAD x BIM_____	47
Esquema 2 - Funcionamento da plataforma BIM_____	49
Imagem 1 - Vistas da Casa Eficiente: (a) fachada sul, (b) fachada norte, (c) fachadas sul x leste e (d) cobertura em teto-jardim_____	53
Croqui 1 - Proposta inicial: incorporação das estratégias bioclimáticas____	56
Figura 4 - Plantas baixas da Casa Eficiente: (a) térreo e (b) pavimento superior_____	60
Figura 5 - Esquema das paredes: (a) dupla e (b) simples_____	61
Figura 6 - Esquema das coberturas: (a) telha cerâmica, (b) telha metálica e (c) cobertura vegetada_____	61
Figura 7 - Esquema das esquadrias_____	62
Quadro 5 - Características dos materiais utilizados na simulação computacional_____	62
Figura 8 - Modelagem final da Casa Eficiente para a execução da simulação_____	63
Figura 9 - Propriedades térmicas configuráveis de materiais no Revit: exemplo do padrão inicial das características do tijolo comum_____	65
Figura 10 - Serviço de mapeamento através da Internet: pino vermelho a localização do projeto, em azul as estações climáticas disponíveis e em laranja a estação climática selecionada_____	66
Gráfico 1 - Cargas mensais de aquecimento da Casa Eficiente_____	68

Gráfico 2 - Cargas mensais de resfriamento da Casa Eficiente	69
Figura 11 - Estudo solar da Casa Eficiente	70
Figura 12 - Máscaras de sombra correspondentes às aberturas da Casa Eficiente	71

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	15
1.1 Meio ambiente como paisagem construída	15
1.2 Construção civil e seus impactos	17
1.3 Arquitetura sustentável	21
1.4 O projeto de arquitetura	28
1.5 Representação gráfica na arquitetura	33
1.6 Desempenho térmico de uma edificação	36
<b>2 ESTUDO DE CASO</b>	46
2.1 O <i>software Autodesk Revit</i> e sua tecnologia BIM	46
2.2 Projeto Casa Eficiente	51
2.3 Produção e resultados	58
<b>CONCLUSÃO</b>	72
<b>REFERÊNCIAS</b>	76
<b>APÊNDICE A Resultados da análise da Casa Eficiente no <i>Revit MEP 2014</i></b>	79

## INTRODUÇÃO

Durante o Renascimento, foram criadas as primeiras técnicas de desenho à mão livre para representação de projetos arquitetônicos, como a perspectiva. Posteriormente, o uso de réguas, escalímetros, esquadros e outros instrumentos para desenhar plantas, cortes e fachadas foram se tornando obsoletos diante da necessidade de maior precisão e da pressão por rapidez na aprovação e entrega de projetos para clientes e órgãos oficiais envolvidos.

No século XX, o advento da informática permitiu o surgimento de diversas ferramentas tecnológicas para o auxílio em diferentes campos do conhecimento. Atualmente, no Brasil, o *software* comercial *AutoCAD*, da empresa *Autodesk*, é o mais difundido entre os profissionais de arquitetura, o qual representa uma prancheta virtual de criação de linhas. Porém, uma nova plataforma dessa mesma empresa vem ganhando cada vez mais usuários, o programa computacional *Autodesk Revit*.

O *Revit* é um *software* completo de design de projetos de arquitetura e complementares e um sistema completo de documentação do projeto que suporta todas as fases do processo. Seu crescimento de popularidade se deve pela tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), que traduzido significa Modelagem de Informações da Construção. Ela promove um método avançado de trabalho colaborativo usando um modelo criado a partir de informações coordenadas e consistentes com base em um banco de dados. A partir de sua versão 2011 foi incorporada a ferramenta de análise ambiental *Energy Analysis* baseada em nuvem, ou seja, a simulação virtual e o acesso aos serviços são remotos, pela *internet*. Permite aos usuários obterem rapidamente informações sobre o consumo de

energia, o desempenho e os custos do ciclo de vida da edificação, ajudando a criar projetos de construção mais sustentáveis.

A presente pesquisa acadêmica, portanto, ilustrará as capacidades dessa nova ferramenta para a gestão ambiental no campo da construção civil, por meio de um estudo de caso do projeto Casa Eficiente utilizando os resultados de desempenho térmico da versão mais atual do programa de computador, o *Autodesk Revit 2014*.

A Casa Eficiente é uma residência unifamiliar concebida para demonstrar e disseminar conceitos, estratégias e tecnologias de ponta de eficiência energética, conforto ambiental e uso racional da água. Trata-se de um projeto de referência nacional para a comunidade acadêmica, profissionais e principalmente o setor elétrico, implantado na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, com a parceria entre Eletrosul – Centrais Elétricas S.A., Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina / LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, pelo PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

Diante da breve apresentação feita, surgem algumas dúvidas sobre essa ferramenta (*Energy Analysis para Autodesk Revit*), objeto de estudo, pela sua novidade na área de arquitetura, sendo então estabelecido um problema de maior abrangência: qual o nível de aprofundamento do *software Autodesk Revit* para a análise ambiental de projetos arquitetônicos, como a Casa Eficiente? A partir deste derivaram outros questionamentos secundários formulados: existe a necessidade de outros instrumentos complementares, como o *Green Building Studio* ou o *Ecotect Analysis*, para um diagnóstico satisfatório? De que maneira a análise feita pelo programa computacional pode ser incorporada nas diferentes fases do projeto de

arquitetura (estudo preliminar, anteprojeto, projeto executivo e projeto como construído)? Em que ponto o *software* representa uma ferramenta de projeto para os arquitetos ou profissionais da construção civil na concepção de edificações sustentáveis?

Sendo assim, o objetivo geral do trabalho é avaliar a ferramenta de análise de ambientes construídos, do *software Autodesk Revit 2014*, no projeto Casa Eficiente, considerando suas capacidades para as práticas do profissional de arquitetura. Complementando, os objetivos secundários são: situar os assuntos que envolvem o objeto principal de pesquisa; produzir a modelagem do projeto no *software* e interpretar os resultados obtidos; comparar os resultados da ferramenta de análise com os do projeto; e relacionar o programa computacional com outros de mesma finalidade.

Para dar o embasamento necessário às etapas e ao desenvolvimento da presente pesquisa, a fim de ser possível cumprir os objetivos traçados, alcançar as respostas das perguntas estabelecidas anteriormente e, assim, elaborar as conclusões de acordo com as técnicas determinadas e resultados obtidos, o método de trabalho consistirá em:

a) Revisão de literatura, por meio do levantamento de artigos, livros, dissertações, teses e *sites* da *internet* onde se encontram informações já disponíveis acerca do assunto, a fim de esclarecimento dos conceitos que envolvem o panorama geral da pesquisa que possam fundamentar e dar suporte à compreensão do objeto de estudo;

b) Estudo de caso, representado por um projeto bastante representativo para a investigação, Casa Eficiente, por meio de coleta de dados de forma a obter

informações suficientes para a produção de um modelo computacional, pelo *software Revit 2014*, e para o conseqüente desenvolvimento da avaliação proposta;

c) Interpretação e cruzamento comparativo dos dados obtidos pela ferramenta com os coletados da bibliografia disponível sobre o estudo de caso, para a realização de uma análise objetiva das capacidades do programa computacional.

Portanto, a pesquisa está sendo proposta para, sob a ótica social, contribuir na melhor compreensão dos impactos das decisões dos profissionais da construção civil provocados no meio ambiente, entendido como bem tutelado constitucionalmente regido pelo princípio de defesa do meio ambiente. Ou seja, de acordo com o artigo 225, do capítulo VI da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 2009, p. 61), “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

No âmbito acadêmico, este estudo evidenciará que a adição dessas novas ferramentas tecnológicas representa um subsídio aos profissionais da área para reduzirem o conseqüente impacto ao meio ambiente, pela avaliação de alternativas mais eficientes para o edifício verde; uma vantagem competitiva imediata, fornecendo informações importantes, economias de custos e melhor coordenação e qualidade para o projeto; e ainda contribui para uma maior interação entre os arquitetos e outros profissionais, uma vez que o desenvolvimento sustentável depende desta interdisciplinaridade de conhecimentos.

Do ponto de vista do pesquisador, os motivos pessoais que conduziram à escolha do objeto de estudo em questão surgiram do fascínio por *softwares* utilizados para representar projetos de arquitetura, que facilitam o trabalho do

profissional da área e, a cada evolução, aproximam-se cada vez mais da realidade concreta de edificações; e também pela busca por uma “arquitetura responsável”, preocupada com os seus impactos produzidos, neste caso, focados no meio ambiente e sustentabilidade.

A presente monografia foi então basicamente estruturada em dois capítulos, não havendo necessidade de mais outros. No primeiro capítulo é feita uma contextualização geral sobre os temas, subdivididos em seções menores, através da introdução de conceitos e considerações relevantes acerca do assunto, para que qualquer leitor dos textos possa ser apresentado ao estudo de caso, no segundo capítulo, e compreender os resultados produzidos e, por fim, as devidas conclusões do trabalho.



## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O fato da ferramenta *Energy Analysis*, do software *Autodesk Revit*, utilizada no estudo de caso ser extremamente nova no mercado faz com que existam poucas publicações acadêmicas diretas sobre esta tecnologia. Desta forma, este capítulo apresenta referenciais teóricos relacionados sobre meio ambiente, impactos da construção civil, sustentabilidade na arquitetura, exercício profissional de arquitetos, aplicação do computador nestas atividades e desempenhos de uma edificação, para que seja embasada e justificada a investigação do presente trabalho.

### 1.1 Meio ambiente como paisagem construída

A principal característica do meio ambiente é a sua interdisciplinaridade, já que se insere e se inter-relaciona no contexto de diferentes áreas do conhecimento, como, por exemplo, a arquitetura e a engenharia, o que permite variadas interpretações e a confere uma relativa inexatidão conceitual. Na própria Constituição Federal brasileira não há uma definição concreta do que seja meio ambiente.

A Lei Federal nº 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, a entende como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981). Em outras palavras, traduz-se como as relações e as sinergias entre o conjunto dos elementos da atmosfera (camadas do ar atmosférico),

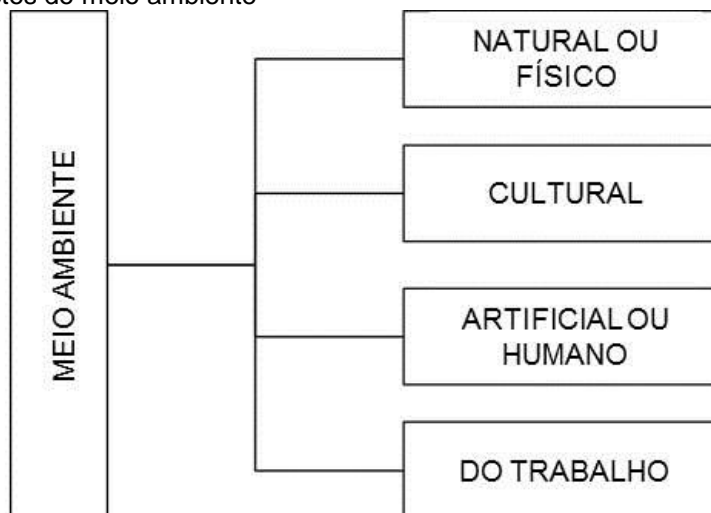
hidrosfera (águas superficiais e subterrâneas), litosfera (solo e subsolo) e biosfera (fauna e flora, inclusive o homem).

Entretanto, há uma relevante ressalva a ser feita quanto a esta definição, conforme indicada:

O **conceito de meio ambiente** há de ser, pois, globalizante, abrangente de toda a natureza original e artificial, bem como os bens culturais correlatos, compreendendo, portanto, o solo, a água, o ar, a flora, as belezas naturais, o patrimônio histórico, artístico, turístico, paisagístico e arqueológico. [...] é, assim, a interação do conjunto de elementos naturais, artificiais e culturais que propiciem o desenvolvimento equilibrado da vida em todas as suas formas. (SILVA, 1985 apud LENZA, 2011, p. 1087, grifo do autor).

Então, ao se analisar cuidadosamente a Constituição Federal (BRASIL, 2009), é possível perceber, implicitamente, que o meio ambiente é dividido em quatro importantes aspectos: físico/biológico ou natural, cultural, artificial e do trabalho, esquematizados e destacados no esquema 1 abaixo.

Esquema 1 - Aspectos do meio ambiente



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho com base em LENZA, 2011, p. 1088

Para a presente pesquisa, nos interessa o meio ambiente artificial ou humano, o qual envolve o espaço urbano construído, formado pelos equipamentos públicos ou espaços urbanos abertos, como ruas, espaços livres, parques, áreas verdes, praças etc., e pelas **edificações** particulares ou públicas, que são os espaços urbanos fechados (LENZA, 2011).

Portanto, nas seções seguintes deste trabalho, quando for citado o termo “meio ambiente”, levando em consideração o contexto do conteúdo, tratar-se-á na maioria dos casos do aspecto artificial/humano, explicado acima, e/ou de sua conceituação mais geral, aquela compreendida como uma concepção unitária do ambiente, pela integração dos recursos naturais, artificiais e culturais.

## **1.2 Construção civil e seus impactos**

Quando o ser humano começou a buscar sobrevivência e conforto nos ambientes construídos, nos primórdios da civilização, não eram gerados impactos significativos ao meio ambiente, por um convívio harmonioso e respeitoso com a natureza. Posteriormente, a partir do século XIX, a Revolução Industrial possibilitou o começo de um grande crescimento populacional nas cidades, promovido pela oferta de empregos nas indústrias o que acarretou o êxodo rural, fazendo-se necessária a extração cada vez maior de recursos naturais, que aumentavam os impactos ambientais (TAVARES, 2006).

Atualmente, como a maioria da população vive em ambientes mais urbanos do que rurais, com um alto índice de urbanização no qual cerca de 1,4 bilhão de pessoas a mais viverá nas cidades em 2030 (uma superpopulação urbana), haverá a extrema necessidade de adequar as novas edificações para atender às expectativas e atividades desses novos habitantes. Sendo produtos físicos com maior vida útil que a sociedade produz, as obras civis serão responsáveis por uma parcela significativa dos impactos de longo prazo em escala

mundial, por poderem interferir nos meios físico, biótico e antrópico (CARDOSO; ARAÚJO; DEGANI, 2006; FOSSATI, 2008; TAIPALE, 2012).

De acordo com a Resolução nº 001/86, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o impacto ambiental é definido como

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:  
 I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;  
 II - as atividades sociais e econômicas;  
 III - a biota;  
 IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;  
 V - a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986, p. 636).

Somado a isso, a NBR ISO 14001, que trata sobre sistemas de gestão ambiental, complementa a definição com a ideia de que essa modificação pode ser “adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos **aspectos ambientais**” (ABNT, 2004, p. 2, grifo do autor). Isto é, os elementos das atividades de uma edificação, induzidos e controlados pelo homem, podem interagir com o meio ambiente e provocar impactos positivos ou negativos que ocorrem em toda a cadeia produtiva, desde a concepção, construção, operação, manutenção até a sua demolição ou restauração. O quadro 1 abaixo apresenta um exemplo prático e de interesse para o trabalho sobre essa interação.

Quadro 1 - Exemplo de relação entre aspecto e impacto ambiental

ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO
Condicionamento climático de uma edificação	Consumo e desperdício de energia	Utilização e esgotamento de recursos naturais; escassez de energia elétrica; entre outros

Fonte - Produzido pelo autor do trabalho com base na NBR ISO 14001 (ABNT, 2004)

Com isso, segundo Taipale (2012), no livro Estado do mundo 2012, publicado durante o evento Rio+20 (Conferência das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento Sustentável), o setor da construção civil é responsável pelos seguintes aspectos:

- 1/3 de todo o consumo mundial de recursos naturais;
- 12% do consumo total de água doce;
- 25% a 40% do consumo de energia produzida;
- 30% a 40% do total das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- 30% a 40% da geração de resíduos sólidos;
- 10% do produto interno bruto (PIB) mundial; e
- 5% a 10% da geração dos postos de trabalho no país.

De acordo com o banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2011), no Brasil, desde 2004 a construção civil vem demonstrando resultados positivos e crescimento em suas atividades, conforme indicado no quadro 2, atingindo desempenho recorde em 2010. Entre esse período, **“a Construção nacional cresceu 42,41%, o que representa uma taxa média anual de 5,18%”** (CBIC, 2011, p. 5, grifo do autor). Por suas características, fica claro que é um dos responsáveis pela expansão do PIB nacional, por gerar emprego e renda na economia e melhorar a qualidade de vida da população, sendo, portanto, um dos protagonistas do desenvolvimento socioeconômico de cada país.

Quadro 2 - Evolução de alguns indicadores da Construção Civil no Brasil, de 2004 a 2011

Indicadores	Período							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PIB Setorial <sup>(1)</sup> - Taxa de crescimento (%)	6,6	1,8	4,7	4,9	7,9	-0,7	11,6	3,8
Geração de empregos formais <sup>(2)</sup> - número de vagas geradas	70.319	126.825	148.051	224.543	296.607	217.692	376.634	309.425
Taxa de Desemprego <sup>(3)</sup> - Média anual	7,1	5,7	5,5	4,9	3,9	4,1	2,9	3,1
CUB Brasil - Custo Unitário Básico <sup>(4)</sup> - Variação %	...	...	...	6,19	11,26	3,05	6,59	6,15
INCC - Índice Nacional de Custos de Construção <sup>(5)</sup>	11,02	6,84	5,04	6,15	11,87	3,25	7,77	6,61

(1) Refere-se ao VABpb da Construção Civil. Para o ano de 2011 os dados do PIB da Construção referem-se ao % de crescimento acumulado nos 3 primeiros trimestres do ano em relação igual período ano anterior.

(2) Para o ano de 2011 os dados do CAGED referem-se ao período de janeiro a outubro.

(3) Para o ano de 2011 os dados da PME referem-se ao período de janeiro a outubro.

(4) Para o ano de 2007 os dados do CUB referem-se ao acumulado no período de março a dezembro. Para o ano de 2011 os dados do CUB referem-se ao acumulado no período de janeiro a setembro.

(5) Para o ano de 2011 os dados do INCC referem-se ao acumulado no período de janeiro a outubro.

... Dado não disponível.

Fonte - IBGE; Ministério do Trabalho e Emprego; Câmara Brasileira da Indústria da Construção; FGV apud CBIC, 2011, p. 8

Entretanto, vale salientar alguns impactos contrários a essa evolução, associados ao longo de todo o ciclo de vida das edificações, como o consumo de recursos naturais: “matérias primas (30%), água (25%) e solo (12%). Além disso, também contribuem para emissão de poluentes como: atmosféricos (40%), efluentes de água (20%), resíduos sólidos e outras liberações (13%)” (LEVIN, 1997 apud TAVARES, 2006, p. 30), uma produção de dejetos maior que os lixos domésticos.

Nesse contexto destaca-se também o consumo de energia em edificações durante seu uso final, tendo como foco o condicionamento de ambientes. É relevante por estar relacionado com a produção de gases do efeito estufa (GEE), como CO<sub>2</sub>, gases ácidos, COVs (compostos orgânicos voláteis) e outros poluidores do ar, responsáveis por contribuir para o aquecimento global, acarretando nas mudanças climáticas e no desencadeamento de uma série de outras consequências. No país, o setor residencial é um dos que mais crescem no consumo entre os diretamente ligados ou não à construção civil, com um aumento de 260% do consumo de energia elétrica de 1980 a 2000 (TAVARES, 2006), "o que enfatiza a importância de incentivar uma mudança nas práticas construtivas" (ELETROSUL, 2013).

Apesar dos impactos negativos quanto à energia, o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR4, 2007 apud TAIPALE, 2012, p. 150) aponta que “os edifícios oferecem a melhor oportunidade de benefício de custos para mitigação de GEE” em aproximadamente 30%, até 2030, por meio de opções de eficiência energética (LAMBERTS et al. 2013), o que demonstra a sua relevância para a preservação do meio ambiente e para uma boa perspectiva de futuro se considerados com a devida preocupação.

Para Cardoso, Araújo e Degani (2006) é importante conhecer a intensidade dos impactos ilustrados e suas consequências para o ambiente, pois permite priorizar, na tomada de decisões, os que precisam ser reduzidos ou eliminados. Sendo assim, “pode-se definir as tecnologias e as ações de natureza gerencial necessárias para tanto, estabelecendo os recursos que precisam ser introduzidos” (CARDOSO; ARAÚJO; DEGANI, 2006, p. 3), como os *softwares* para análise ambiental, importantes aos profissionais preocupados com a questão da sustentabilidade.

Diante de todos esses fatos apresentados acerca do setor da construção civil, a sua relevância para o país e, principalmente, seus impactos negativos inerentes, justifica-se a escolha deste tema como objeto de pesquisa do trabalho, representado pelo estudo de caso de uma arquitetura residencial, como forma de contribuição eficaz rumo ao desenvolvimento sustentável.

### **1.3 Arquitetura sustentável**

O termo desenvolvimento sustentável surgiu no documento “*Our Common Future*” (Nosso Futuro Comum), preparado pela primeira ministra da Noruega, senhora Brundtland, durante a Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) de 1987, definido como “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (SILVA, 2006, p. 12), em um mundo de ecossistemas equilibrados com recursos finitos.

Na história da humanidade, o clima sempre é classificado como um dos elementos chave para se considerar no projeto e construção das habitações. Por este motivo, o homem começou a buscar refúgio das intempéries por meio da exploração dos recursos naturais disponíveis, avançando, assim, o seu processo de adaptação e interação com o meio ambiente. Mais tarde, com a expansão do industrialismo e do capitalismo, necessitando ostentar o progresso e o poder econômico, começou a se desconsiderar a questão ambiental na arquitetura, com uma postura antiambientalista que colocava em questão a posição do homem na natureza (SILVA, 2006).

Com isso, aumentou a preocupação com os danos causados pelas atividades antrópicas, relacionados ao crescimento acelerado da população, desigualdade social e pobreza, padrões de consumo que levam à escassez e esgotamento das matérias-primas e combustíveis fósseis (crise energética), falta de planejamento, desastres naturais causados pelas mudanças climáticas, degradação do meio e proliferação dos resíduos. Como meio ambiente e desenvolvimento são intrínsecos, pois nos desenvolvemos para a nossa melhoria, com demanda de uso de energia, nesse ambiente que ocupamos, fez surgir a emergência de conscientização da proteção e uso racional dos rios, florestas, águas, ar e solo, para que durem mais e, também, não prejudiquem a existência humana, pela criação de um entorno saudável e confortável.

Sendo assim, surgiram diversas discussões acerca desse modo de vida insustentável e dos impactos provocados pelos processos construtivos, através de conferências, encontros, leis, normas, sistemas e ferramentas internacionais de avaliação de desempenho ambiental, sendo que a Agenda Habitat II (1996), em Istambul, definiu que poderia ser aplicado o conceito de desenvolvimento



sustentável para o setor da construção civil (SILVA, 2006). Dados do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC AR4, 2007 apud FOSSATI, 2008), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, apontam que desde as etapas iniciais de planejamento e projeto até a sua operação e manutenção influenciam diretamente no consumo de recursos naturais, nas alterações promovidas ao clima, no conforto e na saúde da população que nelas interage.

Como resposta a essa integração do ser humano no meio ambiente, propõe-se uma arquitetura mais econômica, humana e coerente com as tecnologias disponíveis e com a ideia de preservação ambiental, saúde dos seres vivos e bem estar dos usuários. Ou seja, a busca por esse desenvolvimento sustentável se fez presente na indústria da construção civil, representada pela transição para uma arquitetura sustentável, capaz de responder positivamente aos desafios ambientais e suas inevitáveis infraestruturas para atender às necessidades da crescente população do mundo, cabendo ao arquiteto o conhecimento básico de todos os conceitos relativos à sustentabilidade para a concepção de projetos de edifícios mais eficientes, com conforto para os usuários e uso racional de energia (FOSSATI, 2008; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997; SILVA, 2006; ZOMER; RÜTHER, 2008).

Para tanto, são necessárias políticas integradas e adequadas às especificidades do contexto local que promovam a sustentabilidade na construção, contemplando todo o processo envolvido, o desempenho da edificação em si, a infraestrutura que a atende e o uso de recursos naturais. Devem ser estipulados parâmetros e metas mensuráveis que orientem as boas práticas, auxiliados por regulamentações, incentivos fiscais e programas de conscientização (TAIPALE, 2012).

Como o conceito de sustentabilidade pressupõe o equilíbrio das dimensões ambientais, sociais e econômicas (tripé da sustentabilidade) e envolve inúmeras áreas, a sua interpretação na construção passou por evoluções: inicialmente com ênfase nas questões ambientais de recursos limitados e redução dos impactos; posteriormente, o foco passou para pontos técnicos da própria edificação, por requisitos construtivos relacionados à energia; em seguida, obteve mais uma melhoria pela consideração de aspectos sociais e econômicos nas edificações; e mais recentemente, foram incorporados também aspectos culturais do ambiente construído, relevantes para a construção sustentável (SJÖSTRÖM, 2000 apud FOSSATI, 2008).

Por isso, a conceituação de edifícios sustentáveis é complexa e ampla, principalmente nos seus aspectos econômicos e sociais, mas podem ser definidos como aqueles que provocam um mínimo de impacto desfavorável a todas as escalas do ambiente (local, regional e global) e de riscos à saúde humana, enquanto que aperfeiçoam a eficiência em gestão de recursos e cumprem requisitos de desempenho operacional. Desta forma, deve levar-se em consideração todo o seu ciclo de vida, com a integração cuidadosa da arquitetura com os projetos complementares (engenharia elétrica, mecânica e estrutural) e o envolvimento de todos os membros da equipe de projeto e operadores do edifício (trabalho multidisciplinar), além da preocupação com aspectos estéticos e teóricos arquitetônicos, juntamente com consequências de longo prazo nos aspectos ambientais, econômicos e humanos (FOSSATI, 2008).

Triana (2005 apud LAMBERTS et al., 2013) indica que as edificações devem seguir uma série de diretrizes, englobadas em categorias, para atingirem um nível de sustentabilidade, tais como:

- Escolha de um entorno sustentável: escolha de local para o projeto de acordo com critérios de sustentabilidade, implantação sustentável do projeto, incentivar e priorizar o pedestre e o uso de transporte alternativo, uso de paisagismo exterior para reduzir ilhas de calor interna e externamente no projeto;

- Uso racional dos recursos naturais: uso racional da água, promoção da eficiência energética na edificação, escolha e uso de materiais para o projeto com base em critérios sustentáveis, promoção da reciclagem e recuperação de resíduos dentro da edificação, evitar emissões atmosféricas vindas de equipamentos instalados no edifício que afetem a camada de ozônio;

- Promoção e manutenção da qualidade ambiental interna da edificação: controle de poluentes do ar, edificação com níveis de conforto térmico de acordo com o estabelecido pelas zonas climáticas, promoção de ventilação natural na edificação, maximizar a iluminação natural dentro da edificação, proporcionar um bom desempenho na edificação relativo ao ruído e acústica;

- Características do projeto: prever flexibilidade e adaptabilidade do projeto para adaptação a novos usos e sistemas técnicos, processo de projeto multidisciplinar e integrado, promover maior manutenção das qualidades internas e externas da edificação sem necessidade de usos mecânicos e fornecer um alto controle aos ocupantes do edifício sobre os sistemas técnicos; e

- Aspectos socioeconômicos: acessibilidade, inclusão social, apoio à economia local.

Fossati (2008) também concorda que é essencial o investimento em projetos de edificações mais sustentáveis para a redução das alterações do meio ambiente, destacando as mudanças climáticas, com a adoção de mecanismos para a gestão dos requisitos ambientais ao longo do processo de projeto, a fim de serem

[...] concebidas para fazer o uso racional de recursos naturais (materiais, água e energia), utilizar materiais ecologicamente corretos, atentar para o conforto dos usuários, reduzir os custos ao longo da vida útil do empreendimento e alterar o mínimo possível o ambiente no qual estão inseridas. (FOSSATI, 2008, p. 3).

E Taipale (2012) ainda complementa a percepção do conceito de sustentabilidade em edificações por meio do quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Itens a serem verificados em edifícios e construções sustentáveis

Ciclo de Vida Fase do ciclo	Itens de sustentabilidade	
	Consumo de Recursos Naturais	Consumo de Recursos Financeiros
Produção de materiais de construção	Terra	Investimento inicial
Escolha do local da construção	Água doce	Custos de material/ mão de obra
Projeto (arquitetônico, de engenharia, técnico)	Fontes de energia não renovável	Custos de suborno
Aquisição de materiais e contratação da obra de construção	Fontes de energia renovável	Custos operacionais, incluindo água e energia
Construção	Madeira	Custos de manutenção
Manutenção do edifício	Metais	Custos de restauração
Restauração	Minerais	Valor a longo prazo da propriedade
Reutilização de edifícios	Pedra, cascalho	Custos de transporte de materiais de construção
Reciclagem dos materiais de construção		Custos de gestão de resíduos

Condições humanas	Impactos possíveis	
	Impactos negativos	Impactos positivos e benefícios em comum
Acesso a água doce e saneamento	Degradação de ecossistemas devido a mudanças no uso da terra	Redução do consumo de fontes de energia não renovável
Acesso a energia limpa	Poluição do ar, do solo e da água	Economia de energia Água limpa
Disponibilidade de transporte público	Impacto em mudança climática	Melhoria da saúde humana
Acesso a serviços e benfeitorias	Resíduos	Criação de empregos
Qualidade do ar interior	Congestionamento do tráfego	Segurança no trabalho
Moradia digna	Ruído	Governança transparente
Segurança estrutural	Assentamentos informais	Economia de recursos financeiros
Segurança na comunidade	Corrupção	Edifícios oferecidos em garantia
Valor cultural dos edifícios existentes	Baixo retorno sobre investimento	
Trabalho digno		

Fonte - TAIPALE, 2012, p. 144-145

A partir disso, pode-se perceber que a arquitetura sustentável possui uma visão holística sobre a edificação, considerando diversificados aspectos relacionados ao processo e transformações que ocorrem no objeto em questão e que transcendem os limites do sistema edificado. É importante diferenciá-la dos chamados edifícios verdes (*green buildings*), cuja preocupação está focada puramente no edifício em si, no seu desempenho e em suas características físicas. Isto é, “as construções ‘sustentáveis’ não são apenas ‘verdes’” (TAIPALE, 2012, p. 143), há uma série de aspectos de sustentabilidade a serem levados em conta, de forma que, por exemplo, uma residência apenas com materiais e elementos “verdes” não é considerada sustentável.

Para um futuro próximo, Fossati (2008, p. 245) acredita que “a consideração de requisitos de sustentabilidade será uma incumbência primária dos engenheiros e arquitetos”. É notável que a adequação coerente dos projetos no ambiente em que estão inseridos e a sustentabilidade nas edificações contribuem de forma significativa na mitigação desses impactos ambientais e representam como uma das perspectivas para a promoção do bem estar social e aumento da produtividade dos usuários. Entretanto, “a redução do impacto da construção civil não é uma tarefa simples e exige ação em diversos tópicos de forma combinada e simultânea, desde a etapa mais preliminar possível” (LAMBERTS et al., 2013, p. 21).

Por fim, “cada vez mais se buscará alternativas para que o impacto das edificações no ambiente seja minimizado, visando o desenvolvimento sustentável” (ZOMER; RÜTHER, 2008, p. 2) e “se a arquitetura atual buscar estes conceitos, será possível imaginar o crescimento de cidades com menor impacto ambiental no planeta” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 178). Portanto, implica a um novo modo de olhar a arquitetura: responsável, consciente, eficiente, multidisciplinar,

esteticamente agradável, ecologicamente correta, socialmente justa e economicamente viável. Para isso, depende de decisões pensadas ainda nas etapas do projeto arquitetônico, pois quanto mais cedo adotados esses tipos de visões estratégicas, mais será garantido optar pelas melhores escolhas, evitando futuros desperdícios e gastos.

#### 1.4 O projeto de arquitetura

Para compreender a relevância do uso de simulações computacionais e estudos de desempenho para uma edificação, antes é preciso conhecer o processo de trabalho durante a concepção de um projeto de arquitetura e, então, entender como acontecem e se encaixam as relações entre esta atividade geral que engloba aquela mais particular.

O arquiteto é o profissional que inicia o processo (HIPPERT; ARAÚJO, 2010), pois concentra as informações iniciais e relevantes que fundamentam o projeto, as ideias a serem incorporadas na construção que traduzem seus anseios e a coordenação geral do trabalho, já que a edificação é o

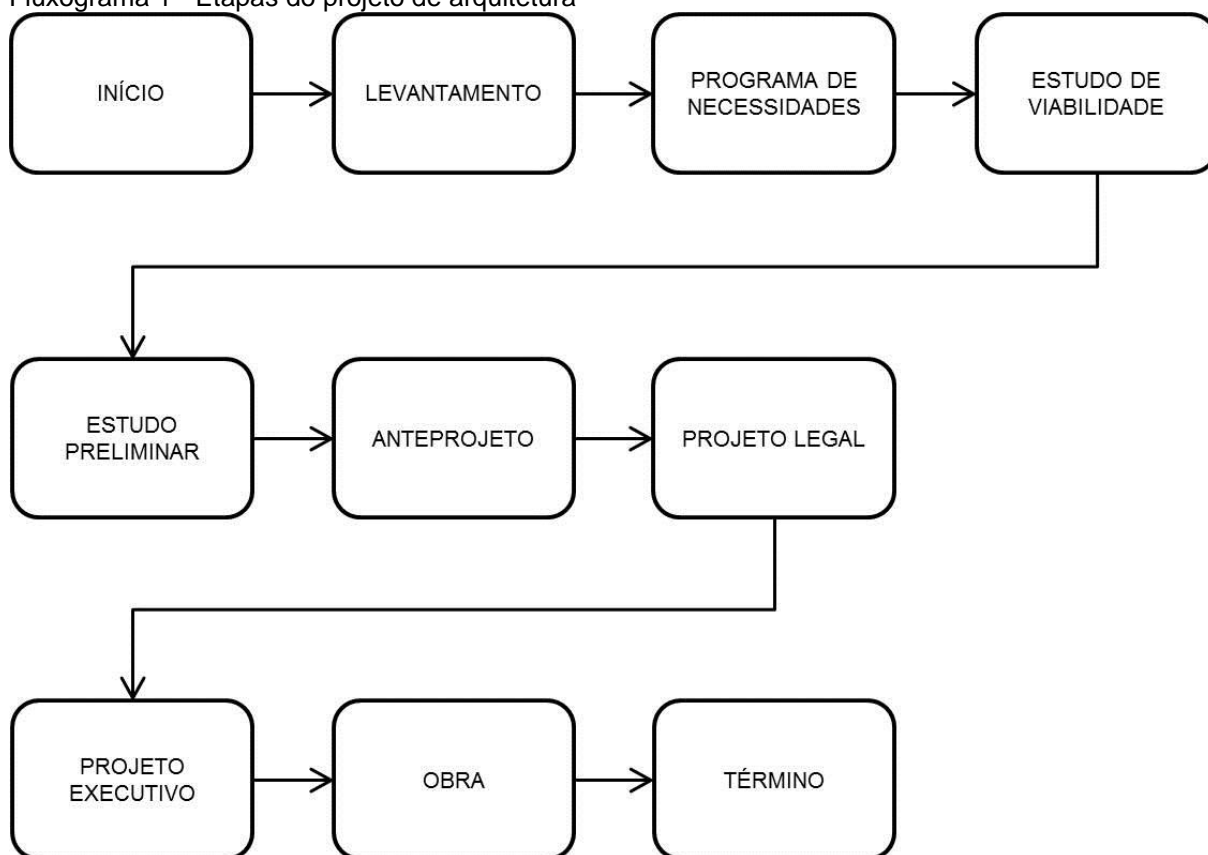
Produto constituído por conjunto de elementos definidos e articulados em conformidade com os **princípios e as técnicas da arquitetura** e da engenharia para, ao integrar a urbanização, desempenhar determinadas funções ambientais em níveis adequados. (ABNT, 1995, p. 2, grifo nosso).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui duas normas técnicas que são complementares e discorrem sobre a elaboração de projetos de edificações, a NBR 13531 (atividades técnicas) e a NBR 13532 (arquitetura), nas quais incluem a determinação e representação dos elementos da edificação,

instalações prediais, componentes construtivos e materiais para construção, respectivamente em ordem de complexidade.

Um projeto de edificação é composto por uma série de atividades técnicas que constituem uma evolução desde o primeiro croqui até a obra concluída, sendo importantes para a presente pesquisa a de arquitetura e, em particular uma das complementares, a de conforto térmico. O desenvolvimento de tais atividades segue basicamente as etapas ilustradas no fluxograma 1, explicadas a diante, sendo uma interdependente da outra e algumas podendo acontecer simultaneamente e/ou implicitamente.

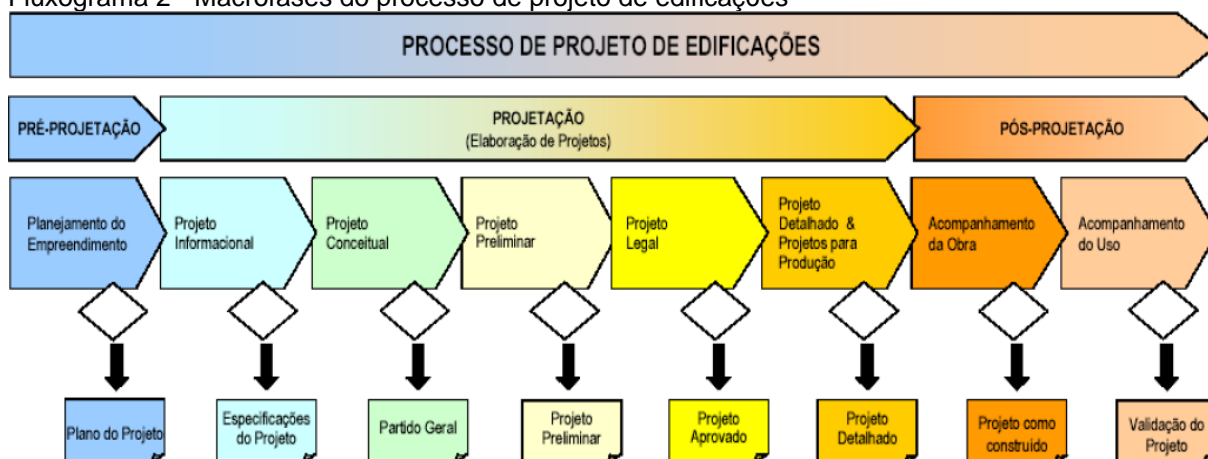
Fluxograma 1 - Etapas do projeto de arquitetura



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho com base na NBR 13532 (ABNT, 1995b)

Ou, detalhadamente, representando as fases e os seus resultados, como no fluxograma 2 a seguir.

Fluxograma 2 - Macrofases do processo de projeto de edificações



Fonte - ROMANO, 2003 apud FOSSATI, 2008, p. 12

Todo projeto inicia-se com o levantamento de dados, ou seja, a “coleta das informações de referência que representem as condições preexistentes, de interesse para instruir a elaboração do projeto” (ABNT, 1995, p. 4), que servem de base para o desenvolvimento das etapas seguintes. Sendo assim, começam a ser evidenciados os elementos essenciais para buscar uma arquitetura sustentável, por exemplo, como dados ambientais, climáticos, ecológicos, sociais, econômicos, entre tantos outros, “visto que considerar a sustentabilidade nos projetos de arquitetura apresenta-se como uma alternativa cada vez mais crescente na arquitetura do mundo todo” (LAMBERTS et al., 2013).

Juntamente com essa percepção do que já existe, é elaborado o programa de necessidades, que determina “as exigências de caráter prescritivo ou de **desempenho** (necessidades e expectativas dos usuários) a serem satisfeitas pela edificação a ser concebida” (ABNT, 1995, p. 4, grifo nosso). Como o próprio nome representa, indica o que é preciso ter e considerar com relação às várias características básicas no uso do empreendimento.

Concomitantemente, também acontece o estudo de viabilidade, para analisar e avaliar a “seleção e recomendação de alternativas para a concepção da



edificação e de seus elementos, instalações e componentes” (ABNT, 1995, p. 4), ou seja, para a definição do partido de projeto. Pode ser pensado tanto para questões técnicas de arquitetura e engenharia, do que é possível ser realizado, quanto financeiras, em busca de minimizar os custos ou da melhor relação custo x benefício, levando em consideração as informações obtidas nas etapas anteriores.

Fossati (2008) destaca que as diversas decisões tomadas nas fases iniciais, como a localização da obra, sua implantação em função da topografia, sua orientação solar e no terreno, a especificação de materiais e componentes, a escolha das estratégias e técnicas a serem empregadas e as preocupações com aspectos ambientais, sociais e econômicos são de suma importância quanto às consequências futuras da edificação, pois afetam diretamente no desempenho durante sua vida útil, pelo consumo de recursos naturais e energia, otimização ou não da execução da obra, o efeito no seu entorno e outros resultados.

Na sequência, o estudo preliminar trata da “concepção e representação do conjunto de informações técnicas iniciais e aproximadas, necessários à compreensão da configuração da edificação, podendo incluir soluções alternativas” (ABNT, 1995, p. 4). A partir daqui, o processo de trabalho sai do plano das ideias para os primeiros esboços concretos de projeto, sendo já possível realizar testes (de desempenho) com os partidos propostos. Sendo assim, é escolhida a opção que melhor responde aos aspectos técnico, ambiental e socioeconômico.

Em posse da alternativa escolhida, transcorre um maior detalhamento do objeto, ainda não definitivo, na fase de anteprojeto:

Etapa destinada à concepção e à representação das informações técnicas provisórias de detalhamento da edificação e de seus elementos, instalações e componentes, necessárias ao inter-relacionamento das atividades técnicas de projeto e suficientes à elaboração de estimativas aproximadas de custos e de prazos dos serviços de obra implicados. (ABNT, 1995, p. 4).

Para evitar trabalho adicional e agilizar o processo, durante a confecção dos desenhos são representadas as informações técnicas necessárias à análise e aprovação do projeto por parte das autoridades competentes, quanto ao atendimento das diversas exigências legais e normas técnicas, para obtenção do alvará ou licenças indispensáveis para as atividades de construção; trata-se do projeto legal (ABNT, 1995). Vale destacar que no Brasil a administração pública não exige a apresentação de estudos e simulações, como de desempenho térmico, por exemplo, para a aprovação da concepção da edificação, salvo algumas exceções particulares.

Por fim, é realizada a representação final das informações técnicas do projeto para execução dos serviços de obra correspondentes, no qual são muito bem detalhadas as características necessárias para a correta construção da edificação. Ainda assim, durante a obra pode haver alterações em relação ao projeto executivo, por eventuais adequações e imprevistos ocorridos, mas que não adulterem os aspectos já aprovados pelos órgãos competentes (ABNT, 1995).

Ainda vale esclarecer que o trabalho do arquiteto não é apenas a elaboração do projeto arquitetônico, não transfere a responsabilidade da execução dos projetos complementares e do edifício para outros profissionais. Deve haver uma interlocução entre os vários profissionais (figura 1), coordenados pelo arquiteto, para tratar das diferentes questões inter-relacionadas de projeto a fim de alcançar um resultado integrado, tornando possível a sua multidisciplinaridade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Figura 1 - Arquiteto como coordenador do projeto



Fonte - LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997

### 1.5 Representação gráfica na arquitetura

O surgimento e a transformação da representação gráfica de projetos arquitetônicos ocorreram diante das necessidades iminentes do homem em caracterizar, com o máximo de informações, o ambiente construído, que provocam “motivação suficiente para o descobrimento de novas alternativas” (CHICCA JUNIOR, 2007, p. 29).

Sendo assim, Chicca Junior (2007) esclarece que os métodos representativos surgiram da necessidade de representar da melhor maneira possível qualquer tipo de proposta apresentada, tornando-a visível, ou seja, “a importância do desenho seja na arquitetura ou no design justifica-se pela necessidade de exposição das ideias” (REBELLO, 1999 apud CHICCA JUNIOR, 2007, p. 29).

Desta maneira ocorreu sua transformação ao longo do tempo: desde as manifestações pré-históricas do ser humano nas cavernas, atravessando pela perspectiva criada no Renascimento, até a Revolução Industrial e as duas Guerras Mundiais, quando foi necessária a transição da maneira gráfica como o objeto era representado: de manual (artesanal) para digital (linha de produção acelerada em larga escala) (CHICCA JUNIOR, 2007).

Inicialmente, configurou-se pela representação em duas dimensões no computador, porém tornou-se insuficiente por ser necessário facilitar a percepção e compreensão espacial por pessoas leigas. Com isso, foram desenvolvidas tecnologias com novos métodos de trabalho, que estão otimizando integralmente os processos de projeto, possibilitadas pela expansão dos recursos da computação gráfica:

Os procedimentos para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos informatizados são derivações dos descobrimentos computacionais que vêm auxiliando e aprimorando uma série de outras áreas onde antigos processos de trabalho são aperfeiçoados e deste modo tornam-se mais qualificados. (CHICCA JUNIOR, 2007, p. 29).

Definindo, segundo Machado (2003 apud CHICCA JUNIOR, 2007, p. 38), “a computação gráfica é a área da computação destinada à geração de imagens em geral, quer como forma de representação de dados e informação, quer como forma de recriação do mundo real”. Quanto às potencialidades deste artifício, vale destacar a seguinte afirmação:

[...] a computação gráfica é uma ferramenta de apoio ao projeto permitindo o uso de novos recursos para facilitar o método tradicional de representação. Contudo a computação gráfica se configura não apenas como uma ferramenta de digitalização de projetos. Ela permite a **avaliação** de vários aspectos de importância relevante no projeto [como o desempenho ambiental] [...]. (CHICCA JUNIOR, 2007, p. 44, grifo nosso).

A partir daí, o avanço da informática deu grande destaque aos computadores também no processo de representação tridimensional de espaços,

por exemplo, complementado através de *softwares* CAD (*Computer Aided Design*, ou Desenho Assistido por Computador), que agilizam e facilitam a execução e modificação de desenhos técnicos e projetos em vistas 2D ou 3D (CHICCA JUNIOR, 2007), pois permitem “ao usuário desenhar e manipular imagens numa tela de computador e depois enviar o resultado para uma impressora ou plotter” (HAMIT, 1993 apud CHICCA JUNIOR, 2007, p. 32).

No Brasil, os cursos de arquitetura fazem uso do programa computacional *AutoCAD*, de propriedade da empresa *Autodesk*, para o ensino de computação gráfica aplicada à arquitetura, sendo por isso o mais difundido entre os profissionais desta área de conhecimento. Porém, segundo as definições de Crespo e Ruschel (2007), programas exclusivamente CAD funcionam apenas como ferramentas de traçado de linhas ou volumes do desenho e, assim, limitam o computador como uma prancheta eletrônica.

Com isso, apesar das dificuldades de implantação, uma nova tecnologia, o BIM (*Building Information Modeling*), a ser discutido mais adiante, vem ganhando espaço cada vez mais rápido nos processos de concepção de projetos por parte de escritórios e grandes empresas do ramo. E como declara Cristiano Ceccato (2011 apud MENEZES, 2011), durante o Seminário Internacional sobre Arquitetura Digital: BIM, Sustentabilidade e Inovação, “o BIM irá se tornar obrigatório no mercado de arquitetura, assim como o CAD é hoje em dia”, conduzindo para um benefício em todos os aspectos das edificações, uma vez que essa tecnologia pode incorporar análises de estudo, inclusive de seu desempenho (como o térmico), a exemplo do programa computacional *Autodesk Revit*.

## 1.6 Desempenho térmico de uma edificação

Todo e qualquer ambiente construído possui um comportamento específico diante das condições externas onde está submetido, sendo mais importante o desempenho durante sua vida útil, pois reflete na eficiência energética, “entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 14), ou seja, ocorre menor consumo de energia em uma edificação com as mesmas condições ambientais que outras. Repercute também no conforto térmico das pessoas, que segundo ANSI/ASHRAE (2004 apud LAMBERTS et al., 2010b, p. 41), é “um estado de espírito do usuário, que expressa sua satisfação com o ambiente térmico onde está inserido”, isto é, demonstra o grau de bem-estar e equilíbrio do indivíduo oferecido pelas condições térmicas do espaço construído, dependendo, assim, de aspectos físicos e subjetivos (ABNT, 2003a; SPANNENBERG, 2006).

Diante desse fato, faz-se necessário deixar marcado aqui as palavras de Correa (2001 apud ZOMER; RÜTHER, 2008, p. 3):

Torna-se responsabilidade dos arquitetos a adoção de sistemas passivos e estratégias benignas, que proporcionem maior conforto ambiental com maior economia. Estes sistemas, aliados à correta eleição dos materiais, ao respeito à tradição construtiva revista sob a ótica das novas tecnologias, e à cultura regional, impulsionam ao aumento da qualidade de vida da população, e refletem a verdadeira vanguarda na arquitetura. É uma questão de ética considerar o que a natureza oferece de forma gratuita. Ao invés de usar mais energia contra a energia que é oferecida, basta aproveitá-la.

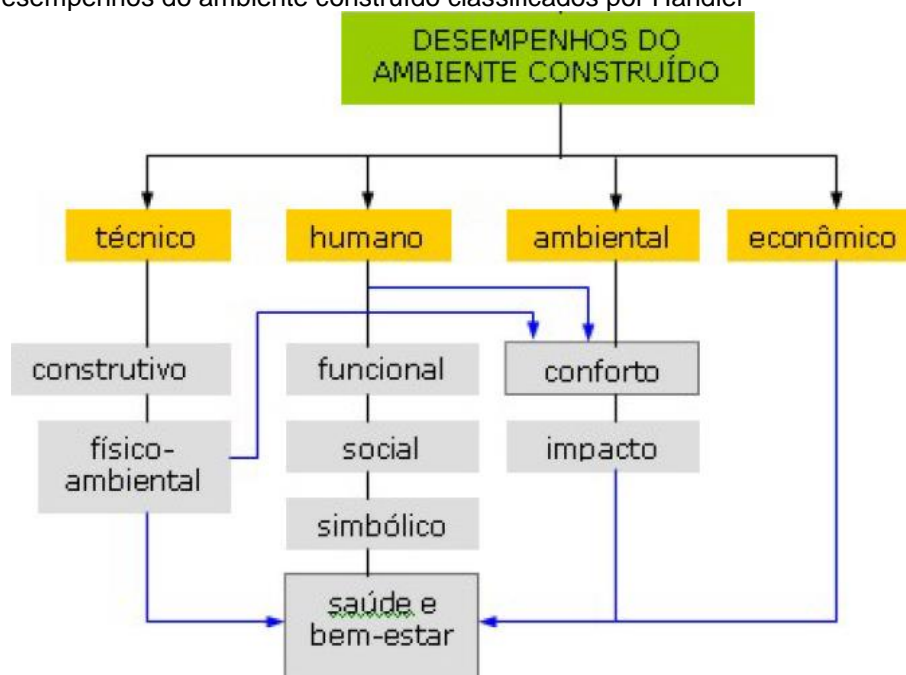
Sendo assim, uma das maneiras para atingir o conforto térmico e a eficiência é a incorporação de estratégias naturais adequadas de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais, não descartando a integração com sistemas artificiais, quando necessários, observando os limites de exequibilidade e a relação

custo x benefício da solução. Tais estratégias passivas seguem os princípios da bioclimatologia (relações entre os estudos do clima com os seres vivos) aplicada à arquitetura, na qual o projeto bioclimático “busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 104), minimizando a dependência em sistemas de climatização artificial e os consequentes gastos energéticos.

Apesar de necessitarem de um investimento inicial, a sua economia ao longo do tempo, ao evitar ou diminuir gastos decorrentes do uso de energia, permitem um retorno financeiro em curto prazo. Como ressaltam Zomer e Rüter (2008), isto implica que devam existir edifícios com melhor desempenho, ao invés da adição de sistemas complementares tradicionais que sejam mais sustentáveis, como ventiladores, ares-condicionados, aquecedores, entre outros, pois se a arquitetura não apresenta condições de conforto, o usuário por conta própria tenta torná-la agradável pela utilização de tais aparelhos, que aumentam o consumo de energia.

Dentre as diversas interpretações da definição de desempenho, pode ser resumida como sendo a maneira como uma edificação se comporta quando sujeita a determinadas ações durante o seu uso, devendo apresentar certas propriedades que a tornem capaz de cumprir suas funções. Com isso, a sua avaliação “consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição, e avaliar se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário” (FREIRE; PIZZOLATO, 1999 apud SPANNENBERG, 2006, p. 44), pelo atendimento aos atributos qualitativos identificados na figura 2 abaixo.

Figura 2 - Desempenhos do ambiente construído classificados por Handler



Fonte - MONTEIRO, 2004 apud SPANNENBERG, 2006, p. 45

Assim, é importante salientar que “o objetivo da avaliação de desempenho do ambiente construído e de seus componentes é garantir a satisfação das necessidades dos seus usuários e afins” (SPANNENBERG, 2006, p. 44), em outras palavras, define esta exigência de habitabilidade como conforto ambiental (térmico, lumínico e acústico); em sentido mais amplo, tem a finalidade de “analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada” (ABNT, 2013, p. 12); e, ainda, “facilitam a integração de considerações de sustentabilidade na tomada de decisões para a viabilização de novos empreendimentos” (FOSSATI, 2008, p. 7).

Para o estudo de caso do presente trabalho destaca-se o desempenho térmico, pelo fato de uma construção conseguir interagir por si só neste aspecto com o exterior, sem a necessidade de interferências extras, como ocupantes e o respectivo uso de equipamentos mecânicos. Especificamente, sua avaliação consiste em “verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de



requisitos prefixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico” (AKUTSU, 1988 apud SPANNENBERG, 2006, p. 57), em outras palavras, “significa avaliar a sua resposta física à influência do meio ambiente externo e do seu uso pelos ocupantes, confrontando os resultados com requisitos quantitativos e qualitativos pré-estabelecidos” (LAMBERTS et al, 2010a). Como exemplo, citam-se o critério de 30% de total de horas de desconforto anual, que, segundo Givoni (1992 apud SPANNENBERG, 2006), para países de clima quente e em desenvolvimento, recomenda-se temperaturas entre 18°C a 29°C para o interior das edificações, ou a comparação dos resultados da avaliação comportamental com os critérios e requisitos de normas de desempenho, esta mais aceita pela maioria dos pesquisadores.

No entanto, há uma diferença entre comportamento e desempenho que precisa ser notada: o comportamento térmico são as trocas térmicas (diálogo) entre o ambiente interno e externo, ocorridas nos elementos de vedação, como uma resposta física da edificação quando submetida às variáveis climáticas externas (ventilação, insolação, temperatura, umidade), comportamento do usuário (manipulação das esquadrias, acionamento dos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento), características das suas superfícies externas (teto, parede, piso, janelas) e gerações internas (pessoas e equipamentos), sendo expresso na variação de temperatura e umidade no interior da edificação. Quando tais fatores comportamentais da edificação em uso são comparados com parâmetros de referência para o atendimento das exigências dos usuários, tem-se uma avaliação do desempenho térmico (LAMBERTS et al., 2010a).

Com o conhecimento de todas essas variáveis envolvidas na edificação (climáticas, humanas e arquitetônicas) pode-se calcular a carga térmica, isto é, a

quantidade de calor necessária que deve ser extraída (resfriamento) ou fornecida (aquecimento) ao ar do ambiente interior para mantê-lo em condições de conforto mínimas e adequadas de temperatura e umidade. É ideal para avaliar as melhores estratégias adotadas na concepção arquitetônica ou as alterações necessárias em edificações já existentes.

Neste aspecto do cálculo, há algumas grandezas que caracterizam o comportamento térmico da edificação, seus elementos, componentes e materiais que devem ser conhecidas para a compreensão da análise do estudo de caso, como (ABNT, 2003a; LAMBERTS et al., 2010a):

- Condutividade térmica ( $\lambda$ ): propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro;

- Resistência térmica de elementos e componentes (R): quociente da espessura de um elemento ou componente construtivo pela condutividade térmica;

- Transmitância térmica (U): inverso da resistência térmica total ( $R_t$ ). Está diretamente relacionada com a condutividade e espessura dos materiais, e representa sua capacidade de permitir a passagem de maior ou menor quantidade de energia;

- Capacidade térmica (C): quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema, significa a sua capacidade de armazenar ou liberar calor. Quanto maior a capacidade térmica do componente, maior sua inércia térmica e, assim, maior o amortecimento dos picos de temperatura internos em relação aos do ambiente externo;

- Calor específico (c): quociente da capacidade térmica pela massa;

- Densidade de massa aparente ( $\rho$ ): quociente da massa pelo volume aparente de um corpo; e
- Atraso térmico ( $\varphi$ ): tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor, como, por exemplo, o período transcorrido para o pico de temperatura máxima em um ambiente interno se igualar ao do ar externo.

E existem algumas normas de desempenho, citadas anteriormente, que estabelecem requisitos e critérios para uma edificação com base em exigências do usuário, independentemente das variáveis arquitetônicas (ABNT, 2013). Dentre elas, podem ser citadas a ISO 6241, a ABNT 15220 e a ABNT 15575, sendo destacadas as duas últimas por serem brasileiras e, por isso, adaptadas às características locais.

A ABNT 15220 trata especificamente sobre o desempenho térmico de edificações e estabelece diretrizes construtivas que atendam exigências considerando a sua respectiva zona bioclimática, “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano” (ABNT, 2003a, p. 5). Já a ABNT 15575 é mais abrangente quanto ao desempenho de edificações habitacionais, em seus variados aspectos, mas ganhou relevância recentemente (entrou em vigor em 19 de julho de 2013) por também apresentar requisitos mínimos dos quais os arquitetos devem estar atualizados para a elaboração de projetos; quanto ao desempenho térmico, determina que, por comparação, as condições térmicas no interior do edifício devem ser melhores do que o ambiente externo nos dias típicos de verão e inverno.

Concomitantemente, a mudança no modo de pensar e agir provoca reações, das quais “interesses econômicos e sociais estimulam pesquisas no desenvolvimento de métodos e ferramentas que auxiliem a compreensão, o controle e a redução de impactos ambientais indesejáveis” (TAVARES, 2006, p. 44).

Para isto, a avaliação de desempenho deve ser baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas, exigindo experiência do profissional analista e o domínio de uma ampla base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto envolvido na edificação (ABNT, 2013). Ela pode ser feita tanto antes na fase de projeto, através de simulação computacional ou verificação do cumprimento de diretrizes construtivas, quanto após a sua construção, por meio de medições *in loco* das variáveis representativas de desempenho (ABNT, 2003b).

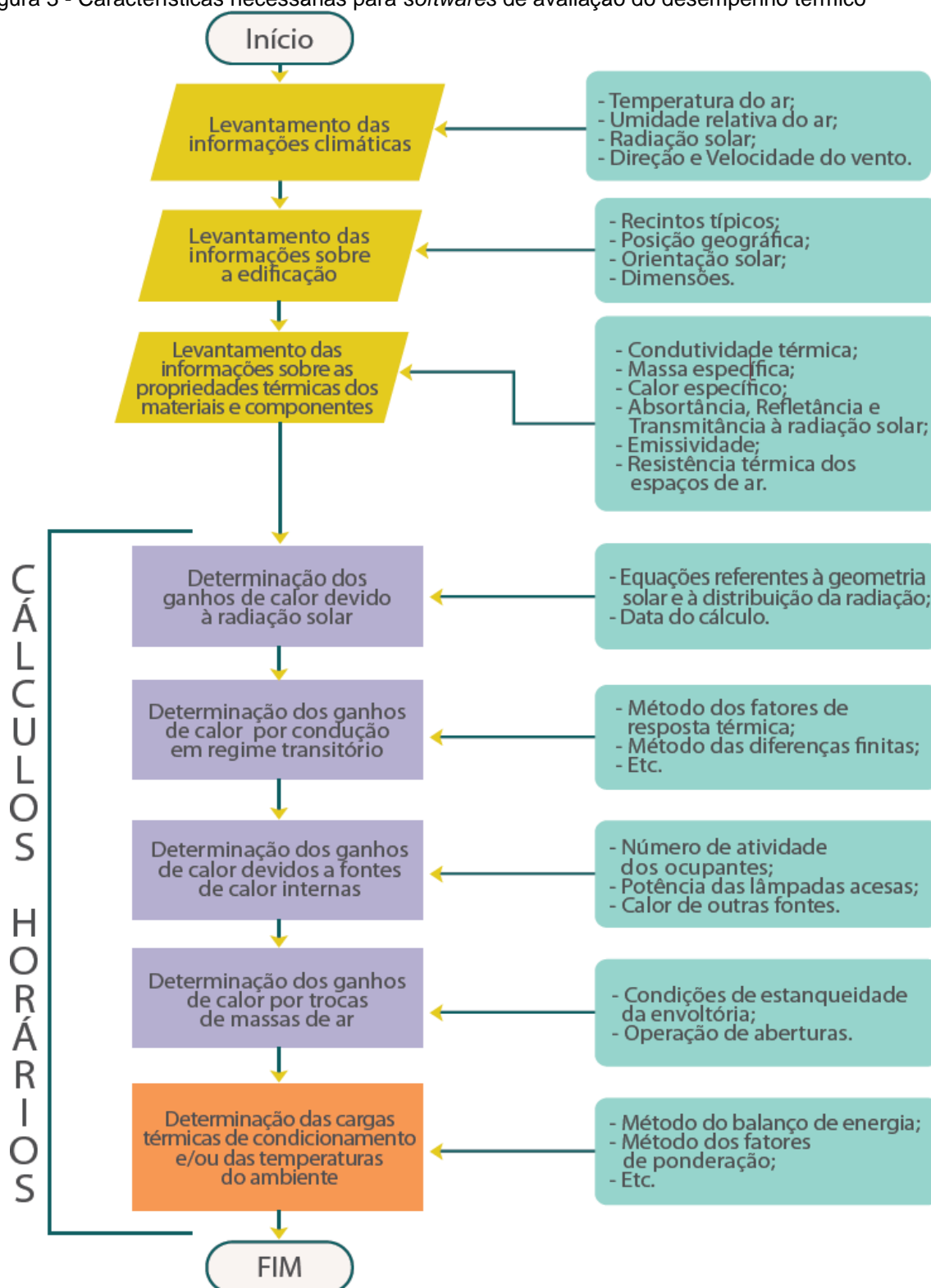
Como define Flório (2005 apud CRESPO; RUSCHEL, 2007, p. 6), simulação é a “experiência ou ensaio realizado com o auxílio de um modelo digital”. Sendo assim, “diversas ferramentas computacionais de simulação têm sido desenvolvidas com o intuito de facilitar a análise e avaliação de projetos e edifícios quanto ao seu comportamento” (LAMBERTS et al., 2010b, p. 15), como é o caso, por exemplo, dentre as várias existentes, da ferramenta *Energy Analysis* do software *Autodesk Revit*, podendo o arquiteto prever o desempenho de sua proposta arquitetônica, conhecendo também o comportamento de cada elemento construtivo, que aliado à aplicação dos recursos bioclimáticos, permite a concepção de edifícios mais eficientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Entretanto, Lamberts, Dutra e Pereira (1997, p. 171) deixam um alerta de que “o arquiteto deve saber avaliar a importância de contar com simulação na

otimização do seu projeto, seja para orientar as decisões de projeto ou para comprovar a eficiência e a análise de custo/benefício dessas decisões”. Quanto aos cuidados que se deve ter ao manipulá-los, Batista et al. (2005 apud LAMBERTS et al., 2010b, p. 15) exigem “um conhecimento aprofundado a respeito das diversas variáveis envolvidas no balanço térmico de uma edificação. Isso se faz necessário para assegurar a correta interpretação dos resultados das simulações”.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013) explica que na simulação computacional são considerados simultaneamente todos os elementos da edificação e todos os fenômenos intervenientes ao comportamento térmico, devendo o programa ser alimentado por dados reais relativos às características construtivas, condições climáticas e propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos. O *software* deve ser validado pela ASHRAE Standard 140, segundo orientação da NBR 15575, ter a capacidade de reproduzir os efeitos térmicos e de reunir as características básicas da figura 3 e o relatório de avaliação do desempenho térmico deve apresentar os resultados de temperatura dos cômodos analisados.

Figura 3 - Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico



Fonte - CBIC, 2013, p. 147

E Lamberts, Dutra e Pereira (1997) sugerem uma sequência de procedimentos (fluxograma 3) relacionados à simulação para o projeto de arquitetura:

Fluxograma 3 - Maneira lógica de projetar integrando conceitos bioclimáticos e de simulação



Fonte - LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 172

Apesar de essas ferramentas serem ainda pouco utilizadas por profissionais da construção civil, diversos autores destacam a eficiência dessas análises de desempenho para o controle ambiental de modo inteligente: “Com o aumento da complexidade dos projetos e a necessidade de integração entre todas as variáveis, haverá a tendência ao uso da simulação” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997, p. 177); e para Lamberts et al. (2010b, p. 14), “todos os estudos realizados demonstraram a importância e grande utilidade da simulação computacional nas análises termo-energéticas de edificações, como a Casa Eficiente”. Trata-se deste Projeto Casa Eficiente o objeto de estudo a ser mais aprofundado no próximo capítulo, juntamente com outros elementos de interesse para a pesquisa.

## 2 ESTUDO DE CASO

Com base nas considerações e explicações feitas até aqui, no capítulo anterior, é possível partir para o principal objetivo do presente trabalho. Trata-se do estudo de caso pela avaliação do *software Autodesk Revit 2014* para a análise de desempenho térmico do projeto Casa Eficiente visando edificações mais sustentáveis, os quais serão conceituados a seguir, apresentando por fim os resultados produzidos pelo cruzamento de informações desses elementos.

### 2.1 O *software Autodesk Revit* e sua tecnologia BIM

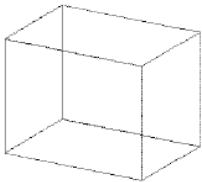
O sistema BIM (*Building Information Modeling*, ou Modelagem de Informações de Construção) é uma plataforma CAD que integra a tecnologia de informação para desenho e documentação, sendo assim “representa um novo caminho para a representação do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do real ciclo de vida da construção” (CRESPO; RUSCHEL, 2007, p. 2).

Essa plataforma proporciona melhorias pelo aumento na dinâmica, flexibilidade e racionalização do processo produtivo, pois o projeto é criado a partir de um modelo 3D de base, composto por um banco de dados único com as informações referentes à edificação, permitindo a parametrização dos objetos, tendo como produto do trabalho desenhos derivados em 2D e tabelas de quantitativos e especificações, nos quais qualquer alteração é aplicada a todos os elementos afetados automaticamente (AUTODESK, 2013; CRESPO; RUSCHEL, 2007;



HIPPERT; ARAÚJO, 2010, JUSTI, 2010). O quadro 4 a seguir torna mais claro tais conceitos e mostra as diferenças com relação à plataforma CAD.

Quadro 4 - Comparação CAD x BIM

	<b>ABORDAGENS</b>	
<i>Termos correlatos</i>	<b>Maquete Eletrônica</b>	<b>Modelo da Edificação</b>
<i>Plataforma</i>	CAD convencional	BIM
<i>Característica Geral 01</i>	Não orientada a objetos e sem objetos paramétricos	Orientada a objetos com os objetos paramétricos
<i>Característica Geral 02</i>	Desenhos técnicos desvinculados à maquete eletrônica	Desenhos técnicos vinculados ao modelo da edificação
<i>Exemplo de Software</i>	AutoCAD 2000, 2004, 2006 e 3D Studio	Revit e ArchiCAD
<i>Característica do software</i>	O <i>software</i> não utiliza do BIM	O <i>software</i> utiliza do BIM
<i>Os objetos são</i>	Linhas e Volumes	Paredes, Portas e Janelas
<i>Visualização em 3D de um cubo como exemplo</i>	<p>A mesma nas duas abordagens</p> 	
<i>O software entende uma parede como sendo</i>	Um sólido ou volume em 3D	A representação de uma parede como na edificação pronta
<i>Informações que vão com o arquivo</i>	<p>Informações sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posição no Espaço</li> <li>• Componentes Linhas ou Volumes</li> <li>• Aparência</li> <li>• Textura</li> </ul>	<p>Informações sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometria 3D</li> <li>• Posição no Espaço</li> <li>• Parâmetros de controle</li> <li>• Custos, Cronogramas</li> <li>• Especificações</li> <li>• Fabricantes</li> <li>• Ordens de compra</li> <li>• Listas de Pessoal</li> <li>• Manuais de Operação</li> <li>• Registros de Manutenção</li> <li>• Registros de Inspeções</li> <li>• Executor</li> </ul>

Fonte - HIPPERT; ARAÚJO, 2010, p. 3

Menezes (2011) complementa o conceito de BIM com a noção das dimensões 4D, 5D e 6D, quando são incorporados à edificação os parâmetros de tempo (fases da construção), orçamento (custo) e manutenção (ciclo de vida), respectivamente, e ainda reforça:

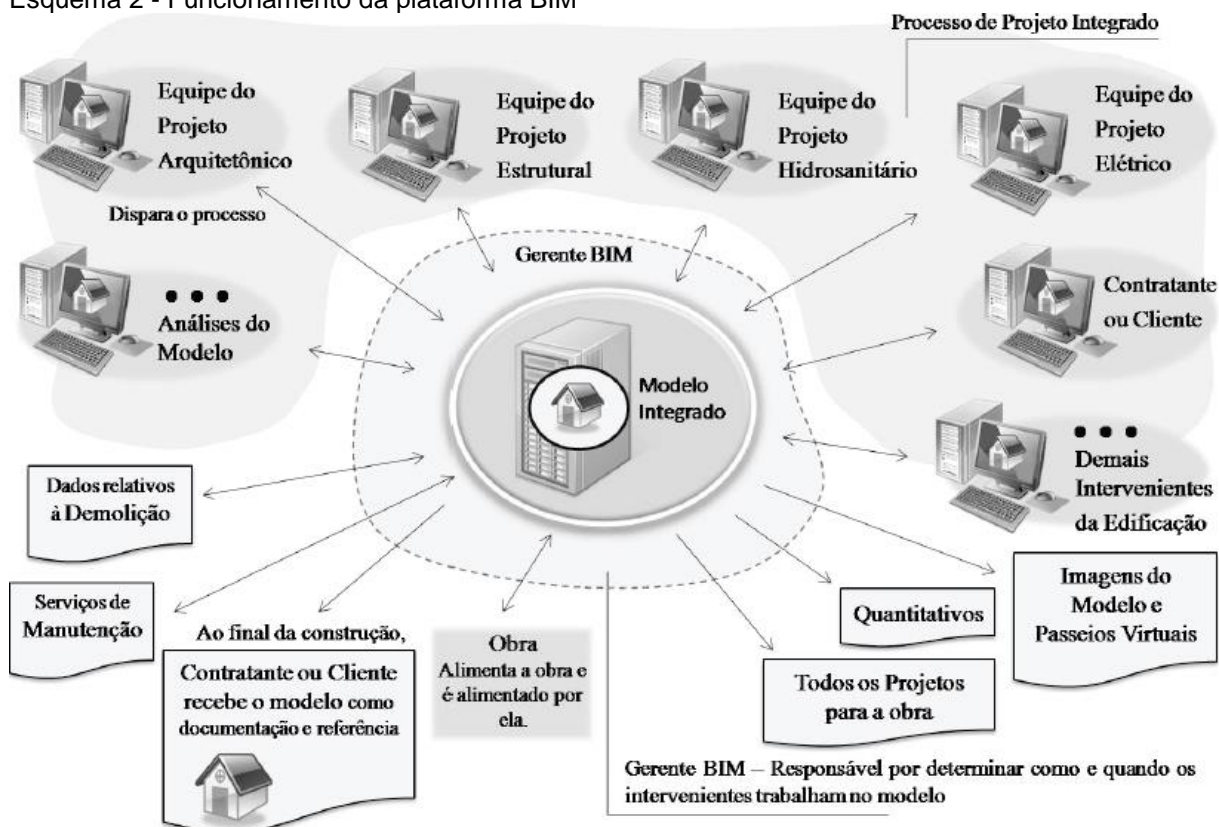
Diferentemente de um simples modelador 3D, a plataforma BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, o qual gera uma base de dados que contém tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, **cálculo energético** e previsão das fases da construção, entre outras atividades. (MENEZES, 2011, p. 154, grifo nosso).

Essa nova abordagem de projeto digital possibilita benefícios para a construção civil e para a sociedade, pois propõe a idealização de projetos mais eficientes, com menos consumo de energia e recursos (KENSEK; KUMAR, 2008 apud MENEZES, 2011) e possui uma série de vantagens competitivas no mercado, apontadas por Justi (2010 apud MENEZES, 2011, p. 155), como

[...] economia de tempo, pela maior velocidade na entrega; a minoração de erros nos desenhos, pela melhor coordenação; a diminuição de custos; a maior produtividade usando um único modelo digital; trabalho com maior qualidade; novas oportunidades de receitas e negócios; mais foco no design e redução do retrabalho.

Tais benefícios são possibilitados por uma integração de um único modelo digital compartilhado, em ambiente de rede *extranet* (servidor), entre todos os responsáveis pelo projeto arquitetônico e os colaboradores dos respectivos projetos complementares, conforme o esquema 2. Portanto, indica que há colaboração entre os participantes do desenvolvimento do produto, compatibilização entre as informações dos projetos das diferentes áreas específicas, interoperabilidade entre as diversas marcas de programas de sistemas CAD-BIM, e a simulação propriamente dita da realidade (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Esquema 2 - Funcionamento da plataforma BIM



Fonte - HIPPERT; ARAÚJO, 2010, p. 5

Apesar disso, segundo Sayegh (2011 apud MENEZES, 2011, p. 163), “o BIM ainda está sendo utilizado parcialmente, explorando apenas algumas características”. É a partir desta informação que o presente trabalho busca compreender e analisar a utilização adequada de potencialidades específicas deste sistema, pois como afirma Lamberts et al. (2010b, p. 13), “os programas computacionais para simulação de edificações são importantes ferramentas para análises detalhadas de desempenho termo-energético”, e como comenta Spannenberg (2006), pelas facilidades na manipulação das variáveis e no tempo de processamento de alternativas.

Portanto, no estudo de caso desta pesquisa será utilizado o programa computacional *Autodesk Revit* em sua versão mais atual, que é uma plataforma da *Autodesk* que utiliza a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), um *software*

completo para o *design* de projetos de arquitetura (JUSTI, 2010), que possui os módulos *Architecture*, *Structure* e *MEP* (*Mechanical, Electrical, Plumbing*), voltados para projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações (mecânicas, elétricas e hidrossanitárias), respectivamente.

Atualmente, é vasto o número de ferramentas disponíveis para analisar e avaliar projetos e edifícios quanto ao seu comportamento energético, térmico, acústico e lumínico: “o Departamento de Energia dos Estados Unidos tem disponível na Internet uma lista com 347 programas de simulação de edificações, para análises de eficiência energética, energias renováveis e sustentabilidade em edifícios” (DOE, 2007 apud LAMBERTS et al., 2010b, p. 15). Ainda assim, são pouco utilizadas pelos profissionais atuantes na construção civil, devido à complexidade e dificuldade de aprendizado dos programas, porque exigem uma grande quantidade de dados de entrada nas simulações e conhecimentos multidisciplinares dos usuários (LAMBERTS et al., 2010b).

Entretanto, o *Revit* vem se destacando por sua utilização cada vez mais crescente, firmando-se como nova ferramenta-base de trabalho para profissionais de arquitetura, praticamente obrigatório para acompanhar as necessidades do mercado; aliada à multidisciplinaridade, inovação e vantagens proporcionadas pelo BIM, descritas anteriormente, além de permitir a análise ambiental de edificações (foco deste trabalho), daí justifica-se sua escolha, a partir da necessidade de descobrir se os profissionais de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) disponibilizam de uma ferramenta confiável para tal atividade.

## 2.2 Projeto Casa Eficiente

A fim de complementar o estudo de caso, com o *software Revit*, foi buscado um exemplo básico do cotidiano e representativo de edificação com potencial para a análise de desempenho ambiental, no caso uma residência. No Brasil e no exterior, existem algumas iniciativas de projetos que buscam melhor desempenho energético e ambiental, como a Casa Autônoma, a residência projetada pelo CASA da Unioeste-PR em parceria com a COPEL, a Casa Ecológica desenvolvida no LPP/UFES, a Casa Solar Eficiente desenvolvida por programa do CEPEL, a Casa Ecológica apresentada na FEHAB/Tecnohab 2003 e as desenvolvidas pelo *Canadian Centre for Housing Technology*.

Entretanto, tais empreendimentos apresentam algumas restrições, como não oferecer oportunidades para avaliação experimental de desempenho, sem disseminar tais experiências, ficando os resultados restritos aos pesquisadores, e não adequar a edificação às tecnologias empregadas, com soluções adotadas isoladamente, sem ênfase na importância da integração com o projeto arquitetônico (ELETROSUL, 2013).

Por isso, foi escolhido o projeto Casa Eficiente, resultado da coordenação da ELETROSUL (Centrais Elétricas S.A.) em parceria com a ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), através do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), e desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) (ELETROSUL, 2013; LAMBERTS et al., 2010b).

Constitui em um espaço com o objetivo de contribuir para a divulgação, desenvolvimento e aplicação de conceitos de edificações eficientes e de soluções que reduzem desperdícios e impactos sobre o meio ambiente, visando à sustentabilidade e ao aprimoramento e modernização do fazer arquitetônico. Dessa forma, é um instrumento educativo, destinado à sensibilização pública, disseminador de boas práticas no setor da construção civil, principalmente edificações residenciais, tornando-se referência nacional para a comunidade acadêmica e profissionais que atuam nesta área (ELETROSUL, 2013; LAMBERTS et al., 2010a; LAMBERTS et al., 2010b).

As informações a seguir, acerca da Casa Eficiente, foram retiradas de uma seção do *site* da *internet* da própria empresa ELETROSUL, onde faz a divulgação do projeto (ELETROSUL, 2013).

O projeto em questão trata-se de uma residência unifamiliar, de demonstração e visita pública, para atender quatro pessoas de classe média alta, com área útil de 206m<sup>2</sup> em dois pavimentos. As fotos abaixo (imagem 1) apresentam a casa construída. O programa de necessidades consiste em: dois quartos (solteiro e casal), sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço coberta, banheiro, área para recepção (decks externos), mezanino e duas áreas técnicas (reservatórios de água).

Imagem 1 - Vistas da Casa Eficiente: (a) fachada sul, (b) fachada norte, (c) fachadas sul x leste e (d) cobertura em teto-jardim



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte - ELETROSUL, 2013

Concebida pelas arquitetas Alexandra Albuquerque Maciel e Suely Ferraz de Andrade, com sistemas e soluções integrados para eficiência energética e



desempenho térmico satisfatório, pensados desde as etapas iniciais como premissas de projeto, a Casa Eficiente, inaugurada em 29 de março de 2006, está localizada no pátio da sede da ELETROSUL, na cidade de Florianópolis – SC, onde o clima é definido como tropical temperado, super úmido, com verão quente e inverno ameno, sub-seco.

A partir do estudo detalhado das características da região litorânea de Santa Catarina, o projeto arquitetônico foi desenvolvido para o melhor aproveitamento e a correta adequação das condições climáticas locais, como orientação e radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, ventos predominantes e o entorno próximo, com o intuito de definir as soluções de projeto para utilizar as diversas estratégias bioclimáticas, que exigem menores investimentos, minimizam a dependência de condicionamento artificial e, assim, proporcionam maior redução do consumo energético.

Sendo assim, durante a concepção da edificação, houve a preocupação para o equilíbrio entre a tecnologia e o aproveitamento de fontes naturais de energia, visando à eficiência energética, conservação ambiental e sustentabilidade, com sistemas alternativos de resfriamento e aquecimento ambiental, prioridade em materiais locais renováveis ou de menor impacto ambiental, uso de vegetação para criação de microclima local agradável, entre outras condicionantes de projeto, conforme apresentado no esboço de proposta (croqui 1) do partido abaixo.

Croqui 1 - Proposta inicial: incorporação das estratégias bioclimáticas



Fonte - ELETROSUL, 2013

Dentre as estratégias passivas para condicionamento de ar e conforto térmico dos usuários utilizados no projeto, para evitar ganhos de calor excessivos no verão e reduzir as perdas no inverno, destacam-se também:

- Volumetria e orientação da edificação em função das condições de insolação, para aproveitamento da radiação solar, e ventilação do entorno, para captação dos ventos predominantes;
- Ventilação cruzada em todos os ambientes de maior permanência (quartos e sala), pela disposição das esquadrias em fachadas opostas em cada ambiente;
- Isolamento térmico nas coberturas e inércia térmica das paredes, com o amortecimento e atraso térmico nas temperaturas internas em relação ao ambiente externo, reduzindo a transmissão de calor e as amplitudes térmicas;

- Toda a área molhada da casa (cozinha, área de serviço e banheiro), de menor permanência dos ocupantes, foi concentrada no lado oeste, funcionando como barreira contra a insolação nesta orientação;
- Vidros duplos nas esquadrias, para melhor isolamento térmico e acústico, e persianas externas de PVC e proteções solares externas com vegetação, para sombreamento diurno;
- Emprego de insuflamento mecânico do ar externo durante o verão, para a ventilação no período noturno nos dormitórios através de equipamentos; e
- Circulação de água quente em tubulação no interior dos quartos para aquecimento ambiental.

Além disso, possui sistemas complementares de “aproveitamento da energia solar térmica para aquecimento de água e da energia solar luminosa para a geração de eletricidade através de um painel fotovoltaico interligado à rede” (LAMBERTS et al. 2010b, p. 7). Também conta com estratégias para o uso eficiente da água, pela utilização de equipamentos economizadores, aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis e reuso de águas cinzas. E ainda foi toda adaptada para a acessibilidade em todos os ambientes.

Como a Casa Eficiente é um centro de demonstrações em eficiência energética e conforto, com potencial para a promoção do ensino e do desenvolvimento científico e tecnológico, foi também criado o Laboratório de Monitoramento Bioclimático e Eficiência Energética (LMBEE), que a equipou com um amplo sistema de monitoramento termo-energético e uma estação meteorológica própria (LAMBERTS et al., 2010b), para o controle diário e comparação “das variáveis ambientais internas e externas, da geração de energia solar fotovoltaica e

dos fluxos de calor através das vedações (paredes e coberturas)” (ELETROSUL, 2013), possibilitando uma avaliação de desempenho térmico da edificação.

Suas atividades de pesquisa e os resultados obtidos, ao longo de dois anos e meio, foram apresentados em quatro publicações técnicas direcionadas à construção civil e ao desenvolvimento de projetos adequados ao meio ambiente, sendo relevantes para este trabalho o primeiro e o último volume: Bioclimatologia e Desempenho Térmico e Simulação Computacional do Desempenho Térmico-Energético, respectivamente. Tais publicações orientaram a produção da modelagem e simulação do projeto arquitetônico no programa computacional *Revit*, a ser explicado na seção a seguir.

### **2.3 Produção e resultados**

Os pesquisadores do laboratório de monitoramento da Casa Eficiente (LMBEE) realizaram simulações computacionais na residência em dois momentos diferentes para análises detalhadas de seu desempenho termo-energético: durante as fases iniciais de projeto e após a sua construção. Para isto, utilizaram o programa computacional *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e um dos mais utilizados por pesquisadores brasileiros para essa finalidade, por meio de modelos que possibilitaram estudos iniciais das alternativas propostas e, posteriormente, um modelo que representou ao máximo a realidade da casa já construída (dimensões, volumetria, aberturas e materiais) (LAMBERTS et al., 2010b).

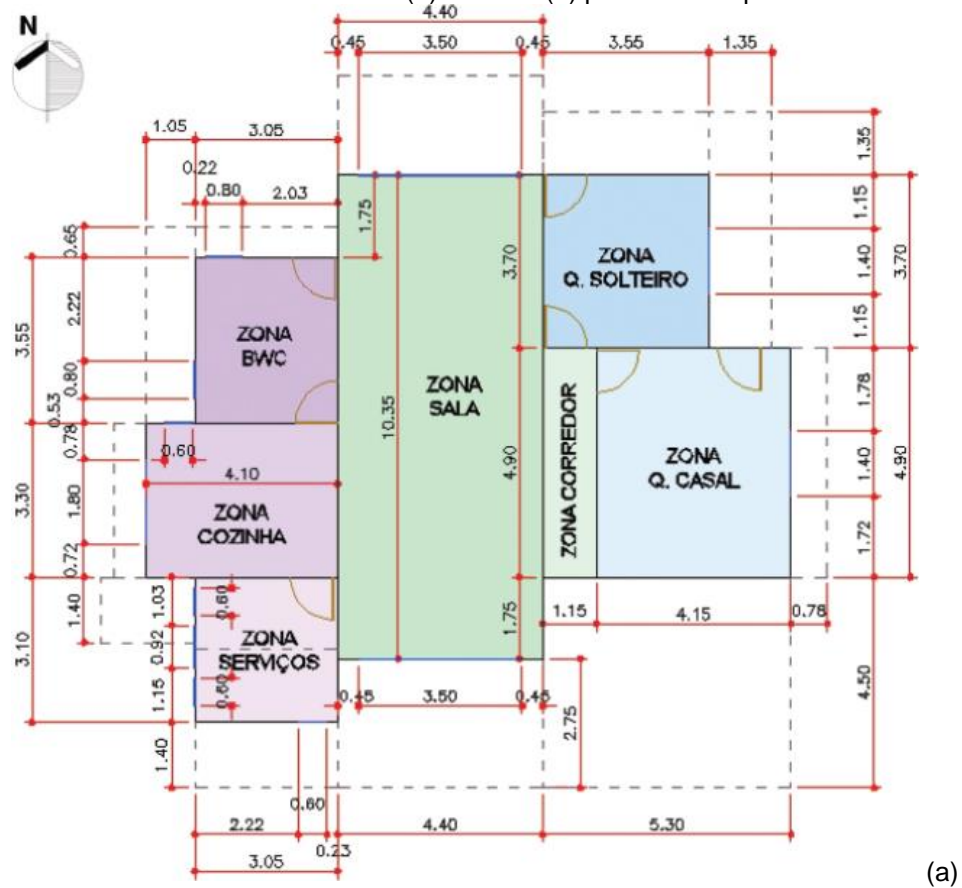
Como resultados, obtiveram o comportamento das temperaturas internas de ambientes específicos, como a sala, o quarto de casal e o banheiro, para compará-los com dados reais medidos internamente com equipamentos e no ambiente externo e avaliá-los quanto ao desempenho térmico. Westphal e Lamberts (2005 apud LAMBERTS et al., 2010b) consideram que é relevante verificar essa semelhança do comportamento térmico entre os dados obtidos nas simulações e os das medições na edificação real, tanto para calibrar corretamente o modelo quanto para poder testar o próprio programa computacional em alcançar resultados satisfatórios e confiáveis, mais próximos da realidade.

Os desenhos técnicos da Casa (plantas, cortes, fachadas, detalhes, especificações, entre outros) foram disponibilizados em formato CAD (2D) por uma das responsáveis pelo projeto, a arquiteta Alexandra Maciel. Com isso, foi possível transferir as informações do projeto para a modelagem no *software Revit*, tomando cuidado também para a criação de uma representação bastante comparativa ao que foi analisado pelas pesquisas realizadas no LMBEE, conforme as características físicas e construtivas existentes na edificação estudada, juntamente com as informações contidas nas publicações técnicas feitas, já apresentadas anteriormente.

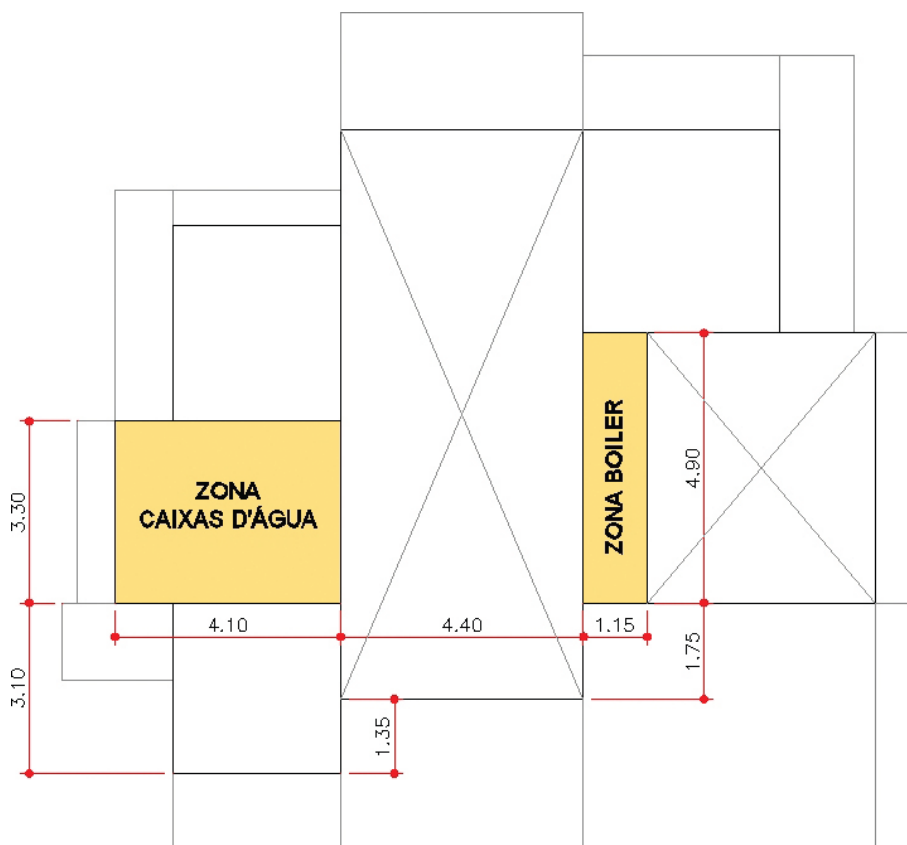
Portanto, foi levada em consideração a habitação como um todo, principalmente a sua envoltória (paredes externas e coberturas), que tem grande influência nos resultados do desempenho térmico, e os componentes construtivos, com seus respectivos materiais e estratégias de baixo impacto ambiental, entre outros aspectos:

- As dimensões, volumetria e orientação da residência (figura 4);

Figura 4 - Plantas baixas da Casa Eficiente: (a) térreo e (b) pavimento superior



(a)

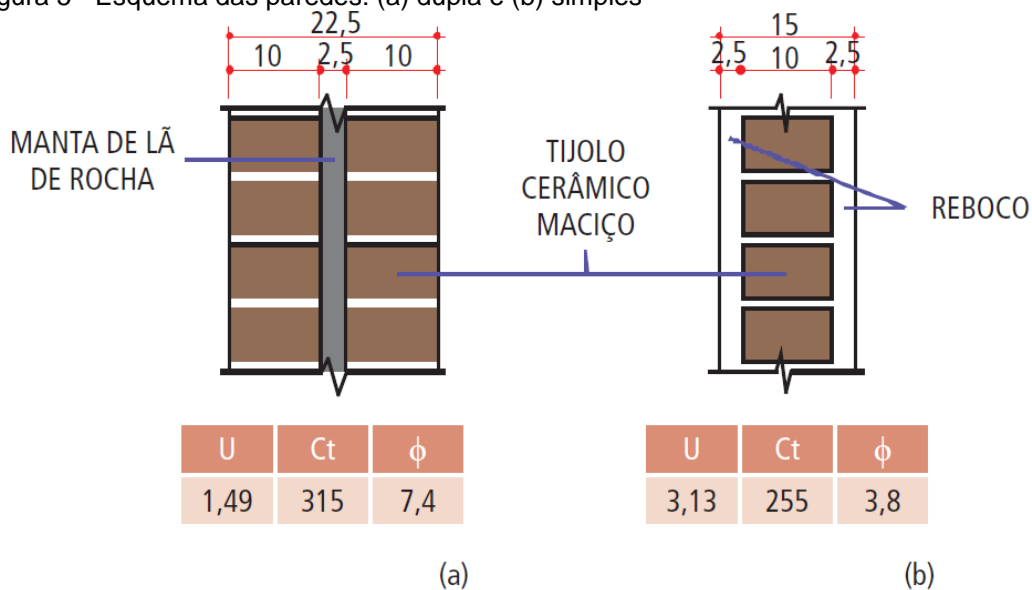


(b)

Fonte - LAMBERTS et al., 2010b, p. 29

- Os dois tipos de paredes (figura 5) – dupla e simples;

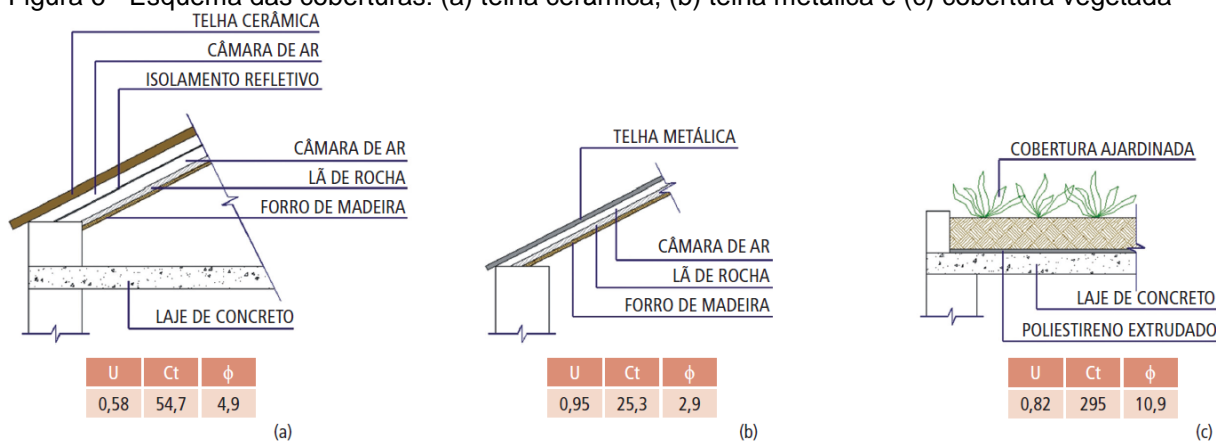
Figura 5 - Esquema das paredes: (a) dupla e (b) simples



**NOTA:** U = Transmitância térmica ( $W/m^2.K$ ); Ct = Capacidade térmica ( $kJ/m^2.K$ );  $\phi$  = Atraso térmico (horas).  
 Fonte - LAMBERTS et al., 2010b, p. 30

- Os três tipos de cobertura (figura 6) – telha cerâmica, telha metálica e telhado jardim;

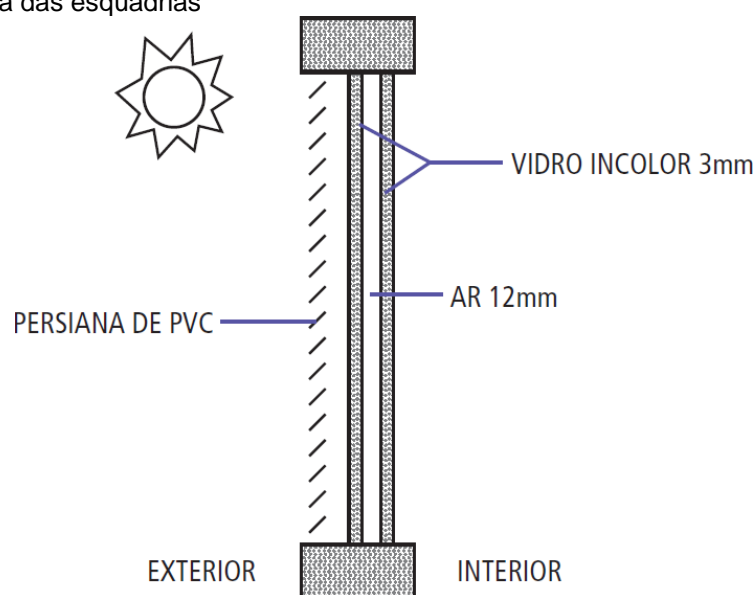
Figura 6 - Esquema das coberturas: (a) telha cerâmica, (b) telha metálica e (c) cobertura vegetada



**NOTA:** U = Transmitância térmica ( $W/m^2.K$ ); Ct = Capacidade térmica ( $kJ/m^2.K$ );  $\phi$  = Atraso térmico (horas).  
 Fonte - LAMBERTS et al., 2010b, p. 31

- As portas e janelas externas com duas camadas de vidro (figura 7); e

Figura 7 - Esquema das esquadrias



Fonte - LAMBERTS et al., 2010b, p. 34

- Por fim, cada material com suas respectivas propriedades térmicas (quadro 5), obtidas na norma NBR 15220.

Quadro 5 - Características dos materiais utilizados na simulação computacional

Material	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)	Absortância	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)
Tijolo cerâmico maciço 10cm, com argamassa de assentamento	0,900	1764	920	0,3	0,107
Argamassa reboco 2,5cm	1,150	2000	1000	0,2	0,022
Concreto maciço 10,0cm	1,750	2200	1000	0,3	0,057
Telha cerâmica 1,0cm	1,050	2000	920	0,4	0,010
Telha metálica 0,1cm	112,00	7100	380	0,2	0,000
Madeira para forro 1,5cm	0,140	600	2300	0,7	0,107
Madeira para porta 3,0cm	0,150	600	1340	0,2	0,200
PVC para esquadria 1,0cm	0,200	1350	960	0,2	0,050
Polietileno alumínizado 0,5cm	0,400	1200	2299	0,3	0,013
Manta de lã de rocha 2,5cm	0,045	100	750	-	0,555
Poliestireno extrudado 2,0cm	0,035	30	1420	-	0,571
Câmara de ar de baixa emissividade, espessura >5,0 cm - fluxo descendente	-	-	-	-	0,61
Câmara de ar de alta emissividade, espessura >5,0 cm - fluxo descendente	-	-	-	-	0,21
Câmara de ar de alta emissividade, espessura 3 cm - fluxo descendente	-	-	-	-	0,18

Fonte - LAMBERTS et al., 2010b, p. 32

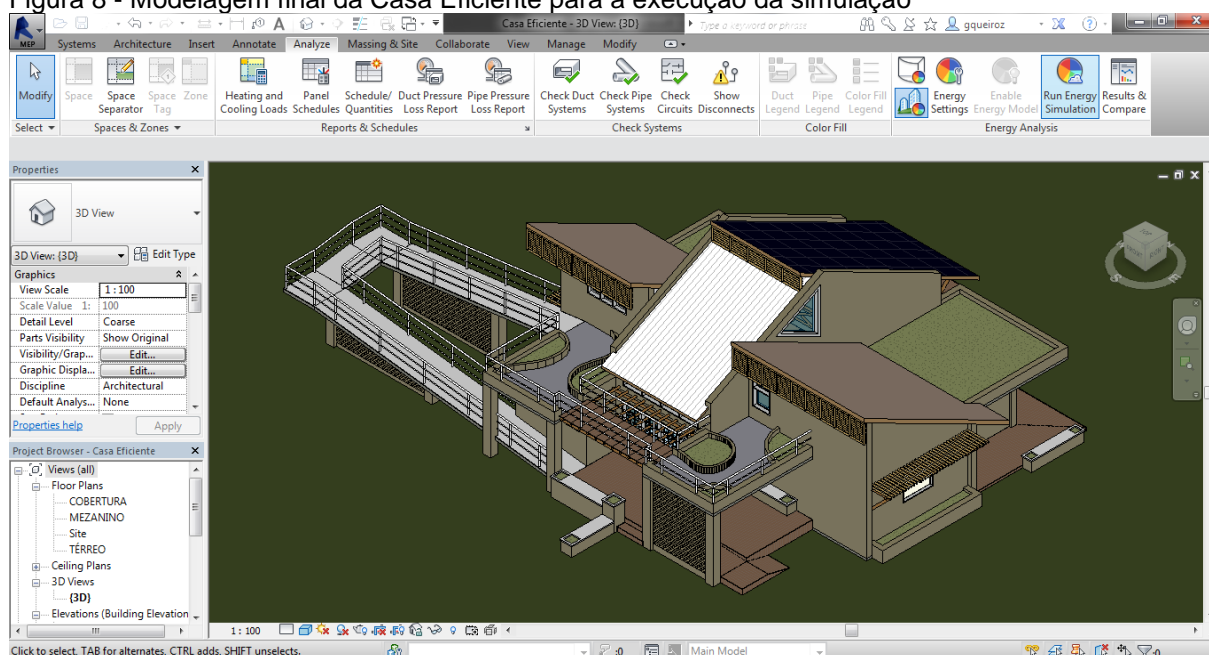
A plataforma *Revit* possui variados tipos de análises em diferentes aspectos do ambiente construído que informam decisões durante o processo de



trabalho dos profissionais de AEC, seja para um novo projeto como também para edificações construídas, incluindo nestas as obras de *retrofit* – “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando [...] eficiência energética” (CBIC, 2013, p. 31) –. Por exemplo, diagnósticos e/ou prognósticos estruturais, de energia, trajetória solar, equipamentos de climatização, entre outros, que podem ser utilizados em relatórios de auditoria de eficiência do edifício e em estudos posteriores.

Para o estudo de caso, como indicado na figura 8, foi utilizada, a ferramenta integrada de análise *Energy Analysis* do programa computacional *Autodesk Revit*, em sua versão 2014, a mais atual (sendo possível o seu acesso pela ajuda do arquiteto Alexander Justi, especialista em tecnologia BIM e *Revit* e instrutor e desenvolvedor autorizado pela *Autodesk*), e em sua extensão MEP, voltada para instalações prediais, inclusive de equipamentos para climatização artificial, e mais específica para o tipo de análise desejado.

Figura 8 - Modelagem final da Casa Eficiente para a execução da simulação



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho obtido do software *Autodesk Revit MEP 2014*

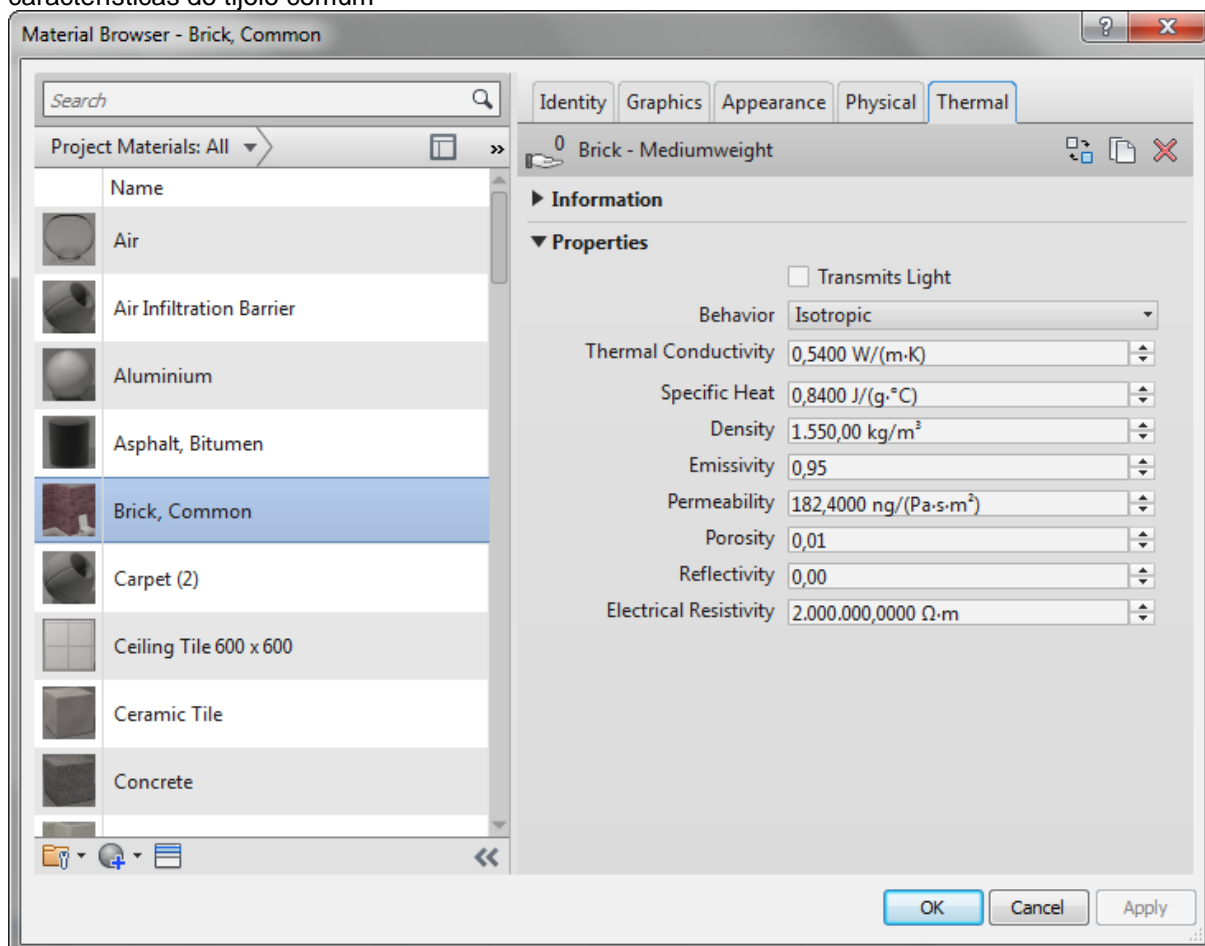
Disponível como um benefício limitado somente para quem possui uma conta na *Autodesk Subscription*, ela executa toda a simulação de energia da edificação, inclusive a térmica, enviando um arquivo na nuvem (serviço da *web*) para outro *software*, o *Autodesk Green Building Studio*, que retorna os resultados pelo servidor. Ela pode ser feita antecipadamente em um modelo conceitual (estudo preliminar) ou em elementos do edifício já construído (AUTODESK, 2013), sendo escolhido este último método de análise (adicionado ao *software* nessa versão atualizada) pelo fato de a Casa Eficiente encontrar-se nessa situação.

Para a avaliação foram considerados aspectos externos presentes no período de monitoramento realizado em dezembro de 2007: sem a ocupação de usuários e sem ventilação natural (portas e janelas fechadas). Os elementos de construção (paredes, telhados, pisos, janelas etc.) foram criados de acordo com as devidas orientações, sendo que os elementos do ambiente/espço (mobiliário) não foram criados, pois são opcionais para a simulação, e foi proposta neste estudo a análise da casa sem ocupantes, pois, como já explicado, a residência assim isolada pode ser autossuficiente com relação ao aspecto térmico, reagindo independentemente às condições onde se encontra.

Outro aspecto importante desse programa computacional são os materiais aplicados nos objetos do modelo, de acordo com a janela de comando de configurações apresentada abaixo (figura 9). Representam materiais reais e, como são baseados em parâmetros possibilitados pela tecnologia BIM (propriedades paramétricas), permitem mudar seus valores especificando várias informações para determinar características e comportamentos realistas ao que foi definido, dentre elas as propriedades térmicas conceituadas na seção sobre desempenho desta pesquisa que são utilizadas para a análise de energia (AUTODESK, 2013). Os

materiais não considerados na simulação foram definidos como inertes e para os que não foram especificados os dados nas orientações foram utilizados os valores padrões da biblioteca do *software*.

Figura 9 - Propriedades térmicas configuráveis de materiais no *Revit*: exemplo do padrão inicial das características do tijolo comum

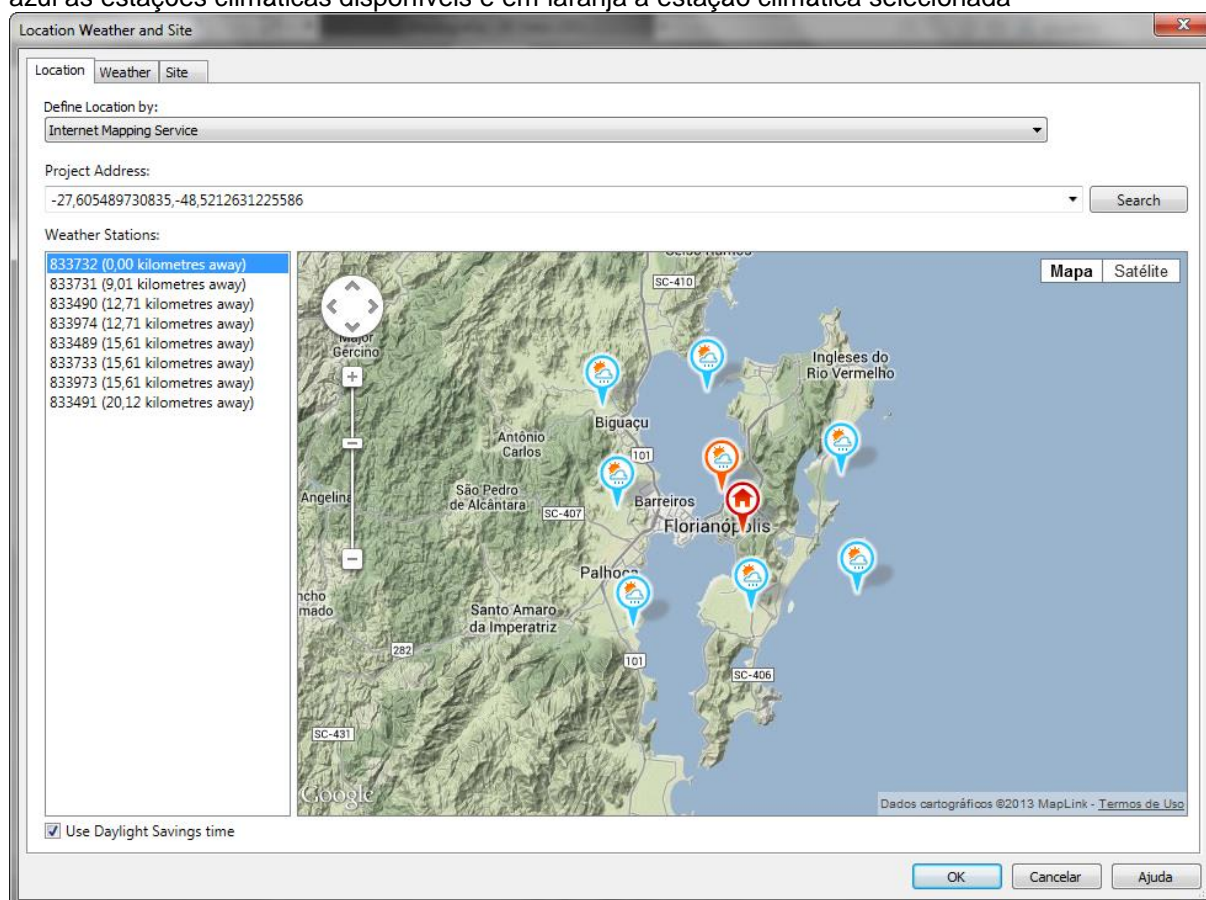


Fonte - Obtido do *software Autodesk Revit MEP 2014*

Além da modelagem da edificação, algumas outras configurações de energia do *software* são importantes para a correta simulação, as quais foram orientadas pelos tutoriais do *site* da empresa responsável pelo programa (AUTODESK, 2013). Dentre elas, especialmente, o tipo de construção (residência unifamiliar), que influencia pelo número de usuários e quantidade de horas no uso de energia, e a localização geográfica do projeto (Florianópolis/SC), cujo entorno e clima interferem nas condições onde a edificação está implantada.

O *Revit* também possui a opção de “Serviço de mapeamento através da Internet para membros de Assinatura do *Autodesk*”, no qual são disponibilizadas estações climáticas virtuais do "ano real" e estações climáticas anuais típicas, com base na média de 30 anos de dados climáticos disponíveis globalmente em intervalos de 12 quilômetros, sendo adicionados anualmente novos dados. Sendo assim, é inserida a localização do projeto e selecionada a estação climática apropriada, que fornece as informações sobre o clima local usadas na análise (temperaturas, umidade, ventos e outros) e que afetam diretamente os requisitos de aquecimento e de resfriamento em um projeto (AUTODESK, 2013). Neste caso o programa apresenta a própria estação climática localizada na casa com dados do ano de 2006, como mostrado na figura 10 abaixo.

Figura 10 - Serviço de mapeamento através da Internet: pino vermelho a localização do projeto, em azul as estações climáticas disponíveis e em laranja a estação climática selecionada



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho obtido do software *Autodesk Revit MEP 2014*

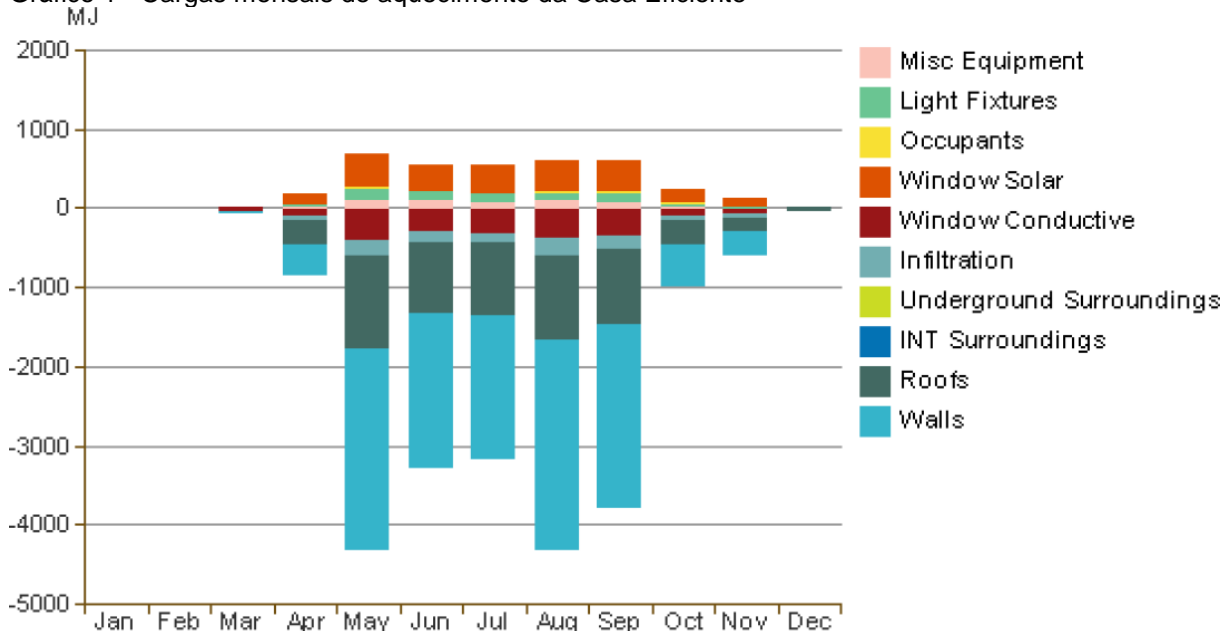
Essa análise da Casa Eficiente no *Revit* produz uma série de resultados referentes ao comportamento e desempenho da residência já construída, como as informações do projeto e do clima local, o uso e os custos do consumo de energia, emissões de carbono, cargas térmicas, entre outros. Tais resultados, apresentados no Apêndice A deste trabalho, são padronizados levando em consideração toda a edificação, não podendo, portanto, serem escolhidos os tipos de dados de saída e a análise separada de ambientes específicos, como ocorrido no estudo feito pelos pesquisadores do laboratório da Casa. Serão destacados os gráficos de cargas mensais de aquecimento e resfriamento, por se inserirem no contexto do tema desta pesquisa, ou seja, o aspecto térmico de uma edificação.

Tais gráficos exibem as cargas térmicas acumulativas de aquecimento e resfriamento do modelo analisado para cada mês, sendo possível identificar os componentes críticos do projeto. E não representam as cargas causadas por ventilação do ar, tampouco para dimensionamento de equipamentos de sistemas artificiais de condicionamento do ar interno, ou sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), necessitando-se de outro tipo de análise mais detalhada, também possível no *software*, mas fora dos objetivos deste trabalho para uma arquitetura mais sustentável. Em ambos estão explícitos que são insignificantes os valores referentes aos equipamentos diversos, iluminação e ocupantes, pois estes foram desconsiderados na produção da modelagem e na análise do projeto.

No gráfico 1, para cargas mensais de aquecimento, percebe-se que as barras mais significativas encontram-se entre os meses de maio a setembro, justamente por essa necessidade de condicionamento do ar interno (elevação de temperatura) no período mais frio do ano (inverno) da localização da residência. Os maiores valores negativos estão para paredes e em segundo para telhados, ou seja,

indicam que a perda de calor, em MJ, através destes elementos de construção é a que possui a maior demanda mensal para calor neste período; os componentes com valores positivos para acúmulo de energia térmica reduzem esta demanda.

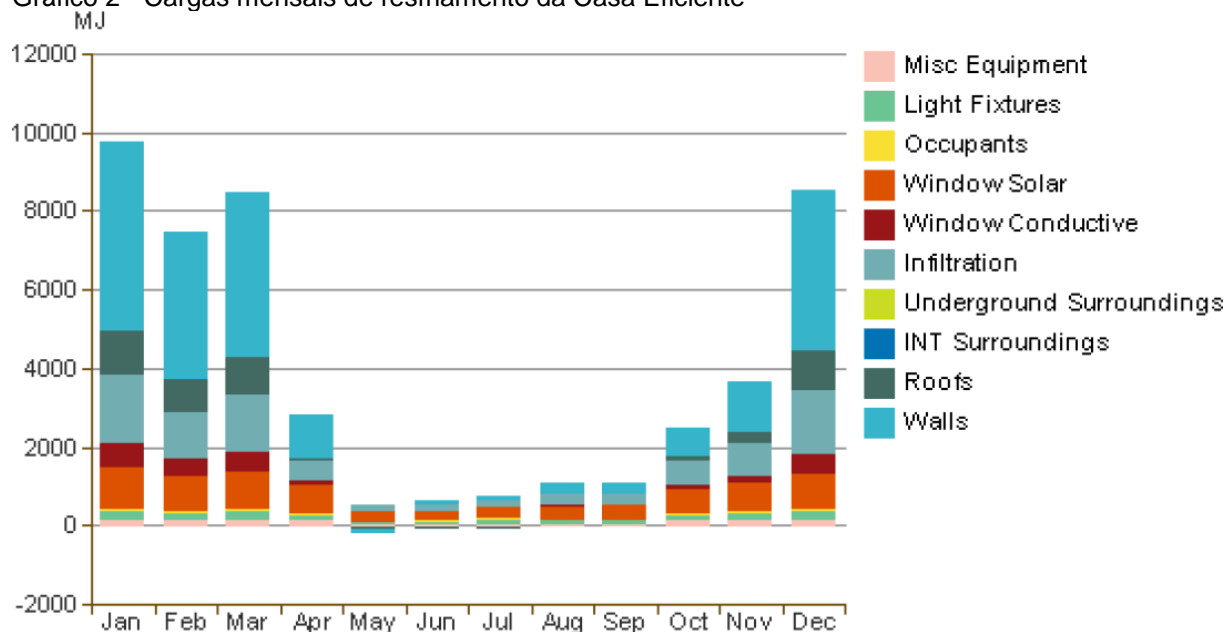
Gráfico 1 - Cargas mensais de aquecimento da Casa Eficiente



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho obtido do software Autodesk Revit MEP 2014

Já no gráfico 2, de cargas mensais de resfriamento, nota-se que ocorre o contrário com relação ao aquecimento: os valores mais expressivos para a diminuição da temperatura dos ambientes internos estão nos meses mais quentes do ano quando ocorre o verão, entre dezembro e março. Neste caso, os valores positivos representam demandas que precisam ser satisfeitas e os negativos compensam a necessidade de resfriamento. Novamente as paredes possuem as maiores contribuições, aqui para o ganho de calor, juntamente com a infiltração de ar externo na Casa Eficiente, quando for permitida a ventilação natural, sendo então necessária a reavaliação prioritária destes elementos, quanto aos materiais, disposição, quantidades e espessuras, para melhorar o desempenho térmico da edificação com vistas para o resfriamento.

Gráfico 2 - Cargas mensais de resfriamento da Casa Eficiente



Fonte - Produzido pelo autor do trabalho obtido do software Autodesk Revit MEP 2014

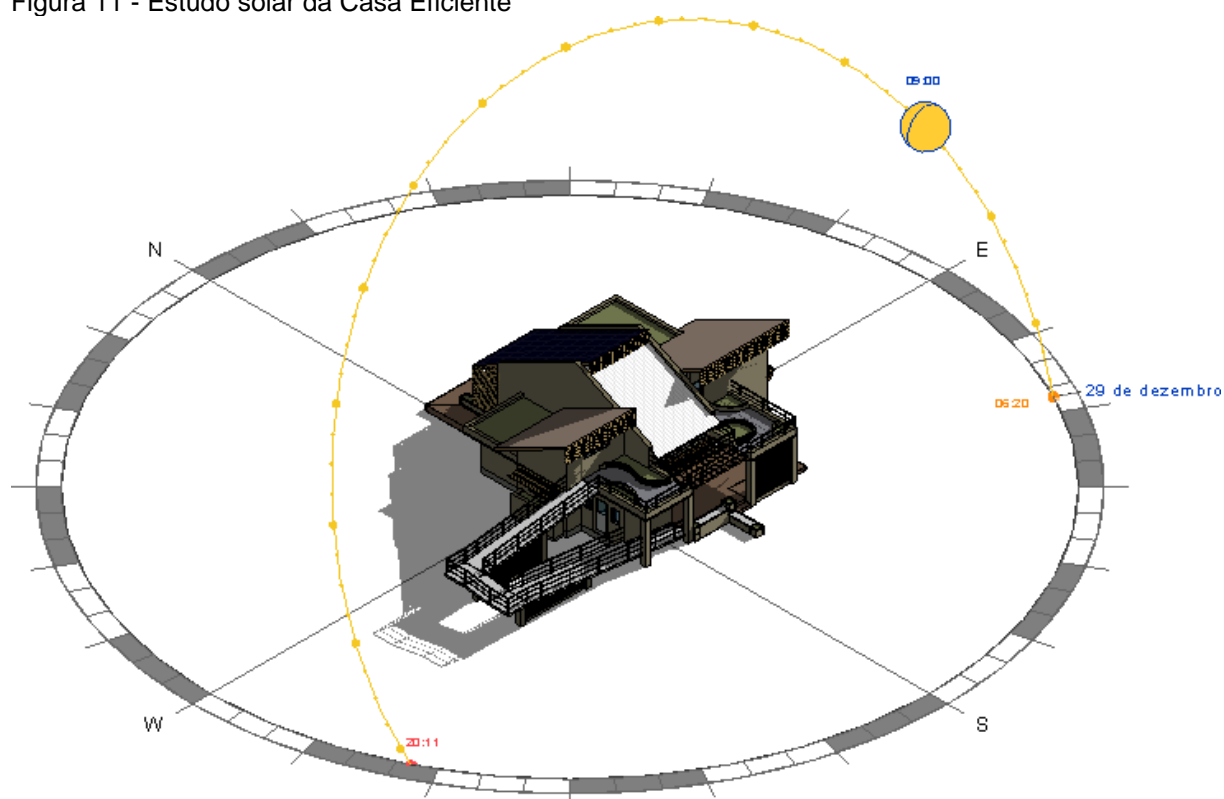
As cargas de aquecimento e resfriamento são calculadas no *Revit* tendo como parâmetros de referência as especificações do Manual de conceitos básicos da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, ou Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionado). Por isso, nota-se que o *software* por ser de uma empresa americana, assim, utiliza normas locais, o que criam dúvidas quanto a não se adequar completamente à realidade brasileira; tal fato e suas implicações detalhadas não serão focados neste trabalho.

Ainda neste programa computacional é possível realizar múltiplas simulações modificando alguns parâmetros do modelo para a comparação dos resultados e, conseqüentemente, avaliar as estratégias de interesse, propostas e existentes, no desempenho e compreender o uso potencial de energia na edificação, a fim do direcionamento para um projeto mais sustentável.

Outra análise que pode ser usada no *Revit* para auxiliar na melhoria de desempenho térmico de uma edificação é o estudo solar, que representa

visualmente, de acordo com a orientação (norte verdadeiro) e localização do projeto, a trajetória do sol em horas e dias específicos de um ano e demonstra o impacto da luz natural, que penetra o interior do edifício, e das sombras no projeto, produzidas pelo entorno e por elementos arquitetônicos de proteção, conforme figura 11. Parte de sua importância é devida por fornecer informações que ajudam a compreender e estudar as estratégias solares passivas para aquecimento ou resfriamento da Casa, inclusive para iluminação natural (AUTODESK, 2013).

Figura 11 - Estudo solar da Casa Eficiente

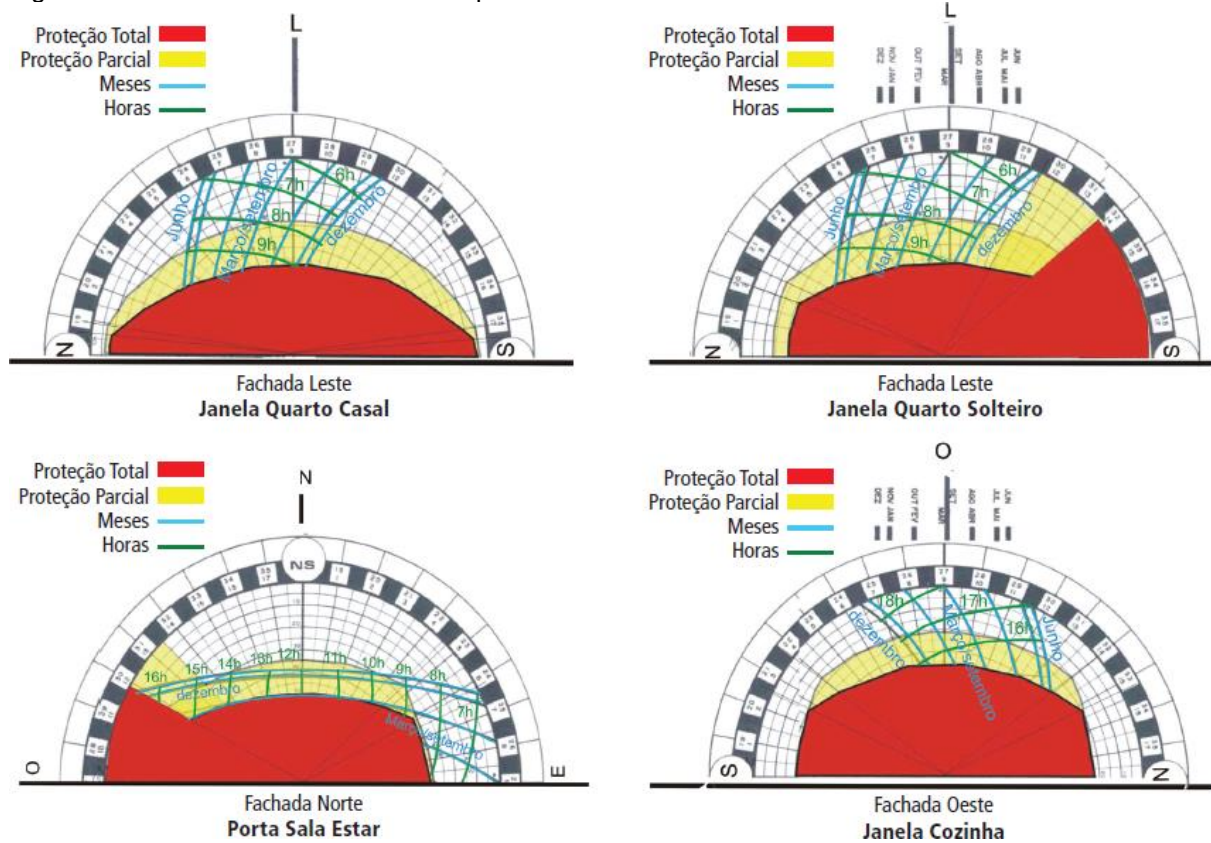


Fonte - Produzido pelo autor do trabalho obtido do *software Autodesk Revit MEP 2014*

Embora seja de grande utilidade, este resultado visual não elimina a necessidade de um estudo prévio detalhado dos efeitos do sol, como, por exemplo, o uso de máscaras de sombras realizadas para o cálculo do dimensionamento de aberturas e elementos de proteção solar, mostrados abaixo na figura 12 os realizados na concepção do projeto da Casa Eficiente.



Figura 12 - Máscaras de sombra correspondentes às aberturas da Casa Eficiente



Fonte - LAMBERTS et al., 2010a, p. 27

## CONCLUSÃO

Por meio da contextualização feita e do estudo de caso indicado, pode-se notar que o tipo de análise escolhido no *software Autodesk Revit 2014* fornece desde informações sobre o clima local até uma série de resultados produzidos no âmbito da energia de uma edificação, sendo esta o projeto Casa Eficiente em Florianópolis/SC. Especificamente, partindo para a delimitação proposta pelo trabalho sobre o aspecto térmico, a ferramenta *Energy Analysis* atende todas as características necessárias para *softwares* de avaliação, apontadas na figura 5 da seção 1.6, e juntamente com o estudo solar produzem resultados que de fato condizem com a realidade do projeto. Entretanto tais dados são superficiais, pouco aprofundados para a análise detalhada do comportamento do edifício, pelo fato de serem padronizados no programa computacional, dificultando a sua comparação com medições reais e com parâmetros de referências de normas para a avaliação de desempenho térmico.

Com isso, é necessária a utilização de outros instrumentos adicionais que a complementem para expandir uma análise térmica minuciosa do ambiente construído, inclusive como recomendado nos tutoriais do próprio *site* da empresa do programa (*Autodesk*): como a ferramenta presente no *Revit*, Análise de Cargas de Aquecimento e Resfriamento, peculiar para projetos complementares de condicionamento artificial, mas que também fornece as temperaturas internas dos ambientes, valores mais úteis para o julgamento de desempenho; processos, como o método de máscaras de sombras, apresentado no desenvolvimento desta pesquisa; e/ou aplicativos de terceiros mais direcionados para esse fim, como *Green*

*Building Studio*, *Ecotect Analisis*, *Vasari*, *EnergyPlus*, os mais difundidos entre tantos outros.

Como já explicado, as capacidades do *software Revit*, através de sua tecnologia BIM, permitem um acompanhamento de todo o projeto arquitetônico, desde as etapas iniciais até a sua execução, e do ciclo de vida da edificação já construída; e na sua ferramenta *Energy Analysis* é possível realizar simulações e diferentes testes com modelos conceituais ou representativos da construção consolidada. Portanto, fazendo os devidos ajustes e os testes de estratégias, as diferentes análises produzidas podem ser incorporadas nos estudos e relatórios das diferentes fases do empreendimento.

Tais resultados do comportamento térmico, ainda que pouco detalhados, de certa forma são práticos para o profissional da construção civil, principalmente o arquiteto, pois disponibilizam informações de rápida visualização e fácil interpretação do panorama total da edificação para o auxílio na tomada de melhores decisões para um projeto cada vez mais sustentável; além disso, realimentam futuros projetos, evitando a repetição de falhas recorrentes e difundindo as soluções positivas. Sendo assim, indicam que são ferramentas de projeto muito úteis uma vez que contribuem para alcançar o melhor desempenho térmico da edificação, que proporciona conforto aos seus usuários e eficiência energética, que mitigam os impactos da construção sobre o meio ambiente e, assim, conduzem ao desenvolvimento sustentável.

Nota-se que os programas e ferramentas computacionais evoluem preocupados com as questões ambientais, tornando-se cada vez mais acessíveis e confiáveis, porém o arquiteto ainda não acompanha essa evolução, considerando a arquitetura sustentável como mais um estilo arquitetônico existente (como

modernista, desconstrutivista, high-tech, dentre outros), e não como um valor relevante e diferencial agregado ao seu repertório de linguagem de projeto.

Outra questão relevante percebida é que uma das principais dificuldades para manter em equilíbrio o tripé da sustentabilidade em edificações são as pressões econômicas e demandas sociais serem apreciadas como mais relevantes do que aspectos técnicos e ambientais, desconsiderando os impactos indiretos. E, apesar das melhorias proporcionadas, não depende somente da postura do arquiteto como profissional chave no processo para garantir a sustentabilidade na construção civil, é indispensável que haja uma reeducação dos seus usuários, para que sejam conscientes e contribuintes para a valorização de boas práticas de eficiência energética em suas vidas cotidianas e a utilização correta das estratégias incorporadas no edifício.

Diante do que foi exposto, conclui-se que existe a necessidade de usar essas ferramentas de análise de desempenho porque são de grande valia particularmente para o arquiteto, que concentra as informações de todo o projeto e define as estratégias e conceitos, como os de sustentabilidade ou bioclimatologia, a serem seguidos por todos os envolvidos no processo de trabalho. Como o *Revit* está se tornando cotidiano nos ambientes profissionais de arquitetura, o assunto trabalhado da presente pesquisa pode ser considerado uma boa oportunidade para incentivar o uso de tais ferramentas com essa finalidade específica e direcionar o olhar do arquiteto para as preocupações do desenvolvimento sustentável, um dos interesses de contribuição para a consideração do tema escolhido.

No trabalho houve algumas limitações, inclusive propositais, pela vasta extensão dos temas de arquitetura sustentável e desempenhos exercidos em edificações. A análise produzida no estudo de caso é uma avaliação puramente

técnica e tradicional, baseada em simulação computacional, que não considera o julgamento individual e subjetivo de conforto de usuários, cujos padrões de uso e ocupação interferem no comportamento de uma edificação.

Sendo então por este motivo, de representar apenas uma contribuição pontual, que podem ser propostas algumas sugestões para pesquisas futuras, como continuação do entendimento de um assunto tão abrangente para expandir novas possibilidades: avaliar o *software Autodesk Revit* em diferentes níveis e enfoques de análise, como a incorporação de elementos de espaços edificados em uso (ocupação e ventilação), a consideração de outras fases do ciclo de vida de uma construção (canteiro de obras, manutenção e demolição), ou a avaliação de outros desempenhos exercidos pela edificação (acústico e lumínico); testar outras possibilidades do *Revit*, como a ferramenta específica de Análise de Cargas de Aquecimento e Resfriamento; comparar os aspectos do programa computacional com os requisitos da norma ASHRAE Standard 140, recomendada pela NBR 15575, para a sua validação; e relacionar os relatórios de resultados de desempenho com licitações sustentáveis de obras públicas ou com a obtenção de certificações ambientais, como os selos Leed, Aqua, BREEAM e Procel Edifica.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 13531**: elaboração de projetos de edificações: atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14001**: sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

AUTODESK. **Usuários do Revit**. Disponível em: <<http://wikihelp.autodesk.com/Revit/ptb/2014/Help/0001-dchedgcd1>>. Acesso em: 9 jun. 2013.

BRASIL. Constituição. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. 31. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2009.

\_\_\_\_\_. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938compilada.htm)>. Acesso em: 4 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

CARDOSO, F. F.; ARAÚJO, V. M.; DEGANI, C. M. Impactos ambientais dos canteiros de obras: uma preocupação que vai além dos resíduos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: a construção do futuro (ENTAC 2006), 11., Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis: UFSC/ANTAC, 2006. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/artigo/impactos-ambientais-dos-canteiros-de-obras-uma-preocupacao-que-vai-alem-dos-residuos>>. Acesso em: 23 jun. 2013.

CBIC. **Construção civil**: desempenho e perspectivas. Brasília: Banco de dados CBIC, 2011. Disponível em:

<[http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/05\\_Balanco\\_2011.pdf](http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/05_Balanco_2011.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: <<http://site.abece.com.br/download/pdf/130626CBICGuiaNBR2EdicaoVersaoWeb.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

CHICCA JUNIOR, N. A. **A realidade virtual como ferramenta de projeto de sinalização na aprendizagem da arquitetura e do design**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., Porto Alegre, 2007, **Anais...** Porto Alegre: TIC, 2007. Disponível em: <<http://noriegec.cpgec.ufrgs.br/tic2007/artigos/A1085.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2013.

ELETROSUL. **Projeto Casa Eficiente**. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>>. Acesso em: 26 jun. 2013.

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

HIPPERT, M. A. S.; ARAÚJO, T. T. A contribuição do BIM para a representação do ambiente construído. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 1., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPARQ, 2010. Disponível em: <<http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq/simposios/173/173-739-1-SP.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

JUSTI, A. R. **Revit Architecture 2010**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

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

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente**: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010a. v. 1. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=857>>. Acesso em: 23 set.2012.

\_\_\_\_\_. **Casa eficiente**: simulação computacional do desempenho termo-energético. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010b. v. 4. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=857>>. Acesso em: 19 set.2012.

\_\_\_\_\_. **Sustentabilidade nas edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Florianópolis: UFSC, 2013. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade\\_nas\\_edificacoes\\_contexto\\_internacional\\_e\\_algumas\\_referencias\\_brasileiras\\_na\\_areasustentabilidade\\_nas\\_edificacoes\\_contexto\\_internacional\\_e\\_algumas\\_referencias\\_brasileiras\\_na\\_area.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf)>. Acesso em: 13 mar. 2013.

LENZA, P. **Direito constitucional esquematizado**. 15. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 18, n. 22, p.153-171, 21º sem. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/view/3363/3719>>. Acesso em: 4 dez. 2012.

SILVA, E. M. **Sistema de avaliação de desempenho ambiental para empreendimentos hoteleiros**: estudo de casos na Praia dos Ingleses. 2006. 231 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SPANNENBERG, M. G. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social**: estudos de caso em Marau - RS. 2006. 189 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TAIPALE, Kaarin. De construções quase verdes para construções sustentáveis. In: ASSADOURIAN, E.; RENNER, M. (Org.). **Estado do mundo 2012**: rumo à prosperidade sustentável Rio+20. Salvador: Uma, 2012. p. 143-151.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ZOMER, C. D.; RÜTHER, R. A arquitetura eficiente como um meio de economia energética atuando no gerenciamento pelo lado da demanda. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza: ENTAC, 2008. Disponível em: <[http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/zomer\\_ruther.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/zomer_ruther.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2012.



## APÊNDICE A – Resultados da análise da Casa Eficiente no Revit MEP 2014

### Energy Analysis Report

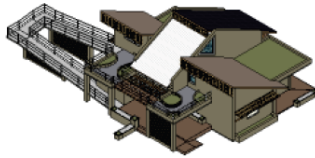


#### Casa Eficiente

#### Análise da Casa Eficiente

Analyzed at 7/7/2013 5:17:24 PM

#### Energy Analysis Result



#### Building Performance Factors

Location:	-27,605489730835,-48,5212631225586
Weather Station:	833732
Outdoor Temperature:	Max: 32°C/Min: 4°C
Floor Area:	102 m <sup>2</sup>
Exterior Wall Area:	108 m <sup>2</sup>
Average Lighting Power:	4.84 W / m <sup>2</sup>
People:	1 people
Exterior Window Ratio:	0.13
Electrical Cost:	\$0.17 / kWh
Fuel Cost:	\$1.29 / Therm

#### Energy Use Intensity

Electricity EUI:	82 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	452 MJ / sm / yr
Total EUI:	746 MJ / sm / yr

#### Life Cycle Energy Use/Cost

Life Cycle Electricity Use:	250,626 kWh
Life Cycle Fuel Use:	1,385,032 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$27,157

\*30-year life and 6.1% discount rate for costs

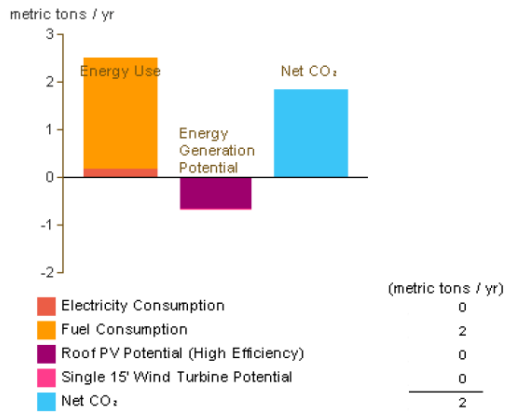
#### Renewable Energy Potential

Roof Mounted PV System (Low efficiency):	9,396 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	18,792 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	28,187 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	776 kWh / yr

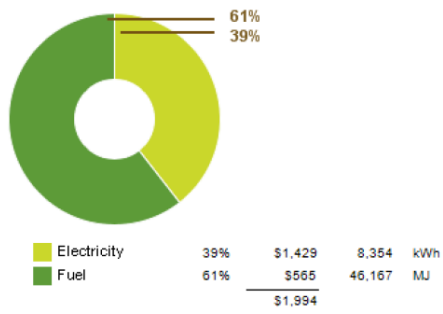
\*PV efficiencies are assumed to be 5%, 10% and 15% for low, medium and high efficiency systems

Energy Analysis Report

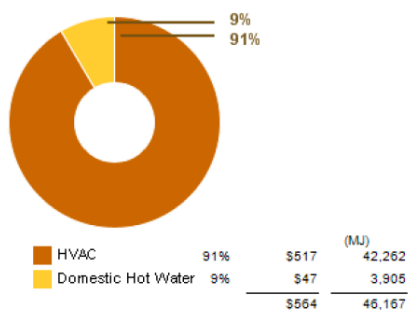
Annual Carbon Emissions



Annual Energy Use/Cost

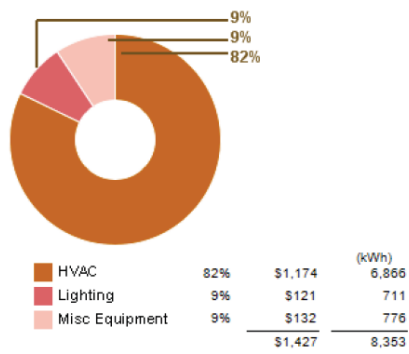


Energy Use: Fuel

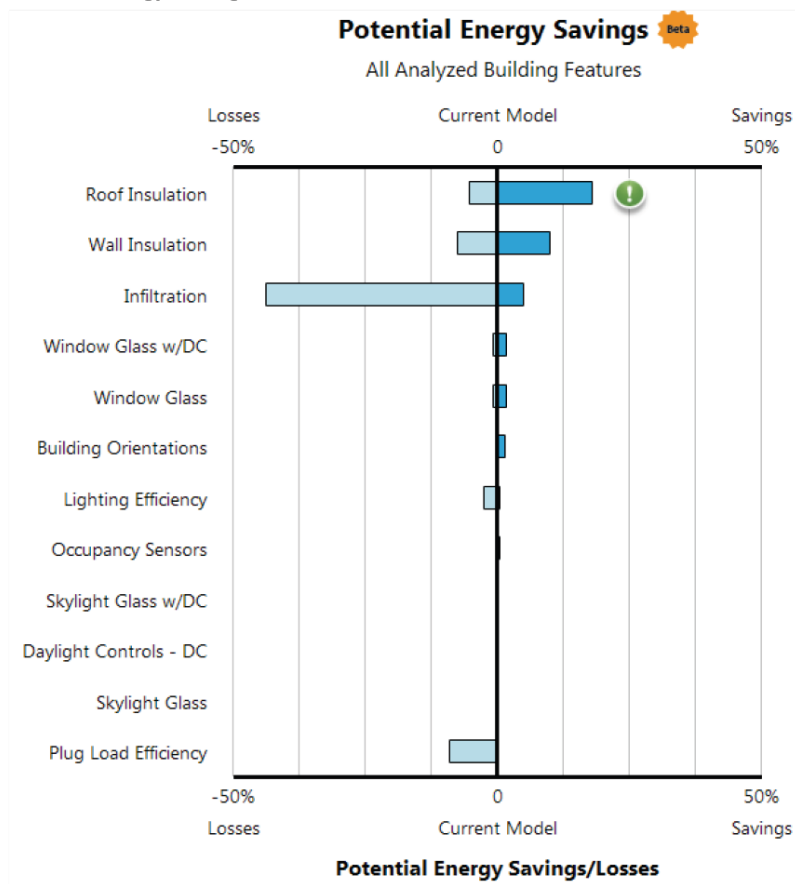


Energy Use: Electricity

Energy Analysis Report

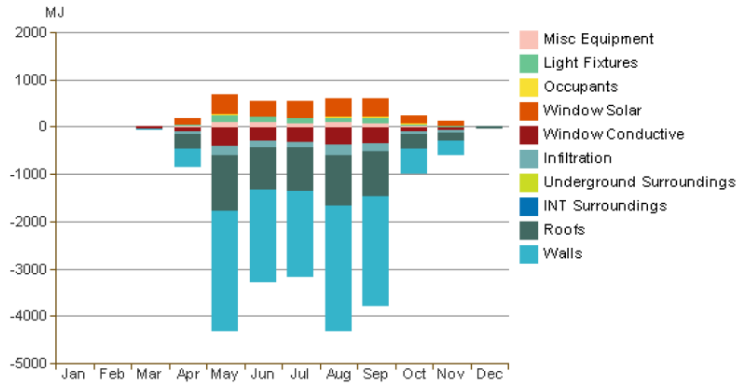


Potential Energy Savings

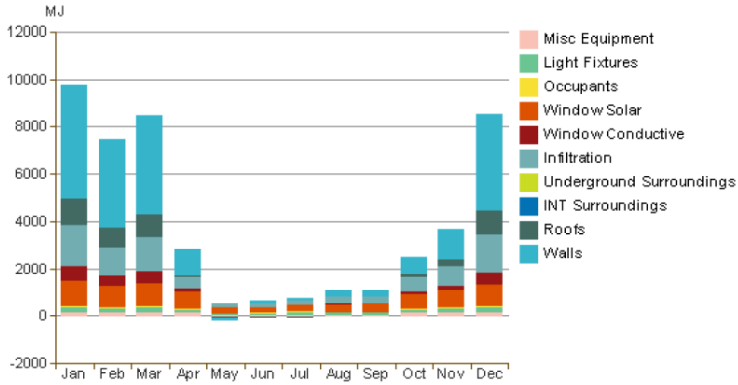


Monthly Heating Load

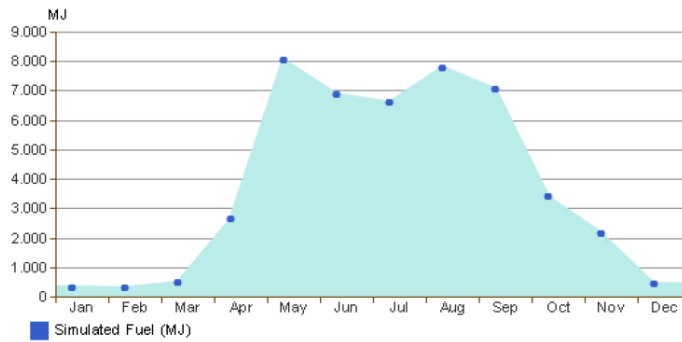
Energy Analysis Report



Monthly Cooling Load

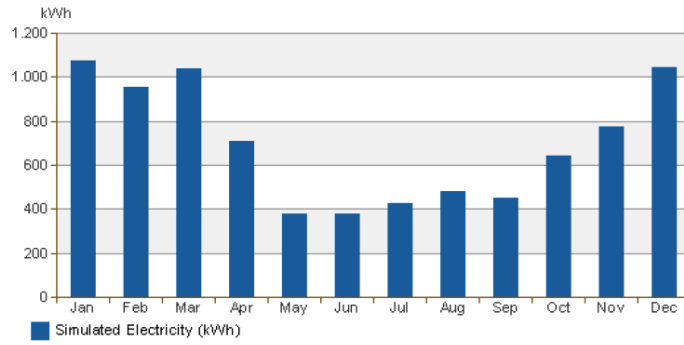


Monthly Fuel Consumption

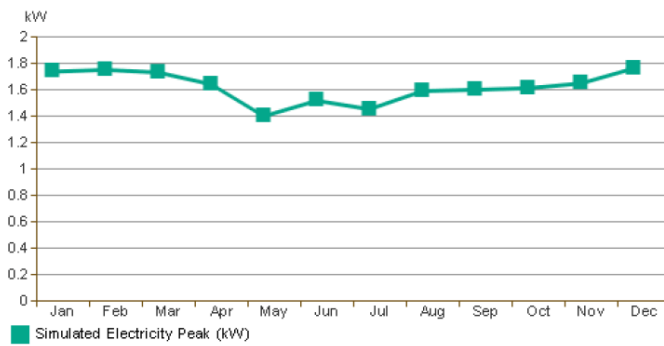


Monthly Electricity Consumption

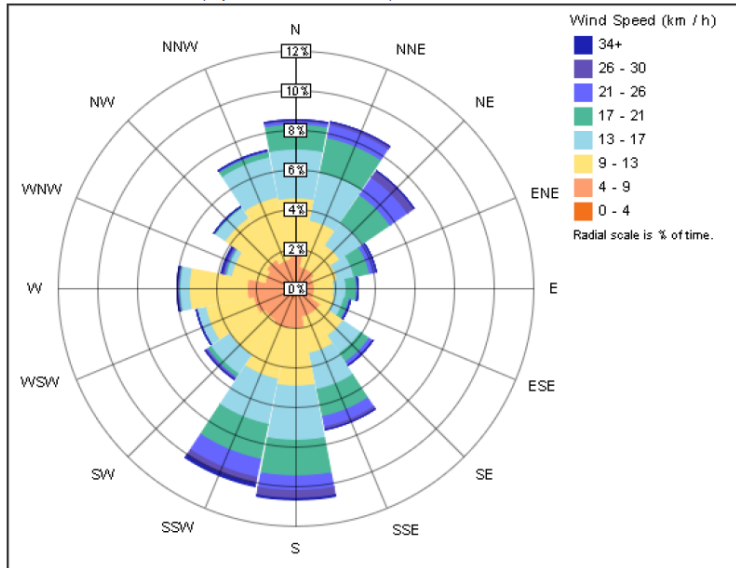
Energy Analysis Report



Monthly Peak Demand

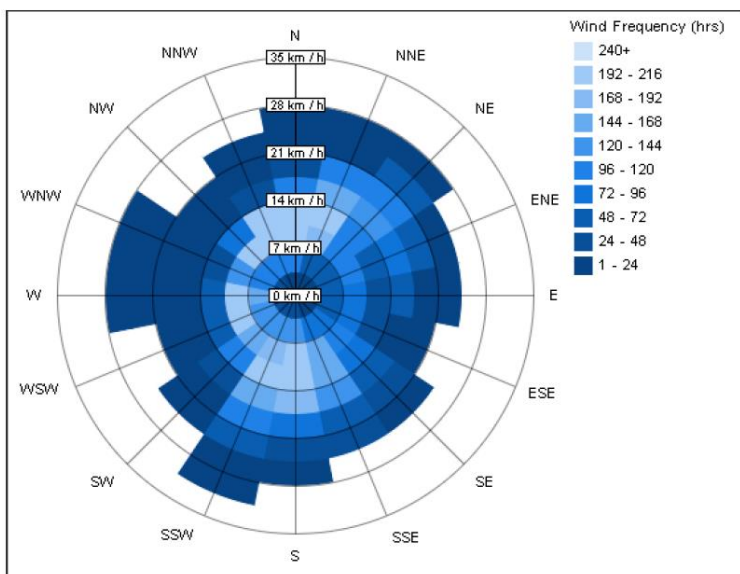


Annual Wind Rose (Speed Distribution)

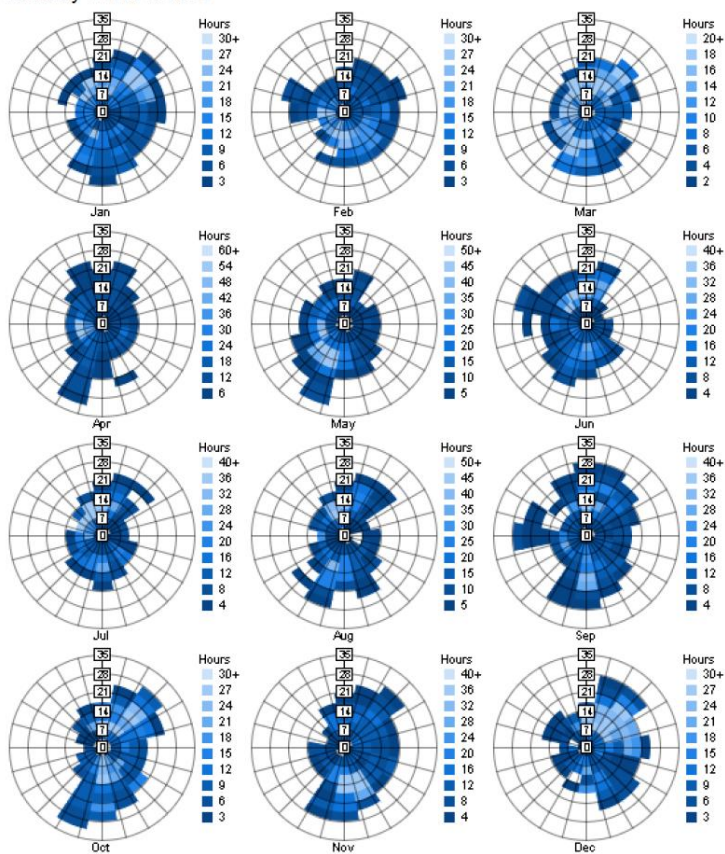


Annual Wind Rose (Frequency Distribution)

Energy Analysis Report

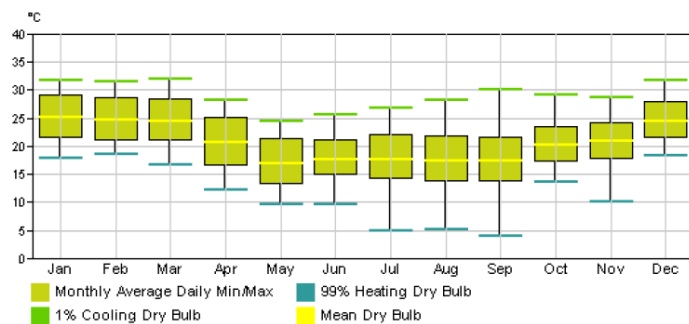


Monthly Wind Roses

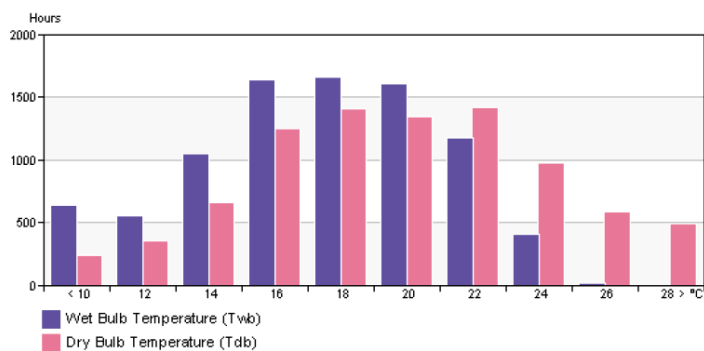


Energy Analysis Report

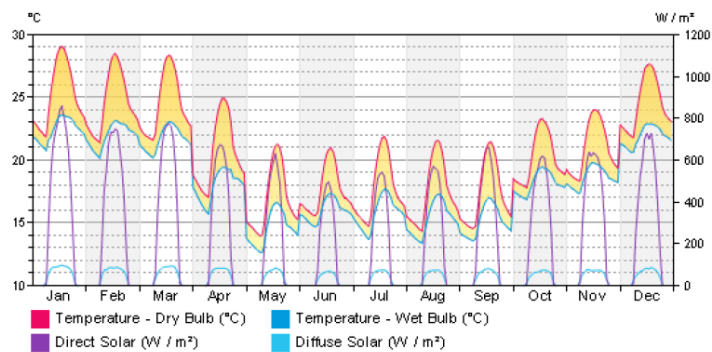
Monthly Design Data



Annual Temperature Bins

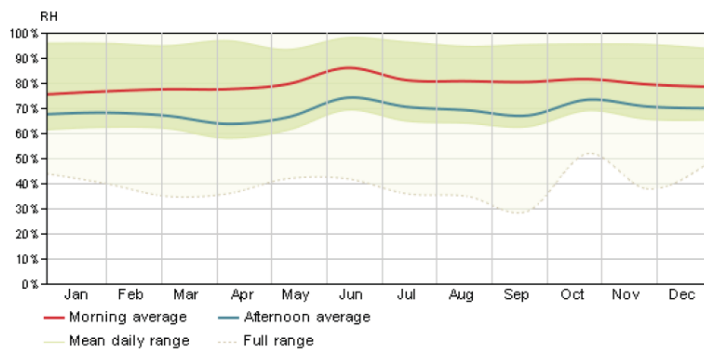


Diurnal Weather Averages



Humidity

## Energy Analysis Report



© Copyright 2013 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.