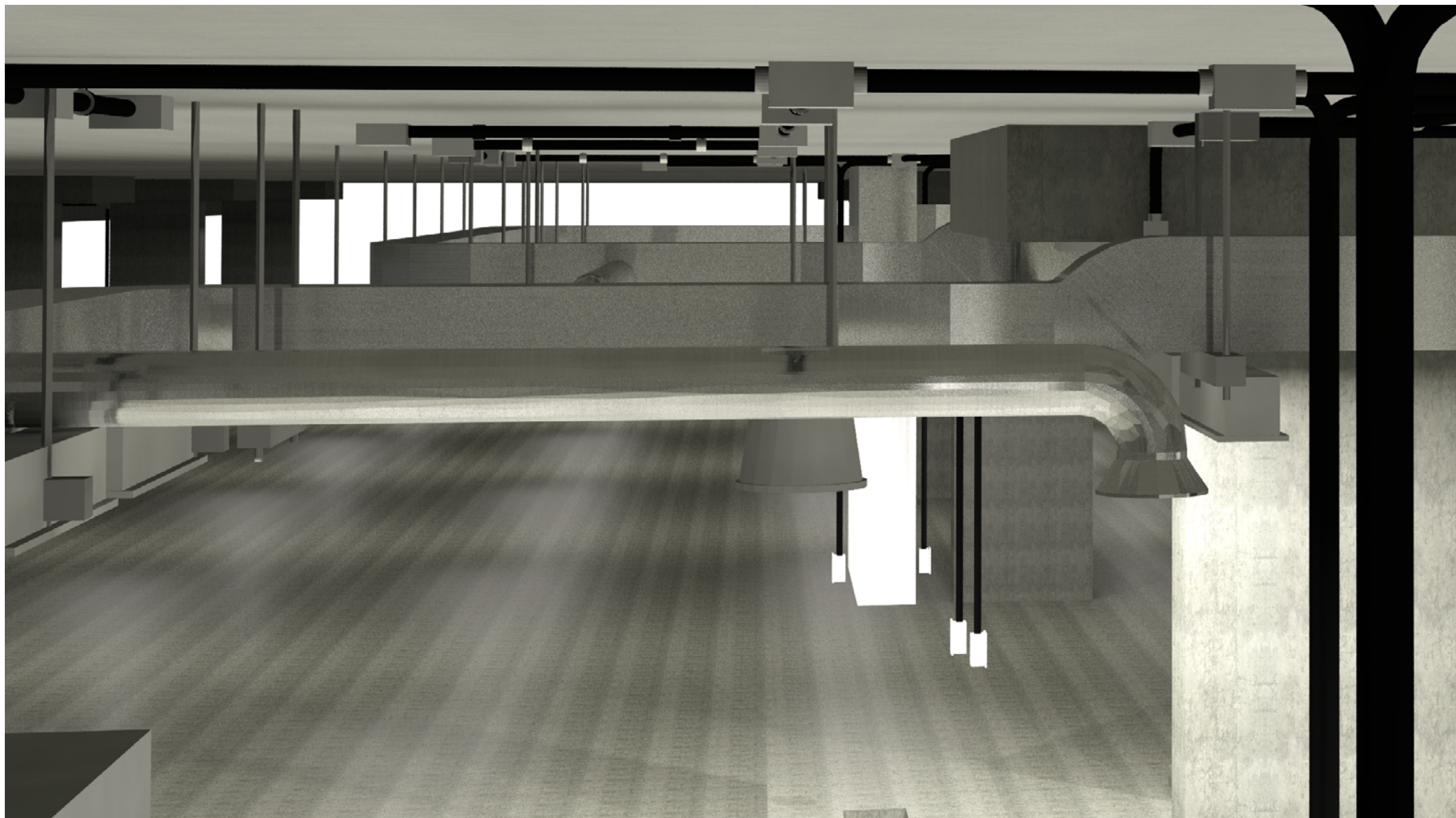




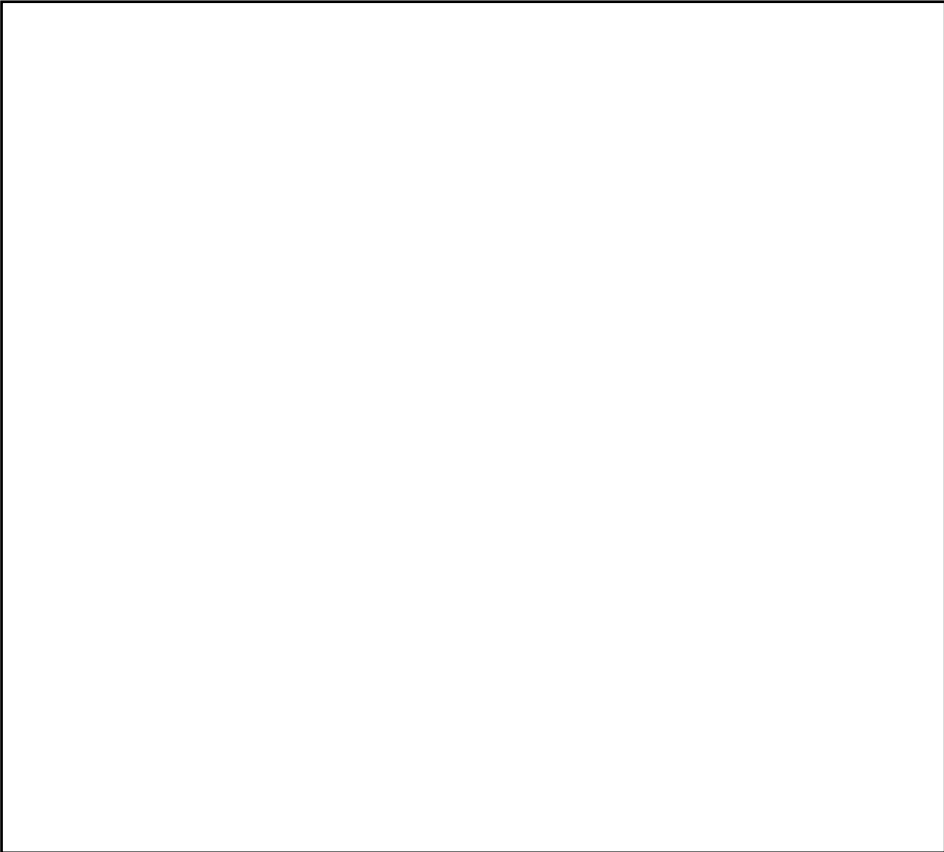


Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM

GUIA

05

Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC



© 2017 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI
Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que seja citada a fonte.

ABDI
Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Setor Comercial Norte, Quadra 01, Bloco D, 2º andar
Ed. Vega Luxury Design Offices | Asa Norte, Tel: (61) 3962-8700.
www.abdi.com.br

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Michel Temer
Presidente

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS

Marcos Pereira
Ministro

Marcos Jorge de Lima
Secretário Executivo

Igor Nogueira Calvet
Secretário de Desenvolvimento e Competitividade Industrial

Nizar Lambert Raad
Diretor do Departamento de Insumos Básicos e Trabalho

Talita Tormin Saito
Coordenadora-Geral das Indústrias Intensivas em Mão de Obra e de Bens de Consumo

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

Luiz Augusto de Souza Ferreira
Presidente

Miguel Antônio Cedraz Nery
Diretor de Desenvolvimento Produtivo e Tecnológico

José Alexandre da Costa Machado
Diretoria de Planejamento

Tainá Serra Pimentel
Chefe de Gabinete

Cynthia Araújo Nascimento Mattos
Gerente de Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico

Claudionel Campos Leite
Coordenador de Difusão Tecnológica

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI)

Supervisão

Miguel Antônio Cedraz Nery

Diretor de Desenvolvimento Produtivo e Tecnológico

Coordenação

Claudionel Campos Leite

Equipe Técnica

Cynthia Araújo Nascimento Mattos

Gerente de Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico

Claudionel Campos Leite

Coordenador de Difusão Tecnológica

Willian Cecílio de Souza

Assistente de Projetos

Coordenação de Comunicação

Gustavo Henrique Ferreira Gouveia

Coordenador de Comunicação

Bruna de Castro Pereira

Analista em Comunicação

Marcus Vasconcelos Lucena

Web Designer

CONTRIBUÍRAM PARA ESTE GUIA

Ana Judite G. Limongi França

Dru Crawley

Greg Collins

Matheus Körbes Bracht

Sandra Schaaf Benfica

Sérgio Leal Ferreira

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC)

Supervisão

Nizar Lambert Raad

Diretor do Departamento de Insumos Básicos e Trabalho

Equipe Técnica

Talita Tormin Saito

Coordenadora-Geral das Indústrias Intensivas em Mão de Obra e de Bens de Consumo

Andressa Mares Guia Milhomens

Analista de Comércio Exterior

Hugo Leonardo Ogasawara Sigaki

Analista de Comércio Exterior

GERENCIAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS (GDP)

Coordenação Geral

Sergio R. Leusin de Amorim, D.Sc.

Equipe Técnica

Ana Paula Melo

Engenheira, D.Sc.

Roberto Lamberts

Engenheiro, PhD.

Eduardo Toledo Santos, Ph.D.

Consultor

Christine Eksterman

Arquiteta

Jano Quintanilha Felinto

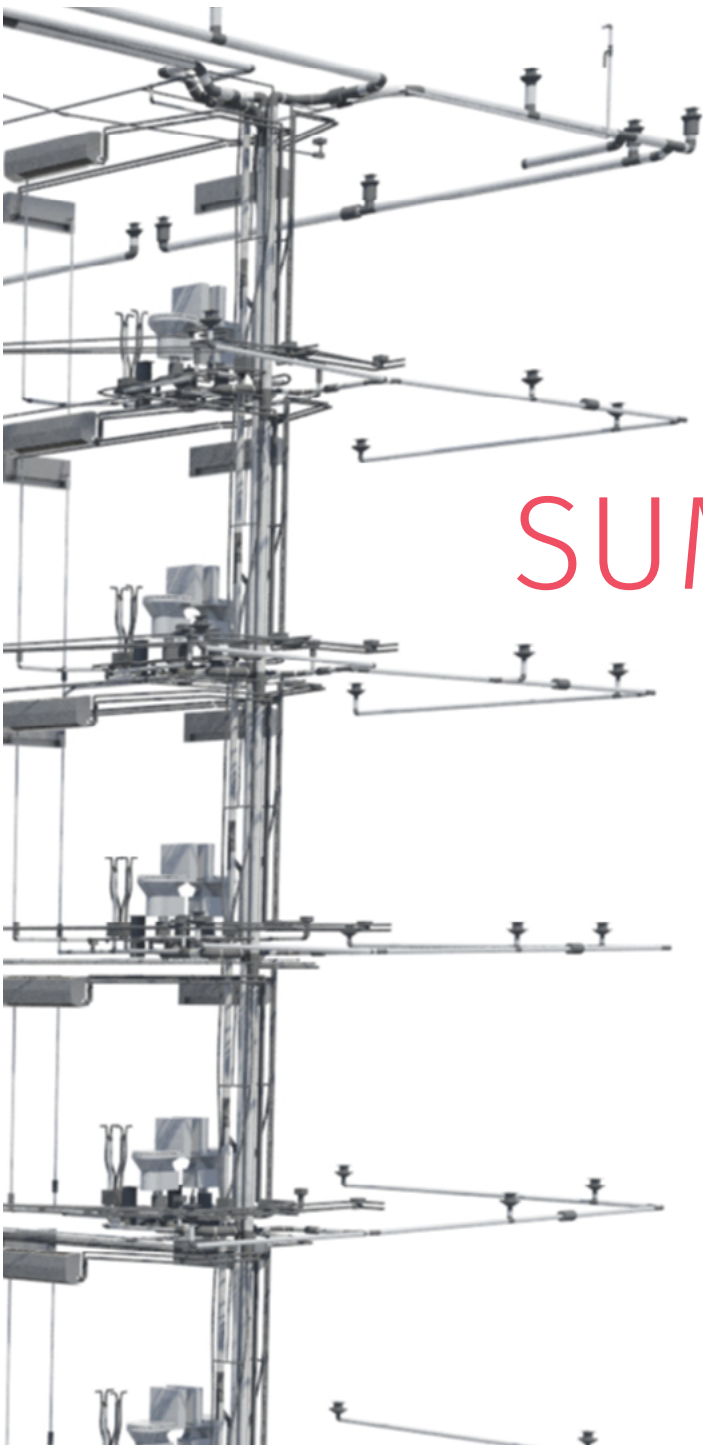
Arquiteto

Luciano Capistrano Gomes

Arquiteto

Nicolau Mello

Designer gráfico



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA GUIAS BIM ABDI-MDIC 7

1 ORGANIZAÇÃO DA COLETÂNEA 8

- 1.1 Objetivos da coletânea e público-alvo 8
- 1.2 Estrutura da coletânea 9

2 INTRODUÇÃO AO GUIA 5 10

- 2.1 Desempenho térmico e eficiência energética em edificações 10
- 2.2 A importância da simulação energética computacional 12
- 2.3 Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações 14
 - 2.3.1 Regulamento Brasileiro em vigor 14
 - 2.3.2 Regulamento Brasileiro em desenvolvimento 17

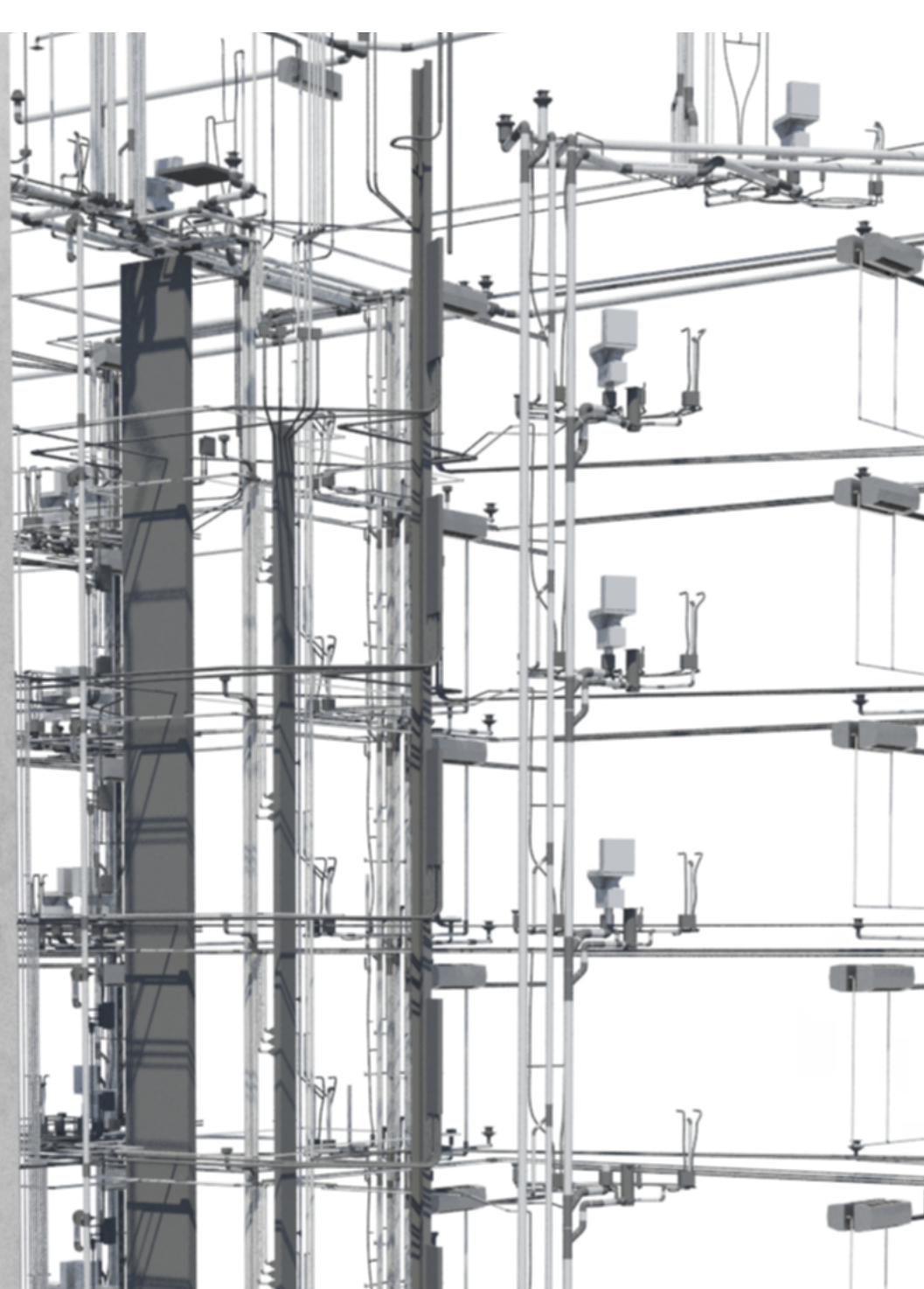
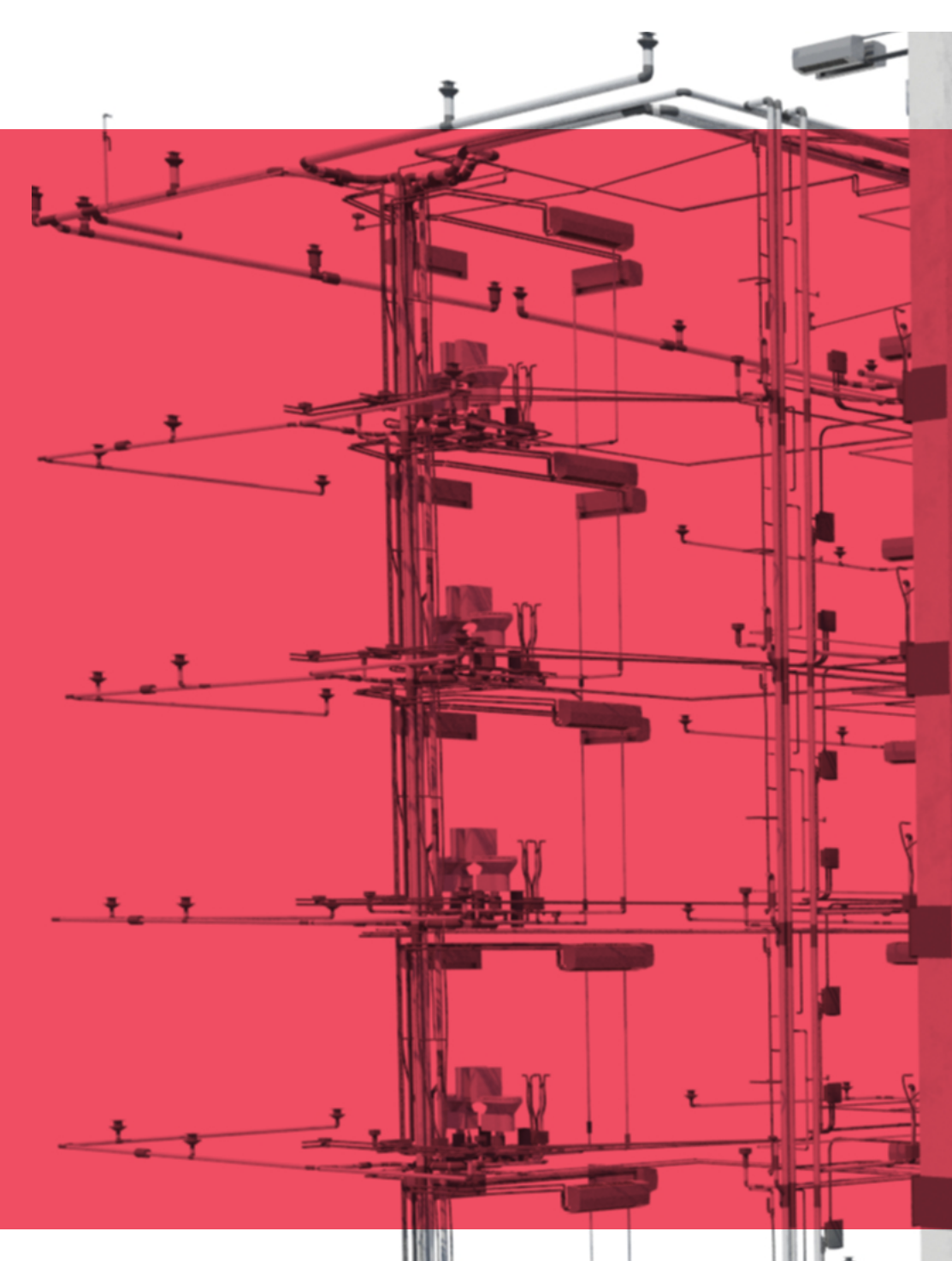
3 BIM E O REGULAMENTO BRASILEIRO 20

- 3.1 Zoneamento – *space grouping* 20
- 3.2 Dados de entrada 26
- 3.3 Modelos de elementos e componentes construtivos 28
- 3.4 Uso de aplicativos/ferramentas 29

4 BIM E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA 34

- 4.1 Análise energética no *Building Design Phase* 34
- 4.2 Custo-benefício da análise energética 36
- 4.3 Interoperabilidade entre as ferramentas BIM 38
- 4.4 O Futuro 39

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42



APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA GUIAS BIM ABDI-MDIC

A modernização e o aumento da competitividade com ganhos de produtividade são primordiais para a indústria da Construção Civil no Brasil. Incorporar novas tecnologias, materiais, sistemas e processos construtivos configura-se como um caminho de mão única, em que todos os agentes envolvidos na construção, públicos ou privados, devem conjugar esforços para avançar na mesma direção.

Inovações como a **Modelagem da Informação da Construção** ou BIM (do inglês *Building Information Modeling*) são vetores essenciais para a mudança e quebra de paradigmas em um setor intensivo em mão de obra com forte impacto social.

Os benefícios do BIM são diversos, tais como: maior precisão de projetos (especificação, quantificação e orçamentação); possibilidade de simulação das diversas etapas da construção, permitindo a identificação e eliminação de conflitos antes mesmo da construção e diminuindo retrabalhos e desperdícios (resíduos); disponibilização de simulação de desempenho dos elementos, de sistemas e do próprio ambiente construído; gestão mais eficiente do ciclo de obra; diminuição de prazos e custos; e maior consistência de dados e controle de informações e processos, resultando em maior transparência nas contratações públicas e privadas.

A metodologia de modelagem virtual paramétrica ainda está em fase de implantação e desenvolvimento em diversos países. Estudos comparativos internacionais mostram que, além da infraestrutura (equipamentos, software, capacidade de tráfego de dados) e do arcabouço técnico e institucional, é fundamental a participação do governo, enquanto agente regulador e demandante de projetos e empreendimentos da construção nas mais diversas áreas. Portanto, mais do que uma inovação para o mercado, a disseminação do BIM deve se constituir como uma estratégia de governo para alavancar a industrialização do setor da construção e, com isso, obter resultados significativos em termos de produtividade, sustentabilidade, controle, transparência e otimização da alocação de gastos públicos com obras.

Nesse sentido, o **Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC)** e a **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)** coadunam recursos e esforços na disseminação do BIM no Brasil, tais como no apoio à elaboração de normas técnicas ABNT-NBR e no acesso ao seu acervo. Outra iniciativa relevante da parceria ABDI-MDIC é a Plataforma BIM. Em pleno desenvolvimento e com previsão de lançamento no segundo semestre de 2017, a Plataforma BIM terá acesso livre e gratuito e será o repositório nacional de objetos virtuais BIM (*templates*) para fabricantes de componentes e sistemas, construtoras e demais profissionais da construção, além de possibilitar o acesso a informações, publicações, projetos e canais de discussão e demais ferramentas de implementação de melhorias em prol da nova metodologia de modelagem.

Da mesma forma, o setor privado também tem envidado esforços nessa direção, com a realização de seminários e oficinas sobre BIM, além de publicações técnicas.

Neste contexto favorável para o avanço do BIM no país, a ABDI e o MDIC têm a satisfação de colocar à disposição da sociedade a **Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**, que tem como objetivo consolidar e disponibilizar, de forma clara e precisa, informações de boas práticas sobre o processo e a contratação de projetos BIM para profissionais dos setores público ou privado envolvidos no ciclo de vida das edificações.

A elaboração dos Guias BIM ABDI-MDIC teve intensa participação de especialistas acadêmicos, gestores públicos e profissionais do setor privado, aos quais oportunamente reiteramos aqui nosso manifesto de confiança e agradecimento. Espera-se que os Guias contribuam para a redução de erros e melhoria da assertividade de editais, projetos, orçamentos e planejamento de obras públicas e privadas e seja um dos pontos de referência para capacitação e qualificação técnica. Os Guias BIM ABDI-MDIC representam uma contribuição relevante por parte do Governo para o avanço da disseminação do BIM no Brasil.

Que sejam bem utilizados e amplamente difundidos!

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)
Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC)

1 ORGANIZAÇÃO DA COLETÂNEA

1.1 OBJETIVOS DA COLETÂNEA E PÚBLICO ALVO

O objetivo desta coletânea é consolidar e disponibilizar informações de boas práticas sobre o processo e a contratação de projetos BIM de forma clara e precisa, para que profissionais e contratantes, particularmente aqueles envolvidos em obras públicas, possam ter segurança na transição entre o processo tradicional de projetar e a mudança de paradigma representada pela tecnologia BIM.

Esta coletânea está dirigida a todos os profissionais envolvidos no ciclo de vida das edificações, tais como: gestores públicos, incorporadores, proprietários, responsáveis pela operação ou descomissionamento e demolição, projetistas e executores. Pela sua relevância no papel de incentivadores ao uso do BIM, procuramos enfatizar o papel dos contratantes públicos e as formas de contratação de projetos e obras públicas, já que o governo brasileiro sinaliza que pretende exigir a utilização do BIM em obras públicas.

Durante o desenvolvimento dos Guias, os textos foram divulgados entre as associações técnicas e empresariais e disponibilizados para consulta pública pela internet. Ademais, reuniões abertas presenciais foram realizadas. O expressivo interesse despertado se refletiu em um volume considerável de *downloads* e de sugestões e comentários que contribuíram para a melhoria da proposta.

Os guias apresentam os processos BIM com foco nas plataformas abertas (*OpenBIM*¹), mas serão apresentadas referências a aplicativos de maior relevância no mercado atual ou com funcionalidades específicas, sem que isto signifique, entretanto, endosso ou recomendação de uso.

A tecnologia BIM pode ser utilizada em diferentes processos de criação e produção, tais como nos produtos para construção, mas estes guias têm como foco as edificações para uso humano, tais como residências, unidades escolares ou de saúde, e prédios administrativos ou comerciais. Isto se justifica porque tipos diferenciados de uso podem refletir em processos de projeto diversos, o que exigiria adaptações nas propostas aqui apresentadas.

¹ *OpenBIM* é uma abordagem universal para o projeto colaborativo, realização e operação de edifícios com base em padrões abertos e fluxos de trabalho. *OpenBIM* é uma iniciativa do *BuildingSMART* e de vários fornecedores de software líderes que usam o *open construction SMART Data Model*. (tradução livre de <http://BuildingSMART.org/standards/technical-vision/>, acesso em 06/12/2016).

1.2 ESTRUTURA DA COLETÂNEA

A coletânea, tendo em vista o objetivo de facilitar a transição entre o método tradicional e o processo de projeto BIM, pretende apresentar, em seis volumes, um conjunto das informações necessárias para a implantação, contratação e utilização do processo de projeto BIM.

Os volumes são divididos da seguinte forma:

Guia 1 – Processo de projeto BIM: apresenta os principais conceitos e o processo do BIM, abrangendo seus fluxos e usos da concepção até o pós-obra; a modelagem dos componentes BIM e suas especificidades; a relação do BIM com as diversas áreas da indústria da construção – da fabricação de componentes e coordenação modular, do relacionamento do BIM com a nova norma de desempenho e com as normas ISO, e a comunicação e coordenação de projetos BIM.

Guia 2 – Classificação da informação no BIM: apresenta e justifica como o sistema de classificação da informação no BIM pode ser feito, de acordo com vários sistemas de classificação existentes, a adequação à NBR 15965, e como estas classificações podem contribuir para automação de diversas tarefas a partir do modelo BIM e sua relação com a documentação extraída.

Guia 3 – BIM na quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção: apresenta a metodologia para a inserção de dados e extração dos diferentes quantitativos no modelo BIM, com relação aos diferentes níveis de desenvolvimento do projeto. Apresenta o vínculo desta ferramenta com o planejamento e o controle da obra.

Guia 4 – Contratação e elaboração de projetos BIM na arquitetura e engenharia: apresenta os principais pontos a serem definidos nos editais e/ou contratos para elaboração e acompanhamento de projetos e obras em BIM e a metodologia para desenvolvimento de projetos BIM de diferentes disciplinas, assim como as questões de autoria de modelos, objetos e dados.

Guia 5 – Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM: apresenta as possibilidades de avaliação de acordo com os diferentes níveis de desenvolvimento do projeto, os requisitos do modelo para viabilizar a avaliação e a etiquetagem em modelos e projetos BIM.

Guia 6 – A Implantação de Processos BIM: apresenta as diretrizes para o planejamento da implantação de BIM nas organizações: diagnóstico, definição de metas, *roadmap* estratégico, plano de implantação nas quatro dimensões do BIM (tecnologia, processos, pessoas e procedimentos), gerenciamento da implantação.

Anexo I – Plano de Execução BIM e Fluxograma do processo de projeto BIM. Conjunto de planilhas e fluxogramas disponibilizados em formatos impressos e em arquivos digitais editáveis.

Como os Guias 1 e 2 apresentam os fundamentos da tecnologia e dos processos é importante que eles sejam lidos por todos, mesmo aqueles mais interessados em apenas um dos temas dos demais volumes.

2 INTRODUÇÃO AO GUIA 5

O Guia 5 - Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM apresenta, de acordo com as possibilidades de avaliação nos diferentes níveis de desenvolvimento do projeto, os requisitos do modelo para viabilizar a avaliação e a etiquetagem² de edificações de projetos BIM. O desenvolvimento deste Guia visa ajudar as equipes de projeto no planejamento e desenvolvimento dos seus respectivos Planos de Execução BIM, durante todas as fases do ciclo de vida de um edifício: planejamento, projeto, construção, comissionamento e operação. O Guia 5 destaca oportunidades e fornece orientações para verificar o desempenho térmico e a eficiência energética³ de edificações por meio da modelagem para a análise de energia baseada em BIM. O objetivo é aumentar a precisão e consistência das estimativas de uso de energia e a eficiência do desempenho real da construção por meio da implementação de tecnologias adequadas relacionadas ao BIM.

2.1 DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A preocupação com o uso racional de energia está cada vez mais em evidência. Nota-se que a sociedade busca constantemente uma melhor qualidade de vida e um crescente investimento em pesquisas e uso de tecnologias para medidas de conservação de energia e melhoria da eficiência energética de edificações.

Essa eficiência é um dos indicadores de desempenho do edifício e um dos requisitos avaliados quando o assunto é construção sustentável. A eficiência energética ajuda a preservar o meio ambiente e proporciona às gerações futuras a capacidade de satisfazer as suas próprias necessidades.

Destaca-se que os edifícios são responsáveis pelo consumo de uma parcela significativa de toda a energia elétrica nacional (cerca de 45%, distribuídos entre os setores residencial, comercial e público). A eficiência energética das edificações, que indica o melhor aproveitamento da energia, depende diretamente do seu desempenho térmico. Como regra geral, quanto melhor o desempenho térmico, melhor também será a eficiência energética. Por sua vez, este depende das características dos componentes construtivos, das cargas internas instaladas, do clima, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar e de sua eficiência, do padrão de uso, entre outros.

Dessa maneira, o desenvolvimento de um projeto considerando todas estas variáveis pode resultar em edificações mais eficientes energeticamente, em que se destacam as seguintes vantagens: redução do custo de operação; redução dos impactos ambientais e sociais; redução da probabilidade de falta de energia; redução da necessidade de investimentos do setor público em geração e transmissão de energia elétrica; e redução no impacto no consumo de recursos naturais cada vez mais escassos, entre outras.

O risco pela falta de recursos naturais, enfatizado na década de 70, resultou no surgimento das primeiras iniciativas de governos para reduzir o consumo de energia de edificações. Mecanismos e programas foram desenvolvidos para incentivar o uso de tecnologias mais eficientes e a elaboração de regulamentações visando a avaliação e classificação de edificações com base no seu desempenho energético. Esses métodos e normas têm como objetivo promover a construção sustentável, com a utilização de materiais e sistemas mais eficientes energeticamente. O objetivo destas regulamentações é que a edificação consuma menos energia, sem interferir no conforto dos usuários e no funcionamento seu funcionamento.

Atualmente existem diversas certificações para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Muitas dessas normas e leis são baseadas nos conceitos da ASHRAE Standard 90.1 - *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, que estabelece requisitos mínimos para o projeto de edificações eficientes, exceto para edificações residenciais de pequeno porte. Essa norma, que teve a sua primeira versão publicada em 1975, foi desenvolvida pelos Estados Unidos e é atualizada a cada três anos, buscando edificações cada vez mais eficientes. Ressalta-se que ela apresenta limites mínimos de características de envelope da edificação de acordo com o clima, descreve diferentes tipos de sistema de condicionamento de ar, sistema de iluminação e outros tipos de equipamentos. A última versão, de 2016, é a 10a publicação desde a versão original e apresenta uma nova metodologia descrita no Apêndice G, que visa ser mais efetiva para que os usuários economizem energia. O Apêndice G das versões anteriores à versão de 2016 apresenta duas alternativas para avaliar o desempenho das edificações: o método prescritivo e o *Energy Cost Budget* (ECB), que se baseia na simulação computacional do consumo de energia de dois modelos. O método ECB inclui também o Apêndice G como alternativa de simulação do desempenho de edificações. Nas versões anteriores da ASHRAE

2 <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}> Acesso em 31/08/2017.

3 A eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia.

Standard 90.1, o Apêndice era adotado para avaliar o desempenho das edificações que excedem os requisitos da ASHRAE Standard 90.1 de acordo com o *USGBC's LEED Rating System*, *ASHRAE's Green Building Standard 189.1* e o *International Green Construction Code* (IgCC). No entanto, diferentes códigos de energia baseiam-se nos limites da ASHRAE Standard 90.1 e a sua atualização a cada três anos para acompanhar as mudanças prescritivas acabava interferindo na conformidade do código. Frente a isso, a nova versão da ASHRAE Standard 90.1 de 2016 estabelece que o seu Apêndice G pode ser utilizado como uma terceira alternativa para verificação do atendimento à norma pelas edificações. O cálculo baseia-se em uma nova métrica: o *Performance Cost Index* (PCI), que acomoda zonas climáticas e diferentes tipos de edifícios comerciais. Destaca-se que o sistema de certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), atualmente muito utilizado pelo setor da construção civil, baseia-se nos requisitos do Apêndice G da ASHRAE Standard 90.1 para tornar a edificação mais eficiente energeticamente.

A *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) está desenvolvendo uma metodologia para a aplicação da modelagem de energia de edificações na fase inicial de projeto, a ASHRAE Standard 209. Esta norma, quando aprovada, reconhecerá a importância no uso da modelagem de energia para quantificar decisões de projeto.

Muitos dos países da Europa possuem seu próprio método de certificação, como é o caso da Espanha, Portugal, Reino Unido e Holanda. No ano de 2003, as regulamentações vigentes de eficiência energética em edificações nos países da Europa foram revisadas para atender aos requisitos de sustentabilidade de acordo com o *European Directive on the Energy Performance of Buildings*. No Reino Unido, dentre os métodos de certificação existentes, destacam-se o *Energy Performance Certificates* (EPCs), para edificações residenciais e não-residenciais, e o *Display Energy Certificates* (DECs), para edificações públicas. O EPC indica a eficiência energética da edificação, sendo exigido quando um prédio é recém-construído, vendido ou alugado. O DEC deve apresentar o consumo real do edifício e informar, através de relatórios, recomendações sobre potenciais alternativas que reduzam o consumo de energia.

No Brasil, a NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005)⁴ tem o objetivo de fornecer diretrizes construtivas para a melhoria do desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares de interesse social de acordo com o clima

no qual a edificação será construída. Esta norma possui três partes que estabelecem:

- 1) **Definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações;**
- 2) **Procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações; e**
- 3) **Zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas.**

Em relação às diretrizes construtivas para edificações comerciais, observa-se uma lacuna que deve ser preenchida para obrigar um desempenho mínimo dessas edificações.

Em 2013 a ABNT publicou a NBR 15575:2013 Edificações Habitacionais — Desempenho (ABNT, 2013), que estabelece o desempenho mínimo de edifícios habitacionais. Essa norma representa um avanço para o setor da Construção Civil no Brasil, caracterizando um passo importante para a busca da qualidade nas edificações. Ela é dividida em seis partes:

Parte 1 - Requisitos gerais;

Parte 2 - Sistemas estruturais;

Parte 3 - Sistemas de pisos;

Parte 4 - Sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5 - Sistemas de cobertura; e

Parte 6 - Sistemas hidrossanitários.

Os níveis de desempenho térmico da edificação estão divididos em uma escala de mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), de acordo com as zonas bioclimáticas³.

A ABNT NBR 15575 apresenta limitações que não permitem uma adequada análise anual do desempenho térmico das edificações residenciais brasileiras, dentre as quais destacam-se: o método de avaliação não apresenta compatibilidade entre o procedimento de simulação e o procedimento simplificado; não analisa a condição de uso real da edificação e a influência da variação anual da temperatura no desempenho

4 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Rio de Janeiro, 2005.

térmico da obra; e não apresenta nenhuma definição em relação à condição do piso da construção no procedimento de simulação. Todos estes itens interferem nos resultados finais encontrados. Destaca-se que há necessidade de aperfeiçoar o atual procedimento de simulação da norma NBR 15575-1⁵ para avaliar as edificações, considerando as limitações observadas.

A sociedade vem mostrando uma maior preocupação com a melhoria da qualidade das edificações, exigindo padrões mais elevados de eficiência energética e de conforto ambiental. Desta forma, os fabricantes de materiais, construtores e incorporadores têm buscado o aprimoramento da qualidade das obras, que constitui requisito para manter a competitividade exigida pelo mercado globalizado.

Em 1984, no Brasil, o INMETRO deu início a programas de avaliação da conformidade com foco no desempenho, visando disponibilizar para os consumidores informações sobre eficiência energética de equipamentos disponíveis em mercado nacional. Com a crise do setor elétrico, em 2001, o Brasil começou a estabelecer ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. O primeiro passo foi a elaboração da Lei nº 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro do mesmo ano, que estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes energeticamente (BRASIL, 2001a). Em dezembro de 2001, esta lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001b), o qual estabeleceu que máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país ou importados deveriam adotar níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética, com base em indicadores técnicos e regulamentação específica fixada nos termos do referido Decreto.

Depois de alguns anos de discussão e de trabalhos envolvendo diversas instituições, foi aprovado em fevereiro de 2009 (INMETRO, 2013) o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), e em novembro de 2010 (INMETRO, 2012) o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)⁶. A implementação destes regulamentos permite a classificação de construções por nível de eficiência, possibilitando uma grande melhoria no desempenho energético dos prédios brasileiros. Hoje, o RTQ-C e o RTQ-R são de caráter voluntário, para que

os profissionais, construtoras e empreendedores envolvidos possam se adaptar aos parâmetros relacionados à eficiência energética de uma edificação. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética⁷, em alguns anos eles serão obrigatórios. Estes regulamentos visam à etiquetagem de construções no Brasil, classificando de acordo com cinco níveis: de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). Em novembro de 2014, foi estabelecido o Selo Procel Edificações com o objetivo de identificar as edificações que apresentam o nível de eficiência energética “A” em três categorias: sistema de iluminação, envoltória e sistema de condicionamento de ar.

Em 2016, o Comitê Diretivo do LEED⁸ (*Leadership in Energy and Environmental Design*) aprovou que projetos de edificações no Brasil com o Selo Procel estão de acordo com as exigências do pré-requisito de Energia e Atmosfera (Eap2), que trata do desempenho energético mínimo no sistema de classificação *LEED Building Design and Construction* de 2009.

2.2 A IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COMPUTACIONAL

Simulação computacional de edificações é o processo de construir uma cópia virtual do edifício em análise a partir de seus componentes. Em outras palavras, a simulação computacional permite prever quantitativamente e com antecedência o consumo e custo de energia, avaliações de alternativas de soluções energéticas, condições ambientais internas, conforto térmico, emissões de CO₂ e análise de retorno de investimento durante o ciclo de vida. No entanto, a simulação computacional é uma tarefa multidisciplinar que reúne diferentes elementos e suas respectivas características.

A simulação energética analisa o desempenho de edificações, avaliando os projetos arquitetônicos e seus respectivos sistemas. Essa performance é resultado de um conjunto de interações entre o ambiente externo, o ambiente interno e os elementos que constituem a construção. Dentre os dados de entrada necessários para a realização de uma simulação computacional destacam-se: arquivo climático, geometria da edificação, sistema de iluminação e equipamentos, número de ocupantes, elementos de composição das fachadas, sistema de condicionamento de ar e seus respectivos padrões de uso e estratégias, como ilustra a Figura 1.

5 LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública. 2012. 23p. http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf Acesso em 31/08/2017.

6 PBE EDIFICA - Programa Brasileiro de Etiquetagem (<http://www.pbeedifica.com.br/>) Acesso em 31/08/2017.

7 MME – Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética. <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/plano-nacional-de-eficiencia-energetica> Acesso em 31/08/2017.

8 LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design* (<http://www.usgbc.org/>) Acesso em 31/08/2017.

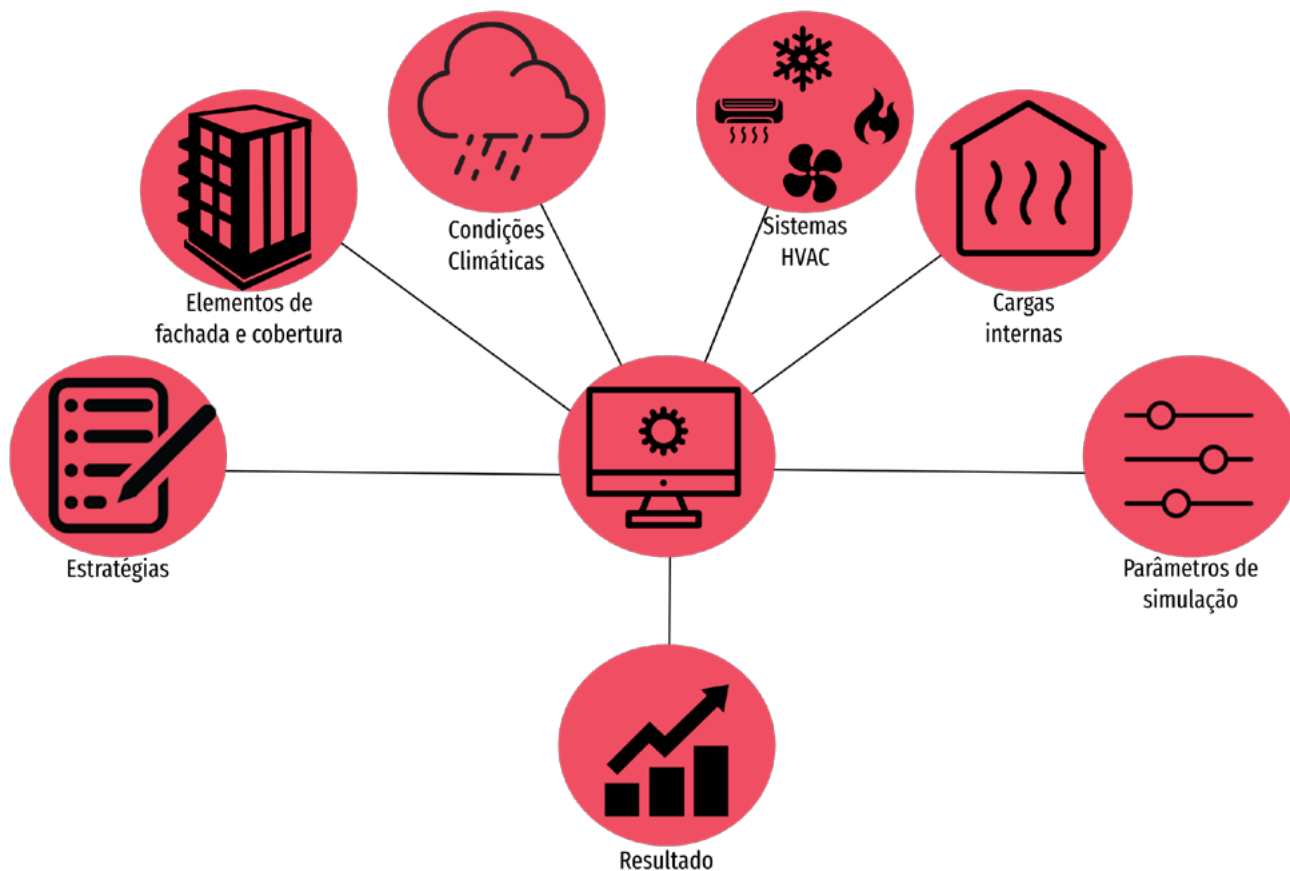


Figura 1. Dados de entrada necessários para a simulação computacional. Fonte: GDP.

O impacto dessa simulação reside na precisão das projeções, permitindo que os projetistas avaliem os resultados de diferentes opções de projeto, observem sistemas funcionando inadequadamente e avaliem o desempenho energético da edificação para diferentes considerações de dados de entrada. Além disso, a simulação computacional determina as cargas térmicas da construção, permitindo que os projetistas analisem e verifiquem o dimensionamento dos equipamentos e sistemas.

Durante a fase inicial de projeto, o uso da simulação energética computacional pode fornecer aos responsáveis pelo projeto informações valiosas para as tomadas de decisão. Inicialmente, é possível elaborar um modelo de energia simplificado com valores *default* de entrada, para depois avaliar o impacto de dados de entrada específicos. Ou seja, eles podem analisar a mudança de volumetria e geometria e de seus elementos constituintes e o impacto da influência conforme a orientação solar. Os resultados obtidos ajudam os responsáveis a tomar decisões de projeto para otimizar a forma e uso de materiais de construção que alcancem melhor desempenho da edificação.

Durante a fase de desenvolvimento do projeto, a simulação computacional permite que os projetistas avaliem as alternativas em um nível mais detalhado do que na fase inicial. Nesta etapa, são definidos os sistemas, tipos de construção e suas respectivas características, permitindo a comparação com o desempenho de edificações reais e uma análise intermediária com base em normas de desempenho.

No desenvolvimento do projeto, os responsáveis podem realizar análises paramétricas, avaliando os impactos das modificações dos dados de entrada no desempenho energético da edificação. Assim, podem ser analisados o uso de isolamento nas paredes e cobertura da edificação; a eficiência do sistema de condicionamento de ar; os tipos de vidros das janelas; entre outros. Com base nos resultados, os projetistas podem selecionar a alternativa de *design* que refletiu o melhor desempenho e o menor custo ao longo da vida útil da edificação em estudo. Ao final do processo, é possível visualizar os componentes que realmente sejam relevantes para assegurar o melhor desempenho energético da edificação.

Já na fase de construção, o modelo de simulação computacional deve estar detalhado com todas as informações do projeto, onde as simulações finais devem apresentar o nível de desempenho energético a ser alcançado pela edificação. Nessa fase, o modelo tem o objetivo de atender aos códigos de desempenho energético, apresentando documentação necessária para qualquer certificação de construção sustentável.

Durante o comissionamento, o modelo computacional de energia permite que os profissionais responsáveis possam validar e ajustar o projeto. Nessa fase, é possível verificar e comparar o desempenho energético do edifício real com o edifício virtual.

Na fase de operação do edifício, muitas vezes torna-se difícil a identificação de equipamentos e controles com alterações de funcionalidade. No entanto, por meio das medições e monitorações do edifício real e dos resultados de desempenho energético do modelo de energia, é possível identificar e diagnosticar as necessidades de melhoria do empreendimento. O modelo de energia virtual da edificação deve ser sempre atualizado após qualquer interferência na edificação, permitindo que os responsáveis possam verificar e analisar o desempenho energético da edificação quando necessário.

Com as novas exigências e metas de desempenho de projeto estipuladas, nota-se a busca de uma única ferramenta capaz de integrar todas as soluções interdisciplinares de um mesmo projeto. A simulação computacional surge como uma ferramenta capaz de auxiliar os projetistas na busca das melhores decisões de *design* e monitoramento da operação e manutenção do edifício, permitindo avaliar e quantificar as soluções mais adequadas.

2.3 REGULAMENTO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

2.3.1 REGULAMENTO BRASILEIRO EM VIGOR

O Regulamento Brasileiro em vigor é composto pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), os quais apresentam dois métodos para a avaliação do nível final de eficiência da edificação: Método Prescritivo, um modelo simplificado onde são atribuídos pesos a cada requisito; e o Método de Simulação, que adota o uso de um programa de simulação computacional que quantifica o consumo de energia.

De acordo com o Método Prescritivo, a definição do nível de eficiência da envoltória da edificação é baseada na utilização de um modelo simplificado. Este modelo foi desenvolvido por meio da utilização do método estatístico de regressão linear múltipla⁹, baseando-se em resultados de consumo final de diferentes edificações comerciais gerados pelo uso de simulação computacional. Os métodos simplificados geralmente permitem a entrada de dados com limitações, considerando diversas suposições quanto ao clima, padrões de uso e tipo de construções. Apesar de oferecerem rapidez na avaliação do desempenho da edificação, também podem envolver uma incerteza considerável em seus resultados, levando a comprometer o processo de certificação dos edifícios. O método prescritivo visa à classificação das edificações segundo equações e tabelas fornecidas no Regulamento Brasileiro (Figura 2).

O Método de Simulação dos Regulamentos Brasileiros permite que o usuário compare o edifício real com um edifício de referência, o qual deve ser modelado de acordo com os pré-requisitos fornecidos pelos regulamentos para o nível de eficiência pretendido. O uso da simulação computacional permite que o usuário analise a interação de diferentes sistemas presentes no projeto, considerando a sua geometria e seus respectivos dados de entrada. No entanto, a utilização destes programas demanda quantidade considerável de tempo e recursos e requer um nível de conhecimento muito amplo e complexo quando comparado com os métodos simplificados.

Para a utilização do Método de Simulação são estabelecidos pré-requisitos específicos quanto ao programa de simulação computacional e ao arquivo climático adotado.

⁹ Técnica estatística que descreve as relações entre diferentes variáveis explicativas de um determinado processo.

Além disso, são exigidas características em comum entre ambos os modelos (real e de referência), tais como: mesma orientação; mesmo padrão de uso e operação dos sistemas; mesmo tipo de sistema de condicionamento de ar com o mesmo valor de *setpoint*¹⁰ de resfriamento e aquecimento. Através da simulação computacional, compara-se o consumo final de cada edifício (real e de referência), sendo que o consumo do edifício real deve ser menor ou igual ao do edifício de referência para que o mesmo alcance o nível de eficiência pretendido (Figura 3). A envoltória do modelo de referência deve ser determinada de acordo com o nível de eficiência pretendido, levando em consideração os limites estabelecidos pelo Regulamento Brasileiro. Para o sistema de iluminação, devem ser considerados valores de densidade de potência de iluminação de acordo com o tipo de uso e funcionamento da edificação. Para o sistema de condicionamento de ar, devem ser considerados os valores de eficiência segundo os limites definidos para cada nível pretendido de acordo com o Regulamento Brasileiro. A Figura 4 apresenta a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia dos Regulamentos Brasileiros em vigor.

Ambos os métodos devem atender aos pré-requisitos de envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. No entanto, a escolha vai depender de critérios como o nível de complexidade da edificação que está sendo analisada. Destaca-se que o método prescritivo é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão e não abrange todas as soluções possíveis presentes em uma edificação, sendo necessária a aplicação do Método de Simulação.

10 Controle de temperatura para manter a temperatura dentro dos limites estabelecidos.



Figura 2. Classificação da edificação segundo o Método Prescritivo. Fonte: CB3E.

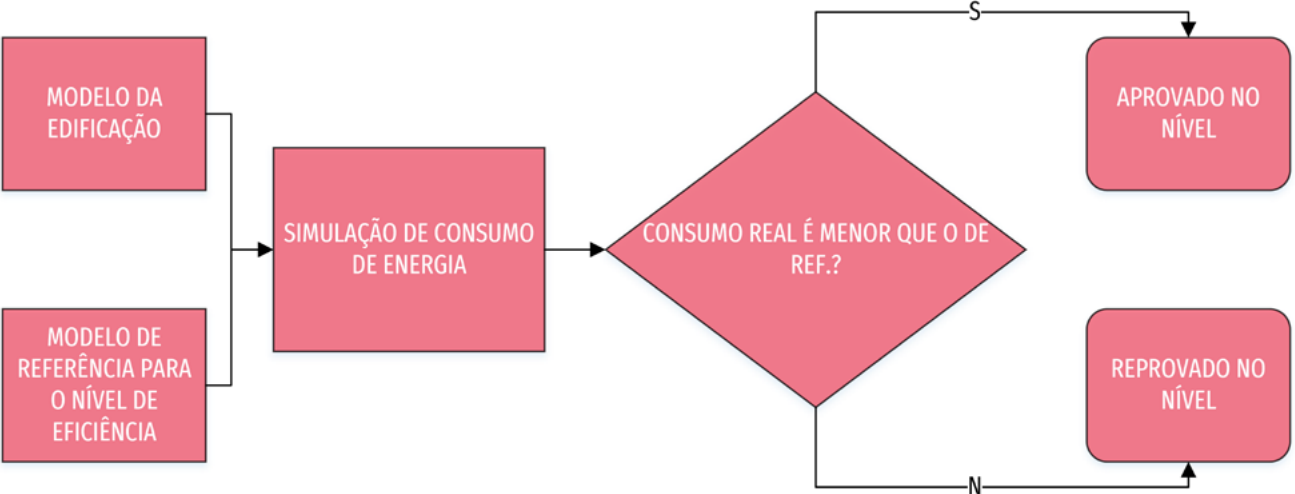


Figura 3. Classificação da edificação segundo o Método de Simulação. Fonte: CB3E.

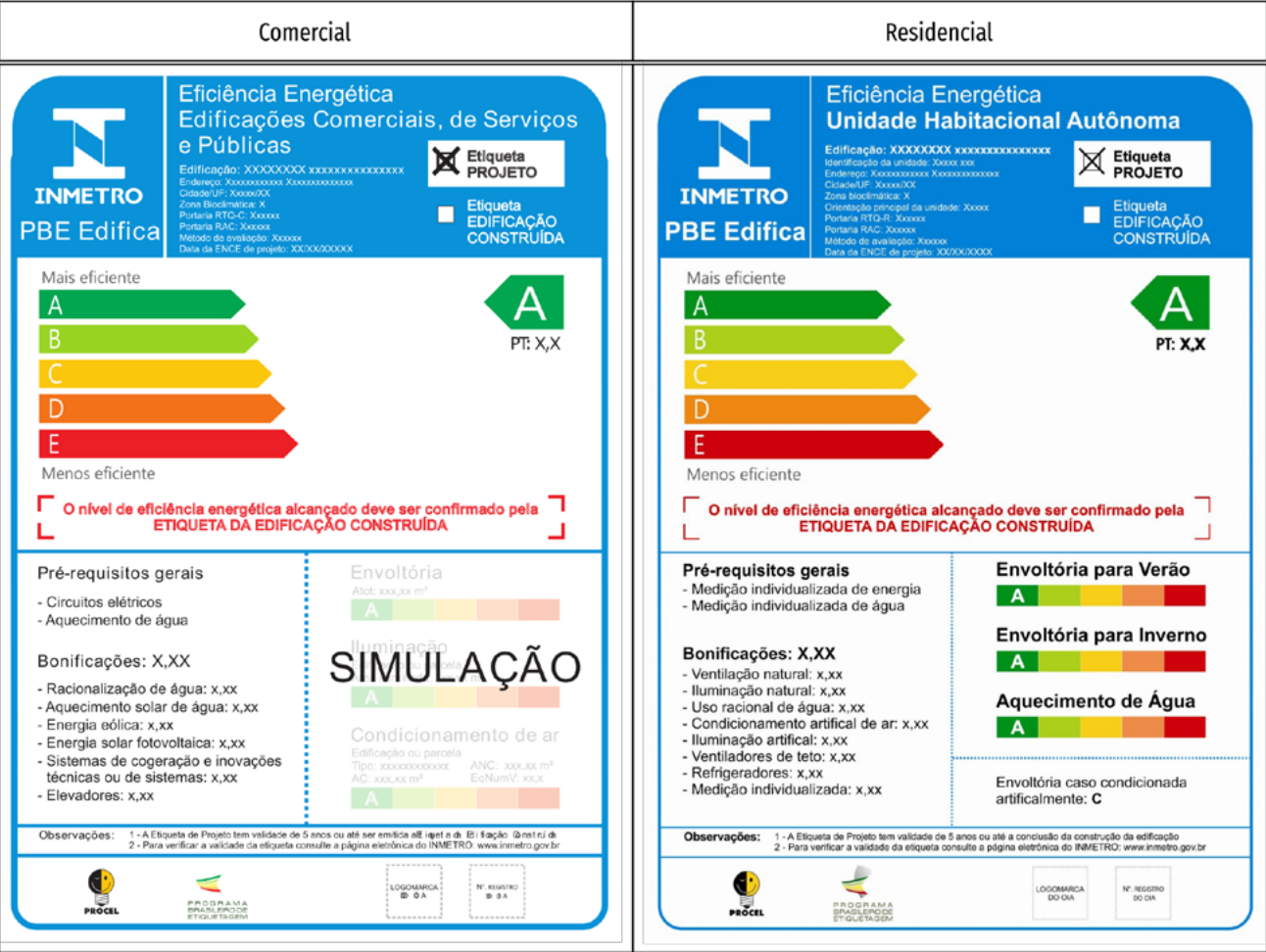


Figura 4. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – em vigor. Fonte: CB3E.

O Método de Simulação propicia uma alternativa de análise da eficiência energética da edificação de uma forma completa, com soluções arquitetônicas flexíveis, através de softwares de simulação energética. É muito recomendada para edificações onde o percentual de abertura da fachada é elevado, existe o uso de vidros de alto desempenho e/ou existem elementos de sombreamento diferenciados, dependendo da fachada. Já o Método Prescritivo é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão. Desde a publicação dos regulamentos brasileiros, já foram etiquetadas mais de 190 edificações de acordo com o RTQ-C e mais de 4.400 de acordo com o RTQ-R (sendo 41 para edificações multifamiliares e 4.379 para unidades autônomas). Todo o processo de certificação ocorre no âmbito do SIMETRO/CONMETRO, respeitando suas estruturas e regras. Neste contexto, os Organismos de Inspeção Acreditado – OIA, reconhecidos formalmente pelo Inmetro, são os responsáveis por emitir a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Atualmente, existem quatro OIAs acreditados para emitir as ENCE: Fundação Carlos Alberto Vanzolini, Universidade Federal de Pelotas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte e Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética LTDA. No entanto, somente a Fundação Carlos Alberto Vanzolini e a Universidade Federal de Pelotas avaliam a edificação pelo Método de Simulação. Informações detalhadas sobre o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais estão disponíveis no site do Programa de Eficiência Energética em Edificações – PBE Edifica (www.pbeedifica.com.br).

2.3.2 REGULAMENTO BRASILEIRO EM DESENVOLVIMENTO

O Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) vem desenvolvendo ações para a melhoria do atual método de avaliação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Dentre as alterações propostas para atualização do Regulamento, destaca-se a melhoria do indicador de desempenho, visando auxiliar o consumidor na tomada de decisão para escolha do seu imóvel. A versão atualizada do Regulamento Brasileiro deve ser disponibilizada em 2018.

Atualmente, a etiquetagem de edificações pelo Método Prescritivo classifica seu desempenho energético utilizando um indicador de consumo que, apesar de permitir a sua classificação em níveis de eficiência “A” a “E”, não permite que o consumidor tenha uma ideia precisa do real consumo da edificação. Essa limitação impede a quantificação da economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas. Assim, a nova proposta para a avaliação de desempenho energético das edificações baseia-se no consumo de energia primária e compara a edificação com suas características reais com a mesma edificação adotando características de uma condição de referência.

A opção por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que tanto a energia elétrica quando a térmica, oriundas de diversas fontes, sejam contabilizadas (ex.: edificações que utilizam energia elétrica, gás e solar). Além disso, a etiqueta irá fornecer informações quanto ao consumo mensal de energia elétrica e gás e às emissões de CO₂. A Figura 5 apresenta a nova Etiqueta Nacional de Conservação de Energia proposta na atualização dos Regulamentos Brasileiros.

As alterações técnicas nos regulamentos propõem melhorar a precisão dos métodos de estimativa do desempenho da edificação e aproximar os resultados ao máximo do consumo real das edificações. Os novos métodos permitem avaliar edificações de tipologias mais difundidas através de métodos prescritivos e simplificados, além de oferecer o método de simulação para edificações mais complexas.

Na atualização do RTQ-C e RTQ-R, a proposta do Método Prescritivo baseia-se em um modelo simplificado desenvolvido através da aplicação do método estatístico de redes neurais¹¹. Foram considerados dados de entrada desde os valores mais

eficientes aos menos eficientes, para que o desenvolvimento do novo modelo simplificado permita avaliar desde as edificações existentes às futuras. A interação entre todos os parâmetros foi realizada por meio do método Hipercubo Latino¹². Esse método permite avaliar a influência da alteração de dois ou mais parâmetros para cada novo caso, reduzindo assim a quantidade necessária de casos para análise.

Quanto aos Métodos de Simulação, a proposta baseia-se na comparação entre o desempenho do edifício proposto (real) com um prédio de referência, ou seja, um modelo representando a edificação real (de acordo com o projeto sob avaliação) e um modelo que representa uma condição de referência devem ser elaborados para a avaliação.

As características do modelo de referência são pré-determinadas pelo Regulamento Brasileiro de acordo com o tipo de funcionamento da edificação. Um levantamento em diferentes tipologias de edificações já construídas no mercado brasileiro foi realizado, observando os parâmetros mais utilizados e suas respectivas características. Com base nele, foi possível determinar os dados de entrada e seus respectivos valores para cada modelo de referência, de acordo com o tipo de edificação analisada. Dentre os parâmetros pré-determinados, destacam-se: transmitância; capacidade e absorvidade térmica das paredes externas e cobertura; fator solar do vidro; densidade de potência de iluminação e equipamentos; eficiência e temperatura de *setpoint* do sistema de condicionamento de ar e densidade de ocupação.

De acordo com o método proposto, a condição de referência para as edificações comerciais é agrupada por tipologia: edificações de escritório; edificações educacionais: ensino médio, ensino fundamental e ensino superior; edificações de hospedagem: pequenas, médias e grandes; edificações hospitalares: clínicas e hospitais; edificações de varejo: lojas, lojas de departamento e *shopping center*; edificações de varejo: mercados; e edificações de alimentação: restaurantes e praças de alimentação. Para as edificações residenciais, os limites referem-se às edificações unifamiliares e multifamiliares. Os modelos de referência comerciais adotam o uso de sistema de condicionamento de ar com nível de eficiência “D”. No entanto, o método proposto para as edificações comerciais permite analisar o uso de ventilação e iluminação natural dos projetos propostos. Nos modelos de referência residenciais, o uso de ventilação natural e do sistema de condicionamento nos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala) já são considerados.

11 Método estatístico que auxilia no reconhecimento de padrões, adotando uma base de dados. A aplicação de uma rede neural requer conhecimentos específicos para conseguir alcançar o desempenho desejado.

12 Técnica de amostragem que considera somente um pequeno grupo de uma população que se pretende conhecer, reduzindo o tempo necessário para análise e gerando resultados satisfatórios.

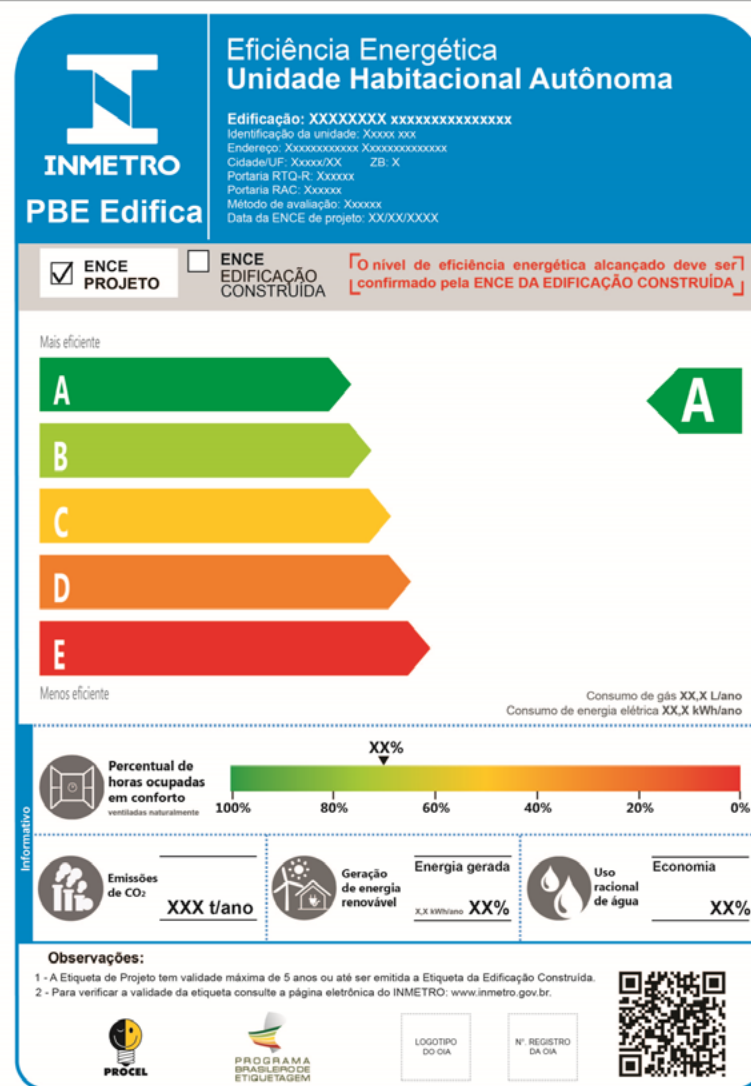


Figura 5. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – em desenvolvimento. Fonte: CB3E.

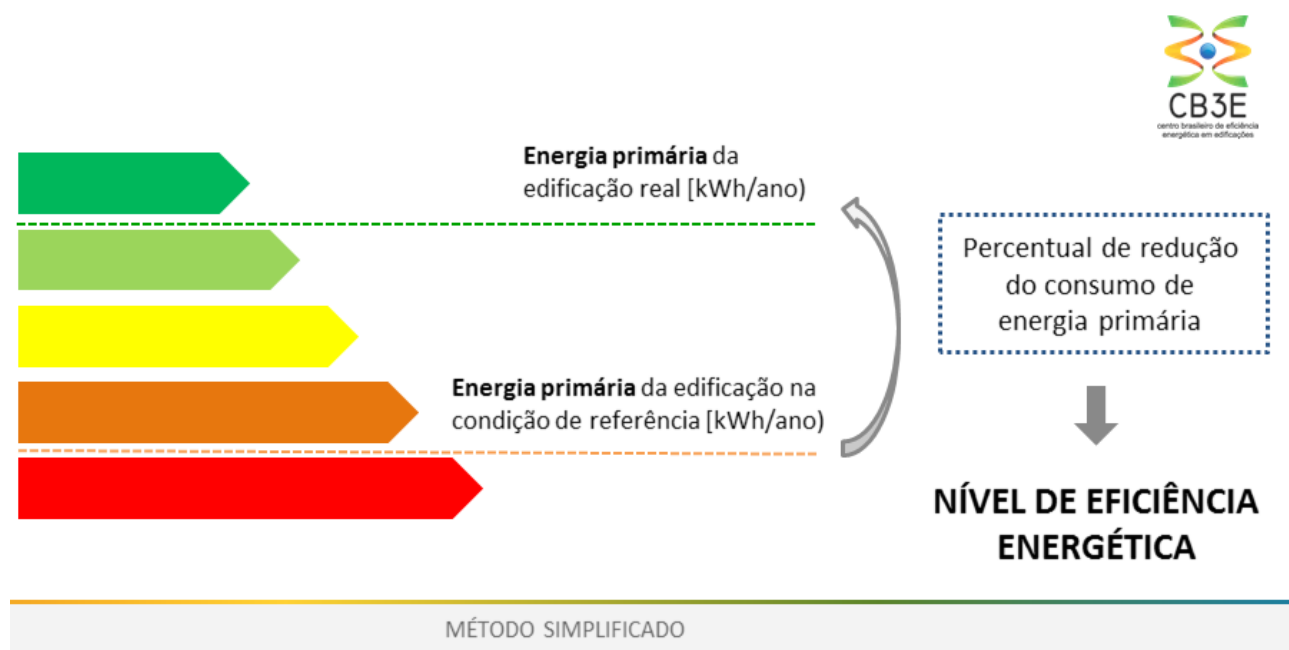


Figura 6. Avaliação da eficiência energética. Fonte: CB3E.

Para a avaliação da eficiência energética, o consumo de energia primária da edificação avaliada é comparado com o consumo de energia primária da condição de referência dessa edificação, a qual terá sua classe definida de acordo com o percentual de economia na condição real em relação à condição de referência (Figura 6). Para o RTQ-R, além da comparação entre o consumo de energia, comparam-se também as horas de conforto dos ambientes de permanência prolongada, de acordo com os limites da ASHRAE Standard 55 – 2013.

O Método de Simulação permite a comprovação da conformidade com os requisitos desta nova proposta de análise, com uma maior diversidade de estratégias de projeto, permitindo maior flexibilidade quando comparado ao método simplificado. Pode ser utilizado quando o desempenho mínimo da edificação, segundo o percentual de economia, é comprovado utilizando-se um programa computacional que atenda aos requisitos mínimos estipulados pelo Regulamento Brasileiro.

3 BIM E O REGULAMENTO BRASILEIRO

A aplicação do BIM em simulações de desempenho energético ainda é relativamente recente e as ferramentas ou aplicativos ainda não tem uma interoperabilidade adequada, sendo necessário importar e reconfigurar os modelos do aplicativo de projeto para o software de análise. Isto exige que já na modelagem BIM sejam tomados certos cuidados, em especial quanto ao zoneamento (item 3.1), que deve ser indicado por meio de classificação das áreas e compartimentos quanto às zonas projetadas. Além disso, os componentes BIM devem conter dados específicos para que seja possível efetuar as simulações.

3.1 ZONEAMENTO – SPACE GROUPING

A partir da modelagem do projeto, com a definição dos elementos construtivos, tipos de materiais, horas de ocupação e sistemas existentes, é possível avaliar o comportamento da edificação e desenvolver soluções que possam maximizar o seu desempenho, minimizando o consumo de energia. O edifício deve ser pensado como um todo, observando todos os sistemas e atividades que fazem parte da rotina do prédio para entender seu comportamento durante a sua vida útil.

Para modelar a representação da edificação, torna-se necessário identificar todos os elementos construtivos que fazem parte da edificação, assim como todos os sistemas existentes e seus respectivos padrões de uso. O modelo de simulação computacional deve conter todas as informações, possibilitando a integração entre os parâmetros fundamentais para a execução de análises energéticas. É imprescindível que todos os participantes do projeto e envolvidos no desenvolvimento do produto entendam a importância em levantar e dispor das características de todos os dados de entrada e sistemas que fazem parte da edificação.

A simulação energética computacional é uma ferramenta que auxilia o empreendedor e os projetistas a atingirem o desenho requerido de um edifício sustentável, quer ambientalmente quer economicamente, evitando gastos com futuras medidas corretivas. É uma ferramenta que possibilita ao projetista uma análise inicial da situação energética da edificação em estudo. Por meio da simulação é possível analisar estratégias para a melhoria da eficiência energética da edificação antes da

sua implementação, permitindo uma comparação entre diferentes sistemas aplicados em diferentes climas. O modelo computacional deve estar devidamente representado para que as análises das estratégias de projeto alcancem êxito ao final da análise. Quando este modelo é adequadamente representado e detalhado, e quanto melhor a representação dos materiais que compõem a edificação real e seus respectivos sistemas, menores são o custo e o risco global para a equipe do projeto.

Para a realização da simulação energética, é necessário que o usuário possua alguns conhecimentos básicos, como volumes de controle e conservação de massa e energia, e mecanismos de transferência de calor, além de conhecimentos específicos dos sistemas e estratégias adotadas no projeto ou da edificação construída.

Para iniciar a modelagem energética de uma edificação ou projeto, é necessário realizar um levantamento de todos os fatores que influenciam no consumo de energia elétrica. Após o levantamento, é necessária a realização do zoneamento térmico do projeto, ou seja, separar os ambientes condicionados dos não-condicionados, agrupar os ambientes não condicionados formando uma única zona térmica não-condicionada e agrupar os ambientes condicionados, quando possível (mesma orientação), em uma única zona térmica condicionada. Os ambientes que possuem a mesma orientação, o mesmo padrão de uso ou ocupação e o mesmo sistema de condicionamento de ar podem ser agrupados em uma única zona térmica. Além disso, as zonas térmicas devem ser estabelecidas para a situação de uso mais crítica do ponto de vista térmico. Por exemplo, se a zona térmica representa um auditório, o dimensionamento da sua ocupação na modelagem deve ser máximo. É importante atentar a esses fatos para garantir que os ambientes agrupados sejam semelhantes em todos os aspectos e representem a operação real da edificação. As zonas térmicas são espaços que apresentam mesmo perfil de carga interna instalada e de requisitos de condicionamento.

A definição das zonas térmicas de uma edificação é de extrema importância para sua correta análise energética da edificação, principalmente na fase inicial de projeto quando o sistema de condicionamento de ar não foi completamente definido. A simplificação do agrupamento das zonas térmicas pode ser favorável em muitos casos pela redução da sobrecarga computacional, mas em outros casos pode apresentar resultados menos precisos. A Figura 7 apresenta a definição de zonas térmicas para um modelo de energia.

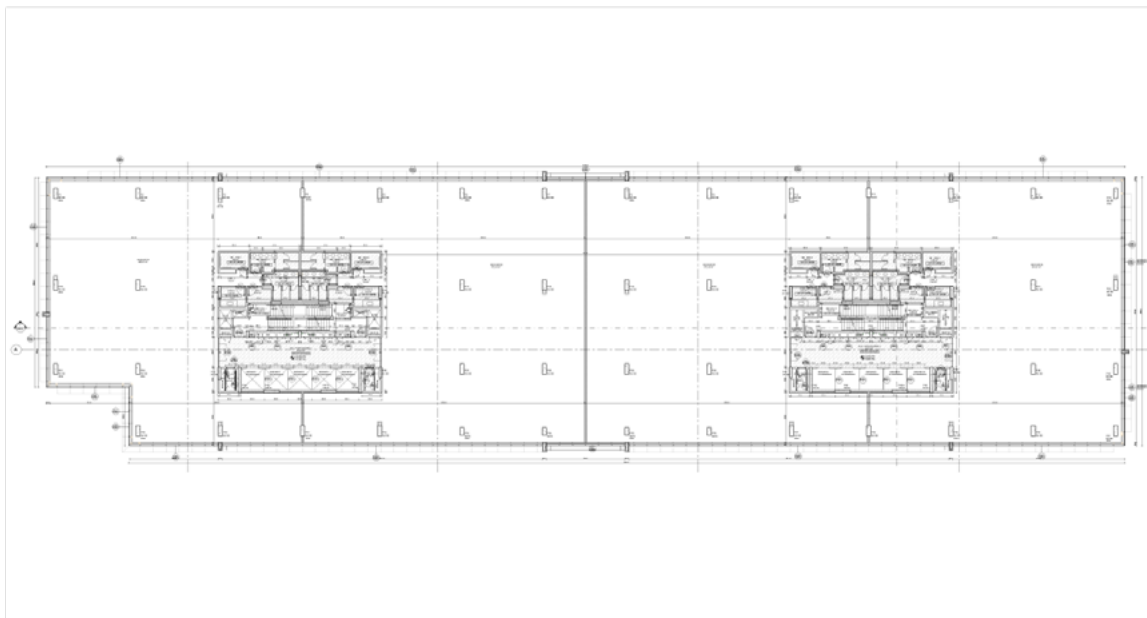
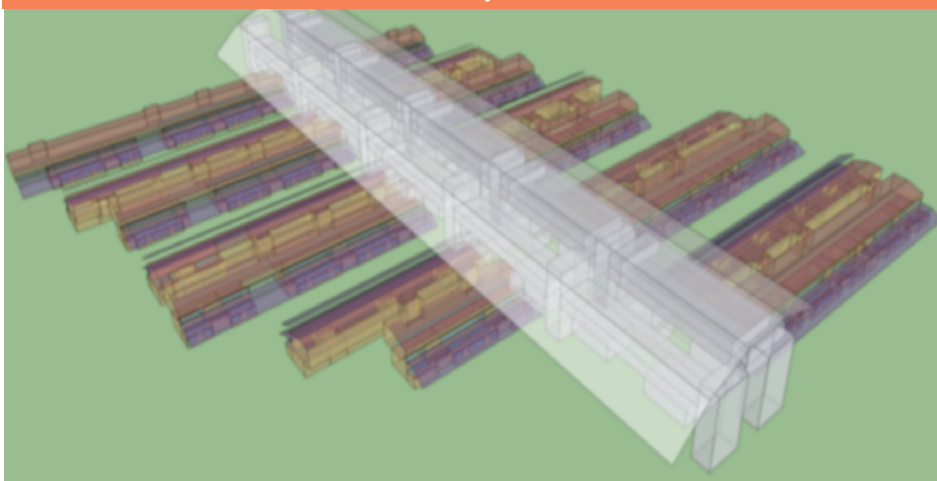


Figura 7. Divisão dos espaços do modelo geométrico em zonas térmicas. Fonte: GDP.

PROJETO DA EDIFICAÇÃO



MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL



A definição dos espaços conforme as faces internas dos elementos de construção é a atividade mais importante e relevante para as ferramentas de simulação de energia. Um exemplo de zoneamento de um modelo para simulação computacional é apresentado na Figura 8 para edificação comercial e na Figura 9 para edificação residencial.

O tipo do elemento que está sendo modelado e suas respectivas condições devem ser especificados. Por exemplo, a condição de exposição das paredes externas (expostas ao sol e vento) ou internas deve ser estabelecida no modelo de energia. O elemento “parede” é o componente crítico desse modelo, que deve informar a qual zona térmica as paredes estão vinculadas e se são adjacentes a diferentes zonas térmicas. Uma questão da modelagem da geometria é indicar quanto desta parede adjacente pertence a cada ambiente. As paredes internas que não separam zonas térmicas de um modelo de análise energética não precisam ser consideradas. As alturas dos espaços também devem ser modeladas, e quando existir *plenum*, deve ser considerado o espaço entre a altura do teto a altura da laje acima dele. Na maioria dos casos o *plenum* é o espaço entre a laje e o forro, onde os projetistas muitas vezes adotam como o espaço para ar de retorno.

Figura 8. Representação do modelo computacional para simulação – edificação comercial.

Fonte: LabEEE.

PROJETO DA EDIFICAÇÃO



MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

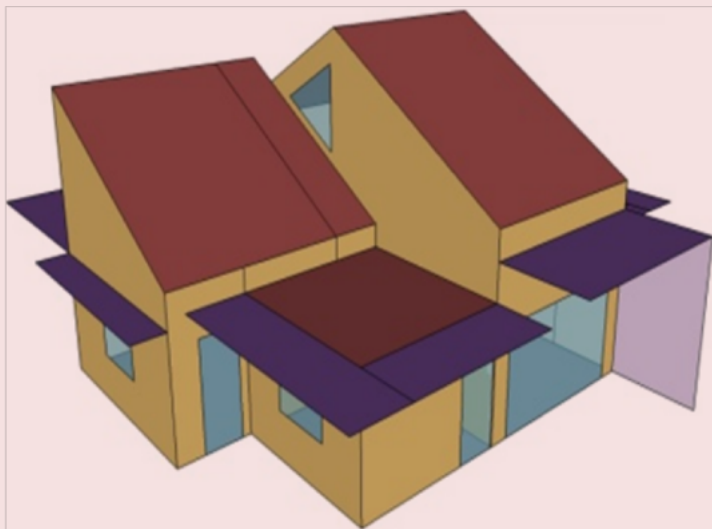


Figura 9. Representação do modelo computacional para simulação – edificação residencial.
Fonte: LabEEE.

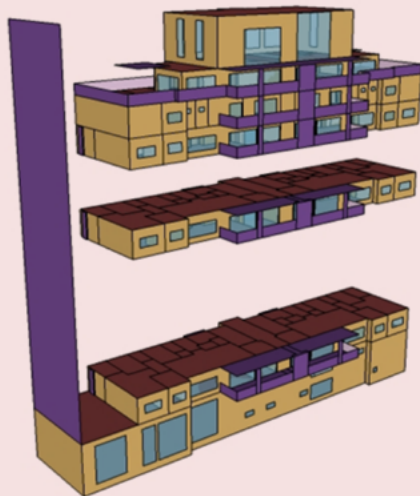
Os elementos de cobertura podem ser modelados como uma laje e, se for necessário, pode ser designada outra zona térmica correspondente à representação do ático. As janelas devem ser sempre vinculadas a um componente de parede. É essencial que os pisos sejam modelados como objetos de laje. Os dispositivos de sombreamento e o sombreamento do entorno, quando existentes no projeto, devem ser modelados, uma vez que estes impactam na quantidade de radiação solar que penetra para o ambiente interno.

Os elementos que fazem parte da representação de uma zona térmica (paredes, piso e cobertura) podem ser definidos como elemento adiabático (onde não há a transferência de calor). Esta suposição pode ser utilizada para reduzir o tempo de modelagem de edificações com grande número de pavimentos e também para reduzir o tempo de execução necessário para a simulação do modelo energético. A Figura 10 apresenta a modelagem de uma edificação multifamiliar. Observa-se que foi modelado um pavimento intermediário para representar os outros pavimentos tipo. No modelo de energia, o piso e a cobertura deste pavimento intermediário foram considerados adiabáticos para a simulação energética, já que os pavimentos abaixo e acima apresentam as mesmas características do pavimento intermediário.

PROJETO DA EDIFICAÇÃO



MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL



As superfícies que delimitam o espaço podem ser verificadas para ver se foram designadas como adiabáticas (sem a transferência de calor) ou não-adiabáticas (com a transferência de calor). Esta informação pode ser usada para reduzir o tempo de execução requerido para a simulação de energia. Isso evitaria que os usuários tivessem que excluir ou filtrar paredes internas apenas para simplificar o modelo para análise de energia.

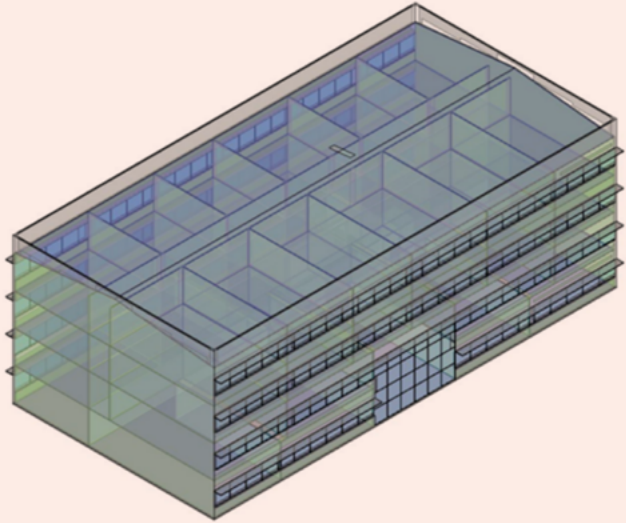
Modelar espaços de construção adequadamente no modelo BIM exige atenção extra aos detalhes. Também é necessário garantir a atualização de modo automático sempre que ocorrer alguma remoção/alteração dos elementos construtivos e a atualização automática da ferramenta utilizada para evitar problemas com o modelo de energia.

É importante que os responsáveis pelo projeto em BIM troquem informações com os responsáveis pelo processo de análise energética da edificação. Normalmente, o projeto em BIM não contém todas as informações necessárias para executar a simulação energética do projeto em estudo e tem dados que não interessam para a análise, exigindo a sua separação e complementação do modelo. Deve-se conscientizar as equipes sobre o planejamento correto da modelagem da edificação analisada (ver no Guia 1 e 4 os itens sobre Plano de Execução BIM). O especialista em modelagem energética precisa indicar que requisitos de modelagem são necessários para que o modelo seja útil, ao passo que a equipe de projeto deve ser responsável por observar esses aspectos. Finalmente, o(a) gestor(a) poderá checar a consistência do modelo, por meio de um programa de *Model Checking*.

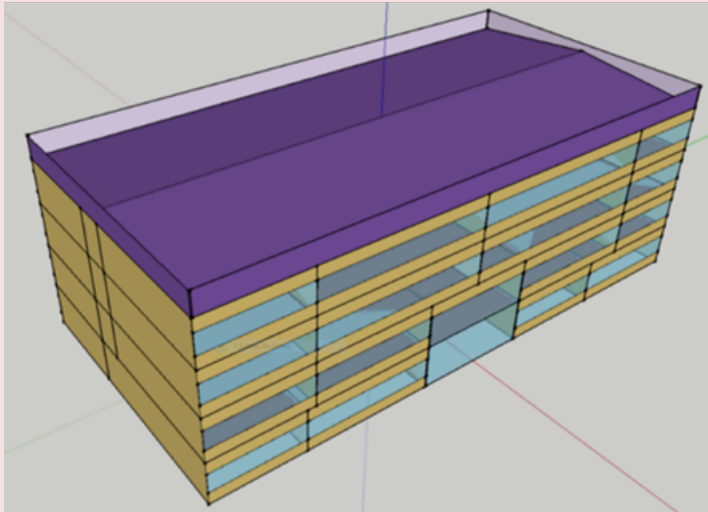
Muitos aplicativos de BIM para concepção (arquitetura) não suportam grande parte dos requisitos de troca de informações para modelagem de energia que deveriam estar contidos no modelo, como iluminação, equipamentos, ocupação e sistema de condicionamento de ar. Além disso, o processo de modelagem BIM pode conter produtos e tecnologias que apresentam limitações no processo de transferência de informações do BIM para o programa de simulação energética. Outra questão é que os projetos em BIM apresentam detalhes arquitetônicos e de outras disciplinas que não são necessários para a modelo de energia. A representação de um projeto em BIM e do mesmo projeto para a análise energética é apresentado na Figura 11.

Figura 10. Representação do modelo computacional para simulação. Fonte: LabEEE.

MODELO DO PROJETO EM BIM



MODELO DE ENERGIA



Por mais precisa que seja a troca de informações entre o BIM e o programa de simulação, a checagem da transferência dos dados é necessária. Elementos de construção podem ser deslocados do local de origem, e muitas vezes podem ser deformados ou ter desaparecido, interferindo nos resultados da simulação energética. As alterações realizadas no modelo de energia podem ser transferidas para o modelo BIM desde que a extensão da ferramenta de análise energética seja compatível com o modelo BIM.

A transferência das informações do modelo em BIM para o modelo de simulação energética gera redução no tempo de modelagem. Portanto, é importante lembrar que quanto maior a complexidade de um modelo geométrico, maior é o risco de erros na tradução dessa geometria para uma ferramenta de análise de energia. Os elementos desnecessários devem ser minimizados. Os elementos de construção necessários que devem ser transferidos para o programa de análise energética são: paredes, cobertura, janelas, piso e sombreamento.

Figura 11. Modelo BIM versus Modelo de energia. Fonte: LabEEE.

3.2 DADOS DE ENTRADA

Durante a fase inicial de projeto, a análise energética permite entender o comportamento dos dados de entrada no desempenho energético da edificação. Nessa fase, os projetistas podem adotar valores *default* respectivos a características de dados de entrada, podendo ajustar estes valores sempre que necessário para atingir o desempenho energético desejado.

No caso de edificações já construídas, o modelo de energia permite determinar o desempenho real por meio do levantamento dos dados que constituem a edificação. O desafio é fazer com que todos os dados levantados sejam inseridos no modelo de energia. Depois, a dificuldade é realizar a calibração do modelo. O processo de calibração tem como objetivo comparar os resultados da simulação com os dados reais medidos (por exemplo: conta de energia elétrica), sempre ajustando para que ambos os resultados se aproximem. Um exemplo da calibração do modelo base é apresentado na Figura 12. As diferenças entre os modelos base e proposto dependem principalmente das condições de uso da edificação e das características do clima.

A calibração é um processo fundamental para a análise da aplicação *retrofit* na edificação. A partir do modelo calibrado, o projetista pode avaliar o emprego de diferentes medidas de eficiência energética no consumo de energia e o custo final. O *International Performance Measurement and Verification Protocol* (IPMV) é um protocolo de medição e verificação de economia de energia que ajuda a aumentar o investimento em eficiência energética e de água e a gerenciar demanda e projetos de energia renovável. O IPMV analisa o consumo/demanda do empreendimento antes e depois da implementação de um projeto para determinar a economia gerada. A metodologia baseia-se na escolha de quatro opções: A e B – medição isolada das alternativas de eficiência energética, onde os parâmetros não selecionados para medição no campo são estimados com base em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação de engenharia; C – onde medições contínuas do consumo de energia de toda a instalação são realizadas; D – toda a edificação, onde as rotinas de simulação modelam adequadamente o desempenho energético real medido na instalação.

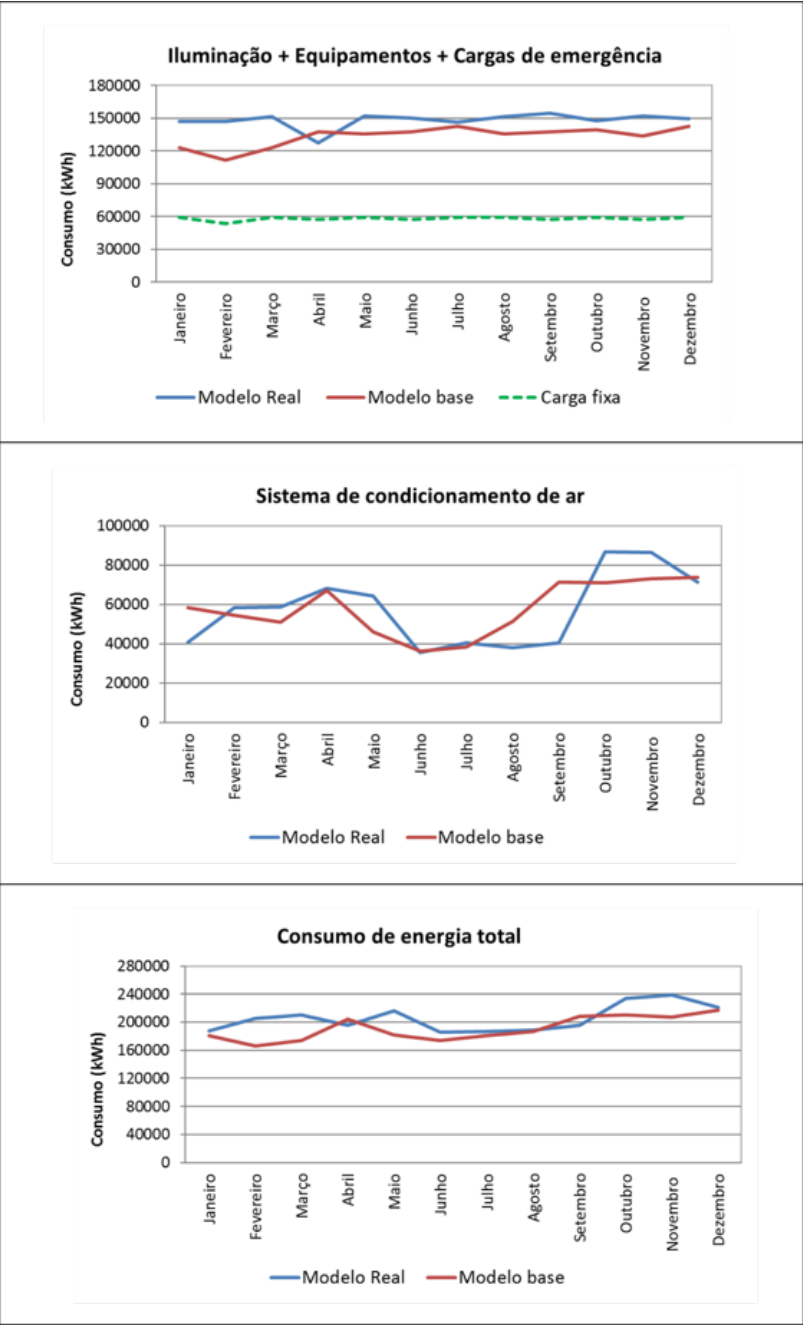


Figura 12. Exemplo da calibração do modelo base de simulação. Fonte: CEPEL (2015)

Tabela 1. Dados de entrada e suas respectivas características.

Classe de dados	Dados de entrada	Unidades
Clima	Arquivo climático ¹	-
Paredes, cobertura e piso	Espessura por camada de material	m
	Condutividade de cada material	W/mK
	Densidade de cada material	kg/m ³
	Calor específico de cada material	J/kgK
	Absortância térmica de cada superfície externa	-
	Condição de contato com o solo ou exposição ao clima externo/interno	-
Janelas	Percentual de vidro na fachada	%
	Fator solar do vidro	-
	Transmitância térmica da janela	W/m ² K
	Transmissão de luz	%
	Reflexão interna	%
	Reflexão externa	%
	Transmissão energética	%
	Reflexão energética externa	%
	Reflexão energética interna	%
	Emissividade face 1	-
	Emissividade face 2	-
	Condutividade do vidro	W/mK
	Espessura	m
Pessoas	Padrão de ocupação	h
	Número de pessoas	-
	Taxa metabólica relativa a atividade exercida pelos usuários da zona térmica	W/pessoa

No desenvolvimento do projeto, suposições quanto aos conjuntos de camadas de materiais e propriedades térmicas de materiais também são utilizadas para verificar as melhores opções de *design* analisadas. Porém, o modelo de energia deve estar totalmente detalhado na fase de construção para não interferir na sua precisão quanto ao desempenho energético da edificação.

A Tabela 1 apresenta os dados de entrada e suas respectivas características térmicas com base no Regulamento Brasileiro, as quais devem ser determinadas para a análise energética da edificação. É importante destacar que, dependendo do programa de simulação energética adotado, é possível modelar estratégias que não estejam relacionadas na tabela abaixo, como por exemplo curvas de eficiência das máquinas de refrigeração, para que o modelo de energia se aproxime do desempenho térmico realizado da edificação.

Classe de dados	Dados de entrada	Unidades
Sistema de iluminação ²	Padrão de uso	h
	Densidade de potência	W/m ²
	Fração radiante	-
	Fração visível	
	Tipo de controle	
Equipamentos	Padrão de uso	h
	Densidade de potência	W/m ²
	Fração radiante	-
Infiltração de ar ³	Padrão de uso	
	Trocas de ar por hora	-
Sistema de condicionamento de ar ⁴	Temperatura de <i>Setpoint</i> de aquecimento	°C
	Temperatura de <i>Setpoint</i> de resfriamento	°C
	Eficiência do sistema para aquecimento	W/W
	Eficiência do sistema para resfriamento	W/W
	Capacidade do sistema	W
	Temperatura de insuflamento	°C
	Vazão de ar externo para renovação do ar	kg/s
	Potência dos ventiladores	W
	Pressão estática dos ventiladores	Pa
	Tipo e quantidade de <i>chillers</i>	-
	Temperatura de controle da água gelada	°C
	Torres de resfriamento	-
	Bombas de água gelada	W.s/L
	Bombas de água de condensação	W.s/L

- 1** O arquivo climático deve conter dados horários anuais de temperatura, umidade, radiação solar, vento, visibilidade e precipitação.

2 A potência do sistema de iluminação refere-se somente às lâmpadas. A fração radiante e visível depende do tipo de luminária considerada.

3 A infiltração de ar pode ser modelada com maior precisão através do objeto *AirFlow Network* no programa *EnergyPlus*.

4 Os dados de entrada referentes ao sistema de condicionamento de ar baseiam-se nos dados de entrada mínimos para o modelo de referência de acordo com o Regulamento Brasileiro.

Fonte: GDP.

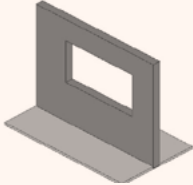
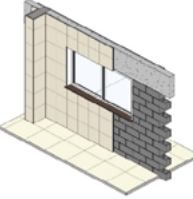
3.3 MODELOS DE ELEMENTOS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS

A simulação energética computacional permite investigar problemas complexos de projeto, quantificando e avaliando o desempenho energético. Na fase preliminar de projeto, a equipe pode utilizar ferramentas de simulação computacional para a análise de energia dentro de aplicações BIM, definindo valores *default* para cargas internas, padrão de uso e outras características de sistemas. Os valores *default* ajudam a equipe de projeto a entender e identificar o comportamento das alternativas, porém não permitem analisar com precisão em termos de uso de energia.

A modelagem energética na fase preliminar de projeto pode fornecer à equipe de projeto informações que ajudem nas decisões do projeto. A grande maioria dos valores *default* de programas de simulação baseiam-se em limites mínimos de normas de desempenho, como por exemplo a ASHRAE Standard 90.1. No entanto, estes valores são pouco apropriados para a realidade brasileira, apresentando, por exemplo, elementos construtivos com espessura expressiva de isolamento térmico.

Durante a modelagem simplificada é possível avaliar os impactos da volumetria, da orientação e localização da edificação, da construção do envelope, do percentual de vidros na fachada e fontes de energia alternativas. No projeto final, a simulação computacional permite que sejam analisadas diferentes alternativas de projeto em um nível mais detalhado do que é possível durante o projeto preliminar. Após algumas definições básicas, devem ser analisados conceitos de projeto envolvendo *layouts*, sistemas de condicionamento de ar, ventilação, tipos de construção e características arquitetônicas básicas. Comparando o resultado do desempenho

Tabela 2. Especificação do Nível de Desenvolvimento com relação ao modelo de energia.

ND	Arquitetura BIM	Modelo de energia	Objetivo da análise energética
200		Localização, orientação, geometria da edificação e zoneamento por orientação e core (5 zonas). Outros dados de entrada apresentam valores <i>default</i> .	Análise rápida do impacto das variáveis consideradas.
300		Zoneamento por orientação e core (5 zonas). Elementos construtivos, sistemas e padrão de uso com valores <i>default</i> .	Comparação com o desempenho de projetos reais; análise intermediária com base em normas de desempenho.
350		Definição das características dos elementos construtivos, sistemas e padrões de uso. Definição das zonas térmicas de acordo com os sistemas e padrões de uso do projeto.	Análise do impacto das mudanças dos valores <i>default</i> . Aprovação das alterações com base nos requisitos de desempenho energético do projeto.
400		Modelo detalhado com todas as características de projeto.	Nível final do desempenho energético do projeto.

Fonte: GDP.

energético dos projetos e observando o impacto das alternativas, a equipe de projeto pode determinar de forma mais eficiente quais alternativas propostas são as mais adequadas para cumprir as metas de desempenho.

O nível de detalhe do modelo de energia depende do escopo e das limitações e restrições do projeto, dos objetivos quanto ao desempenho energético e da fase em que se encontra o projeto. A Tabela 2 apresenta os dados de entrada necessários para o modelo de energia e a profundidade de análise durante as fases do projeto BIM.

Todas as informações de análise de energia adotadas para obter o desempenho energético devem estar claras para as equipes de projeto e construção, para ajudar o modelo BIM a se tornar um projeto facilmente adotado para a análise energética de edificações. Portanto, destaca-se a importância de averiguar se todas as necessidades do projeto são atendidas pelo modelo de energia. Além disso, os ajustes no modelo BIM devem ser comunicados à equipe de análise para evitar a propagação de erros e para assegurar que o desempenho energético da edificação real tenha diferença mínima com o desempenho energética do modelo de energia.

3.4 USO DE APLICATIVOS/FERRAMENTAS

A simulação energética computacional possibilita a identificação do efeito de cada fator isoladamente, o que nem sempre é possível em um caso real. A utilização dessa ferramenta pode ocorrer tanto na fase de projeto como durante a construção da edificação, fornecendo a vantagem e a possibilidade de testar soluções mais eficientes sem a necessidade de intervir na obra. As simulações energéticas ocorrem em softwares especializados que apresentam um modelo matemático capaz de representar a edificação detalhadamente, permitindo a análise do uso energético de acordo com a aplicação de estratégias.

As ferramentas de simulação energética normalmente consistem em uma interface gráfica acopladas a um mecanismo de cálculo térmico. O usuário insere a geometria da edificação a ser analisada, relacionando as características dos elementos que a compõem, e dados de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, entre outros. O programa de simulação realiza o cálculo para uma análise horária anual, calculando as capacidades dos sistemas para atender as cargas provenientes da edificação.

Muitos programas computacionais nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Existe um grande número de programas de simulação computacional para a análise de consumo de energia, desenvolvidos em diversos países. Dentre os mais populares citam-se: *EnergyPlus*, *Sefaira Architecture*, *Trace 700*, *Green Building Studio*, *eQUEST*, *DesignerBuilder*, *TAS*, entre outros^{13 14}. Muitas destas ferramentas de simulação permitem a leitura do modelo de criação BIM, realizando os cálculos necessários da edificação para a análise energética. Dentre as ferramentas que permitem essa análise através da transferência de informações com ferramentas BIM, destacam-se entre as mais populares: *EnergyPlus*, *IES Virtual Environment Software*, *Green Building Studio* e o *AECOSim Energy Simulation*.

De modo especial cita-se o programa *EnergyPlus*, que é um programa gratuito,

13 O DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos. Building Energy Modeling. (<https://energy.gov/eere/buildings/building-energy-modeling> - Acesso em 31/08/2017) disponibiliza uma lista de aplicativos homologados.

14 IBPSA/USA (<http://ibpsa-usa.org/index.php/ibpsa> Acesso em 31/08/2017).

<https://energy.gov/eere/buildings/articles/shockingly-short-payback-energy-modeling> Acesso em 31/08/2017.

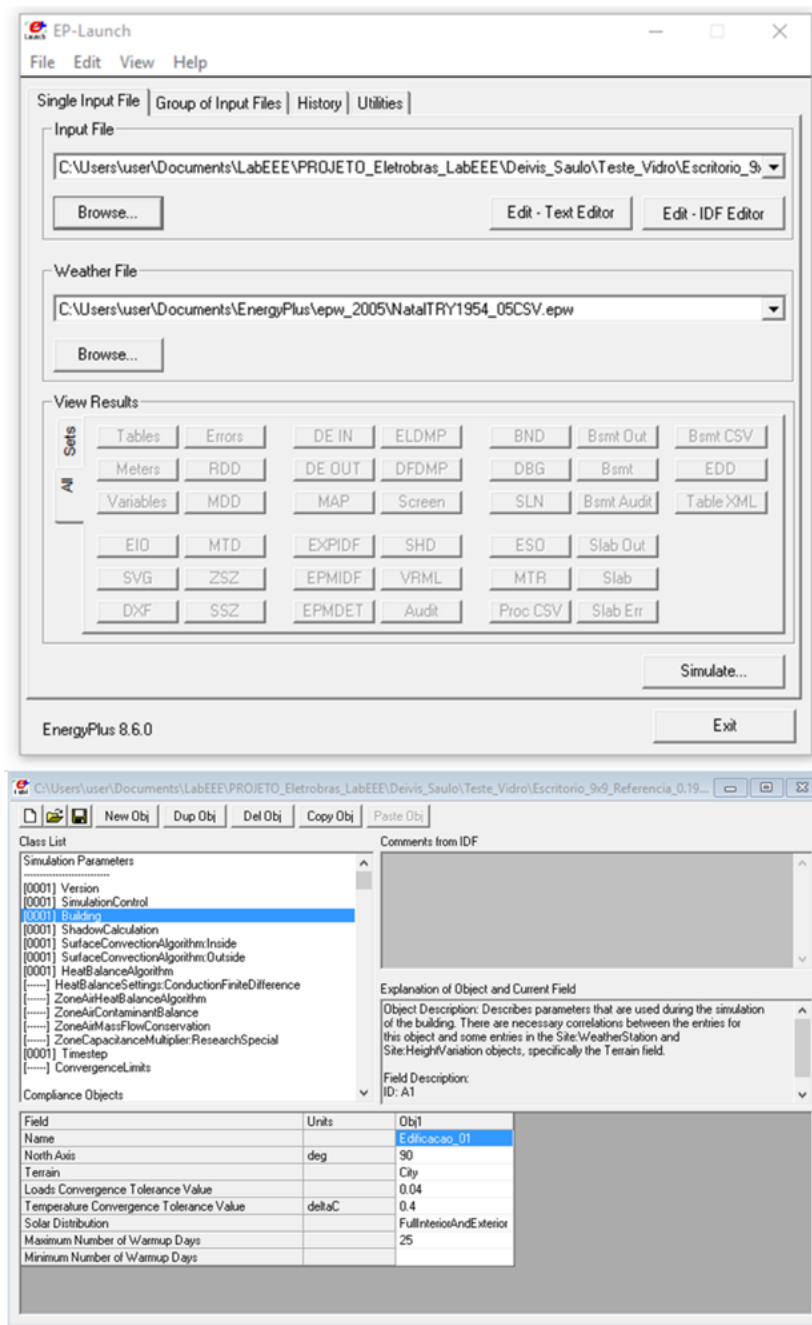


Figura 13. O programa *EnergyPlus*. Fonte: LabEEE.

desenvolvido sob patrocínio do governo do USA e internacionalmente conhecido. Ele possui diversas características como: cálculo da energia necessária para resfriar ou aquecer um ambiente; condução de calor transiente através dos componentes construtivos; modelo de conforto térmico; técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais; capacidade de cálculo do balanço energético; intervalos definidos pelo usuário; integração de diferentes módulos (fotovoltaico, sistema de condicionamento de ar, aquecimento solar, ventilação natural, e iluminação natural). O programa *EnergyPlus* (Figura 13) serve de base para o desenvolvimento de outros programas. Interfaces desenvolvidas facilitam o processo da inserção dos dados de entrada nesta ferramenta, integrando estudos com foco em eficiência energética utilizando BIM como é o caso do *Autodesk Building Performance Analysis*.

Os demais aplicativos citados apresentam objetivos e funções diferenciadas. O programa *IES Virtual Environment Software* é uma ferramenta que permite a análise de desempenho das edificações em outros aspectos além do energético (Figura 14). O programa permite que os usuários testem e identifiquem as melhores opções passivas, analisem as emissões de CO₂, verifiquem o conforto dos usuários, analisem a influência da iluminação natural e artificial, entre outras análises. Permite ainda que as análises energéticas sejam realizadas em um único modelo central integrado, facilitando nas interações do projeto. Possui interoperabilidade entre diferentes programas, como: *Autodesk Revit* e o *gbXML*.

Já o programa *Green Building Studio* é uma ferramenta desenvolvida pela *Autodesk* e

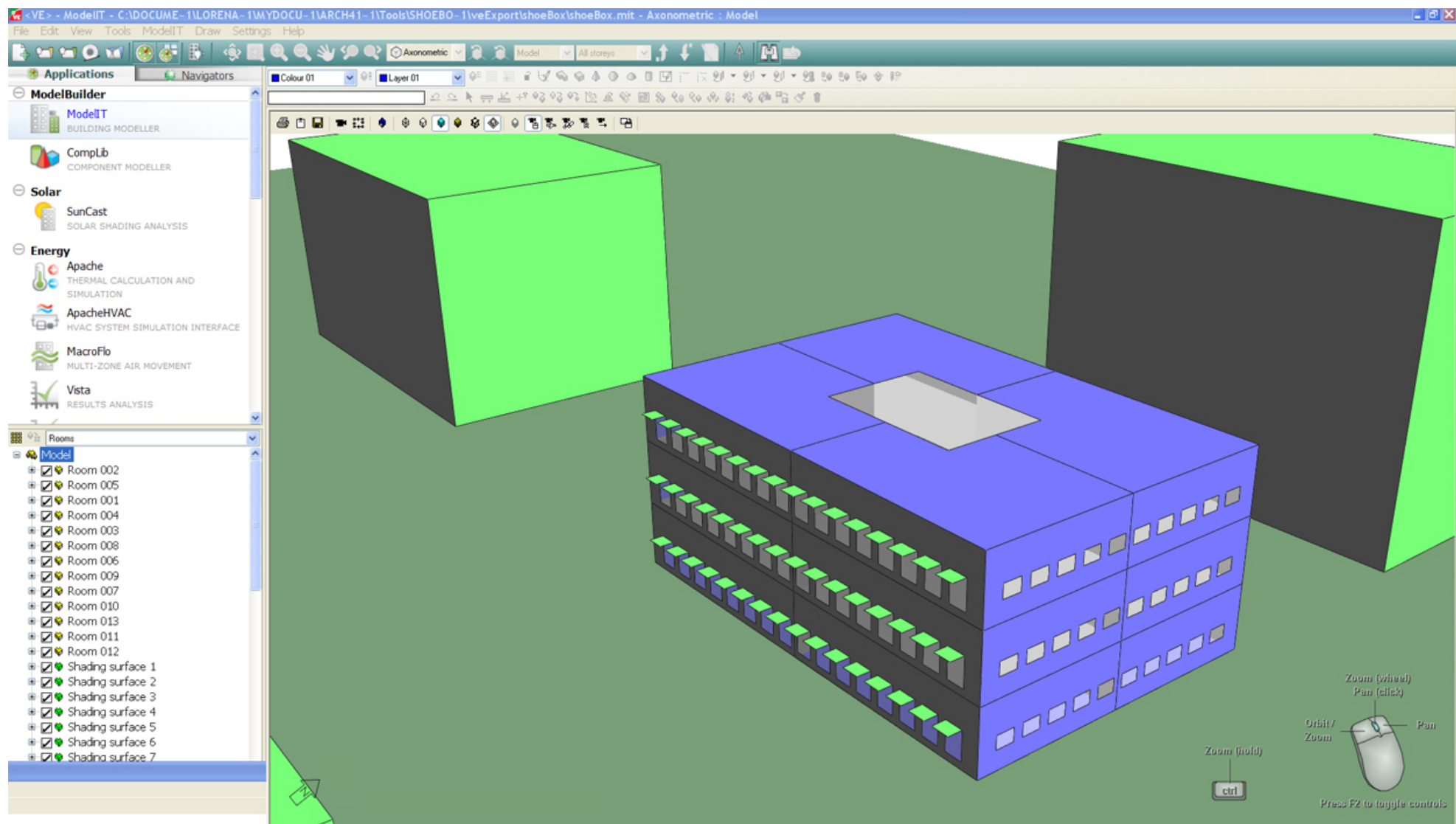


Figura 14. O programa IES Virtual Environment. FONTE: IES.

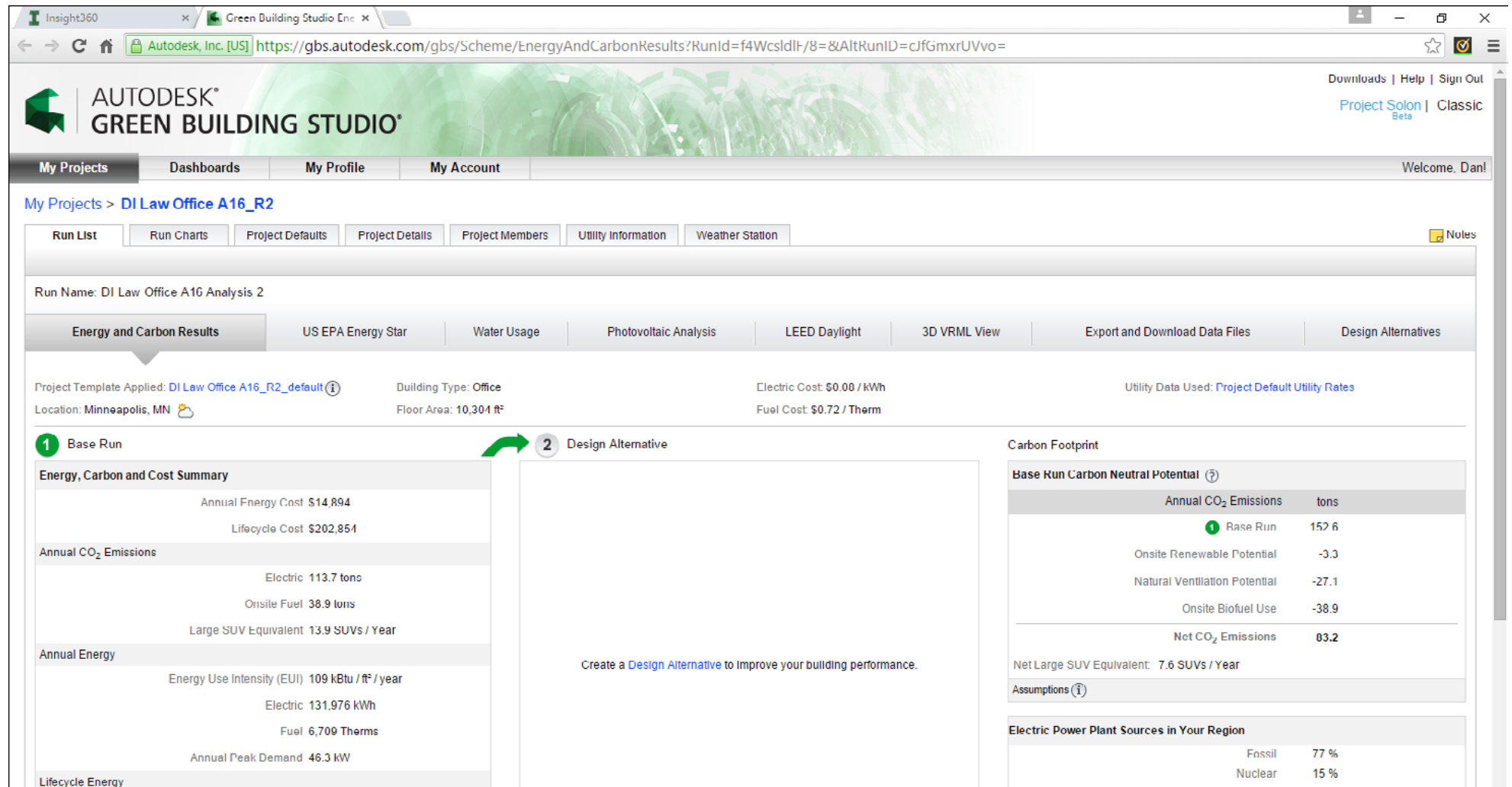


Figura 15. O programa *Green Building Studio*. Fonte: AUTODESK.

também pode ser utilizada para a análise energética de edificações (Figura 15). É possível verificar alternativas de orientação, sistema de iluminação e características dos materiais. Com relação à interoperabilidade, o programa *Green Building Studio* permite que o modelo de criação BIM seja integrado e adota informações da modelagem para a realização da análise energética por meio de programas de simulação como

o *EnergyPlus*. Por intermédio do *plugin* do *Green Building Studio* é possível realizar as simulações energéticas adotando um modelo do Revit ou com extensão gbXML. O programa *Green Building Studio* permite que os modelos sejam salvos em formato .idb para serem simulados no programa *EnergyPlus*.

O programa *AECOSim Energy Simulation* é uma ferramenta desenvolvida pela Bentley,

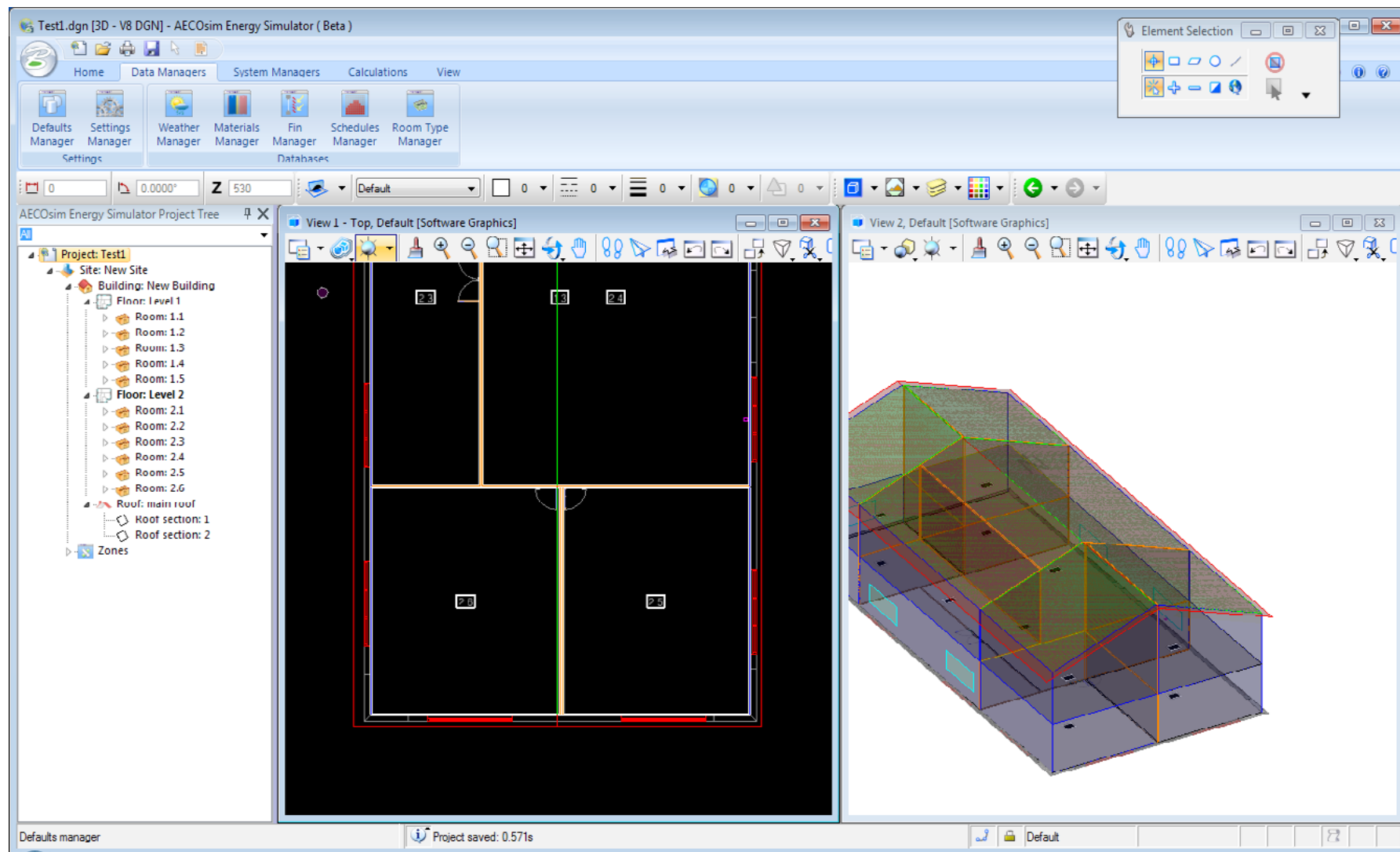


Figura 16. O programa AECOSim Energy Simulator. Fonte: BENTLEY.

apresentando também boas condições de interoperabilidade que permitem importar diferentes formatos de arquivo (Figura 16). Além da ferramenta ser capaz de analisar o desempenho energético da edificação, esta permite também que sejam analisadas

as emissões de carbono e custos energéticos. O programa *EnergyPlus* foi integrado no programa *AECOSim Energy Simulator*, possibilitando a geração de dados de saída em conformidade com a ASHRAE Standard 90.1.

4 BIM E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.1 ANÁLISE ENERGÉTICA NO BUILDING DESIGN PHASE

A modelagem energética exige experiência dos especialistas envolvidos no projeto para que a variabilidade entre o desempenho energético do modelo predito e do modelo real seja mínima.

A decisão com relação aos dados de entrada da edificação realizada na fase inicial de projeto tem apresentado o maior impacto no desempenho do edifício em termos de energia e sustentabilidade. Porém, nota-se que a análise energética raramente é realizada nessa fase, sendo avaliada somente na fase final de projeto para um cumprimento de normas de desempenho energético e não para maximizar a eficiência energética da construção.

A modelagem energética de uma edificação permite que sejam realizadas visualizações e estimativas prévias antes da geração de um modelo mais detalhado. O modelo de energia permite que sejam realizadas análises paramétricas no projeto, determinando o impacto e a influência das variáveis avaliadas no desempenho energético da edificação. Essas análises consistem na alteração de um único dado de entrada no modelo energético, permitindo verificar a performance da edificação e promovendo ajustes no projeto inicial. Dentre os dados de entrada modificados parametricamente, destacam-se: tipos de vidros, espessura do isolamento, eficiência do sistema de condicionamento de ar, estratégias de controle, entre outras. Com base nos resultados das modificações realizadas, a equipe de projeto pode selecionar a alternativa que proporcione melhoria na economia dos custos. Ou seja, a definição do modelo de energia na fase inicial de projeto otimiza o projeto proposto, realizando comparações energéticas para considerar os dados em que o consumo foi menor. O modelo BIM tem o objetivo de otimizar o projeto proposto para reduzir os custos do ciclo de vida da estrutura. Pode-se também fazer comparativos energéticos entre modelos, de forma a escolher o que irá consumir menor energia na sua fase de operação.

Os responsáveis pelo projeto devem definir a estratégia do uso da modelagem de energia o mais cedo possível. Observa-se que quanto antes forem consideradas as questões de desempenho energético, maiores serão os ganhos com a eficiência

energética e sustentabilidade. Os responsáveis pelo projeto devem trabalhar em conjunto para otimizar a troca de informações com os responsáveis pelo modelo de energia para que as questões sobre o desempenho energético possam ser úteis à equipe e, com isso, contribuam na orientação do projeto.

É importante que a equipe de projeto trabalhe desde o início do projeto com um especialista responsável pela modelagem energética e estabeleça quais são os requisitos de modelagem, para evitar que seja necessário corrigir erros de geometria na transferência do modelo de criação BIM para o modelo de energia.

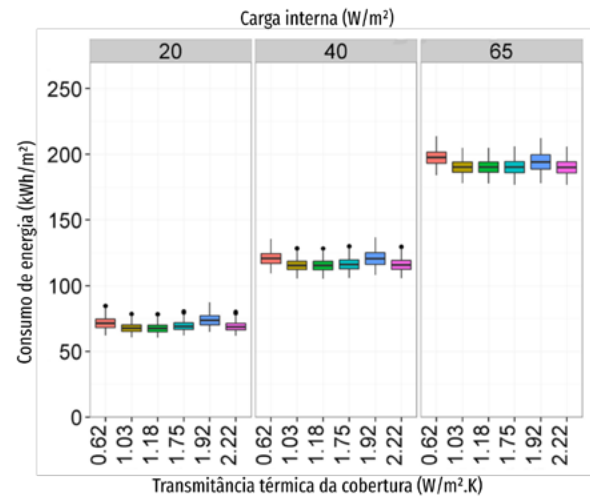
Mesmo que o modelo de energia na fase inicial seja mais simples, com muitos dados de entrada *default*, ele pode ser tão útil para a análise do desempenho energético quanto o mais detalhado. O modelo de energia na fase inicial permite observar como a escolha dos dados de entrada pode estar influenciando negativamente no desempenho energético da edificação.

A decisão do uso da análise energética na fase inicial de projeto garante que o modelo de criação BIM seja corretamente projetado e preenchido com as informações necessárias para a realização da simulação energética. A verificação dos modelos BIM antes de exportar para um programa que realize a análise energética é essencial para o êxito da simulação de energia. O desenvolvimento desse procedimento de verificação ainda está em fase inicial, porém vários esforços vêm sendo apresentados para garantir uma transferência efetiva de informações de um modelo BIM para um modelo de energia.

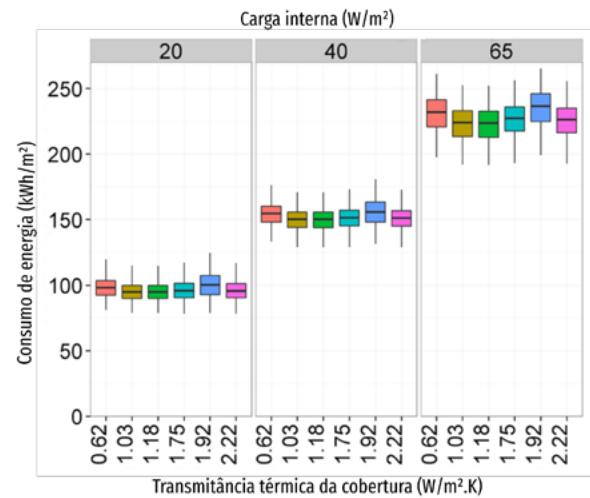
A Figura 17 apresenta uma análise do consumo de energia da edificação com relação ao valor de transmitância térmica da cobertura para diferentes valores de carga interna instalada. A análise permite que os projetistas analisem e adotem a melhor opção de *design* observada. Observa-se que tanto para cargas internas baixas ou altas, a cobertura com valor de transmitância 1,18 W/m²K foi a que apresentou o menor consumo de energia para o clima de Florianópolis. Para o clima de Salvador, os valores de transmitância térmica da cobertura que apresentaram os menores consumos de energia foram de 1,18 W/m²K e 2,22 W/m²K. Os valores de transmitância térmica mais baixos (com isolamento térmico) apresentaram os maiores valores de consumo de energia.

Na Figura 18, são observados os ganhos de calor com base nos elementos que compõem a edificação. Observa-se que no caso analisado, o uso do isolamento térmico reflete em ganhos de calor para a edificação e o clima analisado. O aumento do pico do sistema de resfriamento foi de 81 kW para 114 kW.

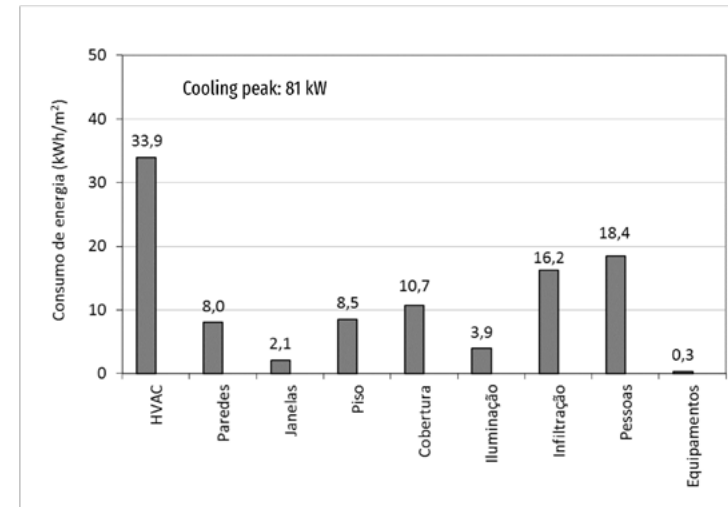
FLORIANÓPOLIS



SALVADOR



CURITIBA: sem o uso de isolamento térmico nos elementos construtivos



CURITIBA: com o uso de isolamento térmico nos elementos construtivos

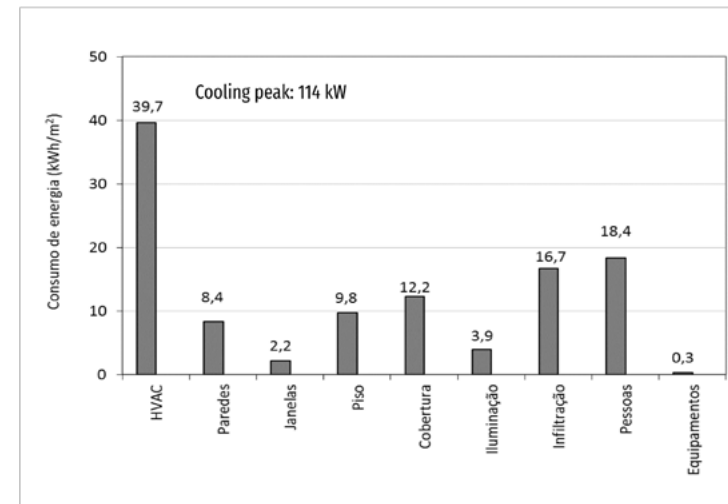


Figura 17. Influência da densidade de carga interna no consumo de energia da edificação.
Fonte: adaptado de Melo e Lamberts, 2015.

Figura 18. Influência do isolamento no consumo de energia da edificação.
Fonte: adaptado de Melo e Lamberts, 2015.

4.2 CUSTO-BENEFÍCIO DA ANÁLISE ENERGÉTICA

O crescimento econômico dos países, os custos crescentes da produção de energia, e a preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente refletem na preocupação com a necessidade de investimentos em medidas de eficiência energética, as quais têm como objetivo reduzir a quantidade de energia utilizada para atender a mesma demanda de serviço.

Nos últimos anos, muitos países vêm trabalhando para a busca de soluções eficientes energeticamente e econômicas para a prática de construção sustentável. Dentre as atividades, destaca-se o desenvolvimento de regulamentos e certificações de eficiência energética de edificações. Essa eficiência está diretamente relacionada com o custo-benefício, buscando obter o mínimo de desperdício através dos recursos obtidos.

O uso de modelos virtuais permite que os responsáveis pelo projeto avaliem se o investimento proporciona benefícios econômicos, sejam imediatos ou a longo prazo; ou seja, a redução do custo da edificação ao longo de sua vida útil.

A modelagem de energia também pode ser adotada para avaliar o retorno da medida de conservação de energia (*payback*), calculando as economias de energia operacional que se decorrentes do investimento de capital inicial.

Tabela 3 Análise do custo de implantação de medidas de eficiência energética.

Intervenção	Custo de implantação (R\$)	Economia de Energia elétrica (R\$)	Tempo de retorno do investimento (<i>Payback</i> simples)	Tempo de retorno do investimento (<i>Payback</i> composto)
VRF condensação a ar	Sistema: 1.478.400,00 Mão de Obra: 633.600,00	123.330,36	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos
Inverter Nível A	Sistema: 844.800,00 Mão de obra: 211.200,00	88.137,84	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos
Vidro Duplo (Controle solar + ar + laminado incolor)	Sistema: 1.318.200,00 Mão de obra: 1.500,00 (por peça) 600 m² (fachada nova)	31.959,14	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos
Vidro Duplo (LowE + ar + monolítico incolor)	Sistema: 1.240.200,00 Mão de obra: 1.500,00 (por peça) 600 m² (fachada nova)	23.468,57	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos
Modelo Composto 01: -Vidro: controle solar + ar + laminado incolor -HVAC: VRF -Painel fotovoltaico	4.315.600,00 (Sem mão de obra)	141.994,60	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos
Modelo proposto 2: -Vidro: controle solar + ar + laminado incolor -HVAC: Inverter Nível A -Painel fotovoltaico	3.682.00,00 (Sem mão de obra)	110.434,15	Superior a 10 anos	Superior a 10 anos

Fonte: adaptado de CEPEL, 2015.

Tabela 4. Retorno da medida de conservação de energia através da modelagem (valores em dólares americanos).

Projeto	Porcentagem de economia	Economia de custo (\$)	Payback (meses)
Edificações de escritórios	0,70%	122,876	2
Hotel	0,60%	233,791	1
Hospital	2,40%	3,300,000	1
Edificações de escritórios governamentais	3,30%	186	4
Edificações governamentais	1,10%	224,276	2
Instituto de energia	2,50%	169,432	7
Centro de pesquisa institucional	0,60%	340	3
Centro de justiça	0,80%	350	3

Fonte: The Shockingly Short Payback of Energy Modeling, <https://energy.gov/eere/buildings/articles/shockingly-short-payback-energy-modeling> , acesso em 18/09/2017.

Em um estudo realizado no Ministério de Minas e Energia (CEPEL, 2015), foi avaliada a possibilidade de transformar um dos prédios da Esplanada dos Ministérios, o do MME, em um edifício de energia zero. Após a calibração do modelo de simulação computacional, com base em levantamentos *in loco* e contas de energia elétrica, foram analisadas alternativas de *retrofit* visando ao aumento da eficiência energética da edificação:

- 1 utilização de vidros de alto desempenho;
- 2 uso de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes; e
- 3 uso de um painel fotovoltaico.

Todas as alternativas analisadas apresentam uma redução do consumo de energia com relação ao consumo do modelo base (real). Com base nos resultados encontrados, foi analisada a viabilidade de aplicação das alternativas que apresentaram uma maior redução de consumo com relação ao modelo base. Um resumo das medidas de eficiência energética e seus respectivos resultados de custo, economia e tempo de retorno é apresentado na Tabela 3. Pode-se observar que a aplicação modelo proposto 01 apresentou a maior economia de energia elétrica, seguido da aplicação do sistema de condicionamento de ar tipo “*Inverter*” com nível de eficiência A.

A modelagem de energia também pode ser vista como um retorno da medida de conservação de energia, com um custo inicial durante o projeto que leva à economia operacional. Ao longo de alguns anos, a empresa HOK¹⁵ levantou os custos de modelagem e as economias de energia previstas de acordo com uma quantidade de projetos da empresa. A Tabela 4 apresenta algumas tipologias de edificações observadas e o tempo de retorno de modelagem de energia. A porcentagem de economia depende do tipo de edificação analisada. De acordo com análise, as edificações que apresentaram as maiores porcentagens de economia foram as edificações de escritórios governamentais, instituto de energia e hospitais.

15 <https://energy.gov/eere/buildings/articles/shockingly-short-payback-energy-modeling> Acesso em 31/08/2017.

4.3 INTEROPERABILIDADE ENTRE AS FERRAMENTAS BIM

O desenvolvimento de projetos aborda a participação de diferentes equipes em diferentes fases do projeto. O BIM facilita a colaboração entre os envolvidos no projeto, porém nem sempre as ferramentas utilizadas atendem as mesmas necessidades. Cada tipo de informação necessita de um software específico para dar suporte ao trabalho, ocasionando o surgimento de diferentes ferramentas computacionais. No entanto, muitas destas ferramentas não apresentam uma comunicação entre si, havendo a necessidade de aplicação contínua do conceito de interoperabilidade, que surge com o objetivo de eliminar a necessidade de replicar a execução de determinadas tarefas, buscando um melhor fluxo de trabalho.

A criação do modelo BIM possui dados que são coordenados, sendo possível observar em todas as vistas a mudança de qualquer componente por todos os envolvidos no projeto. Ademais, apresenta as informações inseridas em todas as fases do projeto, reduzindo a ocorrência de erros e retrabalho.

O aumento do uso das ferramentas BIM faz com que a interoperabilidade ganhe mais atenção. A falta de interoperabilidade prejudica a qualidade das soluções encontradas, diferença nos protocolos e rotinas, tornando-se um problema na era do desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, existem diferentes aplicações baseadas em soluções proprietárias de modelagem de geometria, impossibilitando a interoperabilidade entre as diferentes aplicações dessas ferramentas.

O *Industry Foundation Classes* (IFC) foi desenvolvido para ser um formato neutro, capaz de armazenar dados de informações e possibilitar o compartilhamento a fim de atender informações ao longo do ciclo de vida da edificação. O IFC oferece definições dos objetos e dados, atendendo todas as informações ao longo das etapas da construção. Também permite que sejam inseridas novas características no elemento, porém o usuário da ferramenta de análise energética deve ficar atento, pois nem sempre a ferramenta consegue ler os novos dados inseridos.

O IFC atende as necessidades dos usuários de BIM, sendo capaz de representar grande parte das informações de projeto. Além disso, permite que os dados da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção possam ser disponibilizados, evitando o risco

de erros e perdas de informação. No entanto, é preciso que todos os tipos de dados adotados no projeto sejam convertidos para a linguagem utilizada na tarefa em questão para evitar o trabalho com dados distintos e contraditórios. Os responsáveis pelo projeto devem introduzir as propriedades específicas dos elementos para caracterizar o objeto de acordo com a sua funcionalidade, evitando risco de erros no projeto. Nos últimos anos, o IFC está sendo utilizado por um número crescente de usuários. O objetivo dos modelos de dados IFC é que este continue evoluindo com base no desenvolvimento de extensões e que seu uso seja crescente na prática dos projetistas e dos construtores.

Algumas empresas vêm buscando a interação entre os diferentes programas no mercado da Construção Civil, com o objetivo de reduzir os problemas das equipes que realizam atividades distintas. Um dos caminhos para intercambiar os dados, que está sendo muito utilizada, é a XML (*eXtensible Markup Language*), que é extensão do HTML. Dentre as estruturas desenvolvidas encontra-se o gbXML (*Green Building XML*), que permite a transferência de informações necessárias para análises preliminares de energia de envelopes da edificação, zonas e simulação de equipamentos mecânicos. O gbXML tem se tornado um esquema padrão na indústria para a interoperabilidade entre programas BIM e de simulação energética. A extensão foi publicada em junho de 2000 pela *Green Building Studio* e atualmente tem o apoio das grandes indústrias de softwares. O gbXML transfere as informações necessárias para os programas de análise energética sem o risco da perda das informações do modelo BIM, eliminando a necessidade de revisão do modelo.

Destaca-se que a transferência de informações de uma ferramenta de criação BIM para um programa de simulação energética é um processo unidirecional (Figura 20). As ferramentas de simulação energética não possuem a capacidade de transferir as alterações do modelo de energia para ferramenta de criação. Qualquer alteração necessária no modelo de simulação de energia deve ser realizada no aplicativo de projeto em BIM.

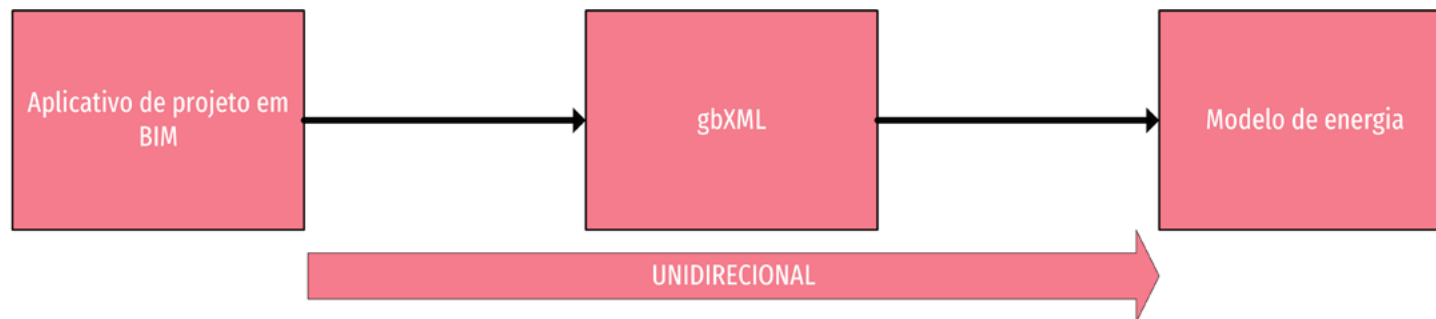


Figura 19. Transferência de informações – aplicativo de projeto em BIM para o modelo de energia. Fonte: GDP.

4.4 O FUTURO

A busca pela sustentabilidade em edificações inicia-se pela prática da concepção, construção e manutenção para que o impacto ambiental seja minimizado e, com isso, reduza a quantidade de energia que a edificação consome ao longo da sua vida útil. A tendência da utilização de modelos BIM vem aumentando nos últimos anos, pois permite elevar a qualidade do desempenho do projeto, por meio de: visualização antecipada e mais precisa; colaboração antecipada entre diferentes disciplinas do projeto; descoberta de erros de projeto e omissões antes da construção; e decisão de projetos com mais informações à disposição. Estas vantagens permitem reduzir os erros e problemas que estão associados com as práticas tradicionais e tornam-se um requisito-base para qualquer profissional nas áreas da construção. A coraço de êxito nos resultados vai se dar com a efetiva melhoria da eficiência energética da Edificação. A análise energética com base em modelos BIM vem ganhando reconhecimento no mundo. A melhoria no desempenho energético de edificações vem surgindo como prioridade nas próximas décadas. A integração do BIM com a análise energética permite a redução de recursos, esforços e a minimização da ocorrência de erros para a otimização do desempenho energético da edificação. No entanto, nota-se a existência de limitações e desafios que devem ser superados para a disseminação da aplicação da análise energética com base em modelos BIM. Dentre algumas

limitações destacam-se a necessidade de elaborar um modelo de energia, não havendo a possibilidade de utilizar o mesmo modelo de arquitetura; a necessidade da checagem dos dados transferidos do modelo de arquitetura para o modelo de energia; a questão da interoperabilidade e da análise integrada dos softwares, fazendo com que os responsáveis pelo projeto verifiquem com antecedência quais as ferramentas devem ser adotadas; e a questão da propriedade intelectual do modelo de arquitetura.

O desenvolvimento do modelo de energia baseia-se no levantamento de dados, com base em documentação, que são necessários para a análise, como a geometria do projeto, sistemas e padrões de uso. O responsável pela elaboração do modelo de energia muitas vezes tem que simplificar as informações da edificação para que o modelo se torne gerenciável, o que pode levar a sérias inconsistências. Em contraste, a modelagem BIM pode elaborar o arquivo de entrada para o programa de análise energética, adotando dados padronizados para a troca de informações. Os modelos BIM permitem descrever com precisão os espaços e zonas que são adotados no modelo de energia. Além disso, permitem que a geometria e outras considerações do projeto arquitetônico permaneçam consistentes. No entanto, a precisão da transferência de informações do modelo BIM para o modelo de energia deve ser assegurada.

Os responsáveis pelo projeto acreditam no potencial do processo de exportação de dados do modelo BIM para as ferramentas de análise de energia, porém buscam uma melhora no compartilhamento adequado entre os modelos. Uma questão fundamental para impulsionar o uso de BIM é a interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas pelos envolvidos no projeto para evitar a inconsistência de informações na exportação do modelo BIM para o modelo de energia. A interação entre as diferentes ferramentas e processos torna-se necessária para o ganho de tempo e o aproveitamento das análises de desempenho energético.

O avanço das ferramentas BIM fez com que o uso da interoperabilidade entre os projetistas fosse necessário, permitindo que diferentes ferramentas combinassem diferentes modelos. Através do desenvolvimento do modelo *Industry Foundation Classes* (IFC) e de formatos de extensão baseados em XML, foi possível realizar a troca de dados entre diferentes disciplinas envolvidas no projeto, aperfeiçoando a produtividade e a troca de informações. No entanto, é importante destacar a necessidade dos responsáveis pela Construção Civil em adicionar as propriedades dos elementos.

O potencial do BIM no desenvolvimento de um projeto sustentável vai depender não somente da tecnologia aplicada, como também da integração e colaboração entre as equipes especializadas. O desenvolvimento de edificações eficientes garante economia energética e conforto para os seus usuários. Com informações mais precisas, pode-se realizar um processo para a definição do projeto com a ajuda da simulação computacional, a qual permite otimizar o desempenho energético em todas as fases da edificação. Com base no modelo de energia virtual, que deve apresentar um desempenho muito próximo ao do modelo real, os responsáveis pelo projeto podem realizar a manutenção e operação do edifício. As influências das medidas de eficiência energética podem ser avaliadas através da comparação entre o modelo virtual atual e o modelo com a medida de eficiência proposta visando à otimização do desempenho da edificação. Todas as alterações devem ser inseridas no modelo virtual, permitindo controlar melhor os padrões de consumo de energia.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 - **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho**, Rio de Janeiro, 2013.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1-2010. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2010.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE Standard 55-2013. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2013.

BRASIL. **Decreto de 8 de dezembro de 1993. Dispõe sobre a criação do Selo Verde de eficiência energética**. Brasília, DF, 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/Anterior%20a%202000/1993/Dnn1931.htm. Acesso em: 15 de abril de 2017.

BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm. Acesso em: 21 de março de 2017.

BRASIL. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília, DF, 2001b. Disponível

em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm . Acesso em: 21 de março de 2017.

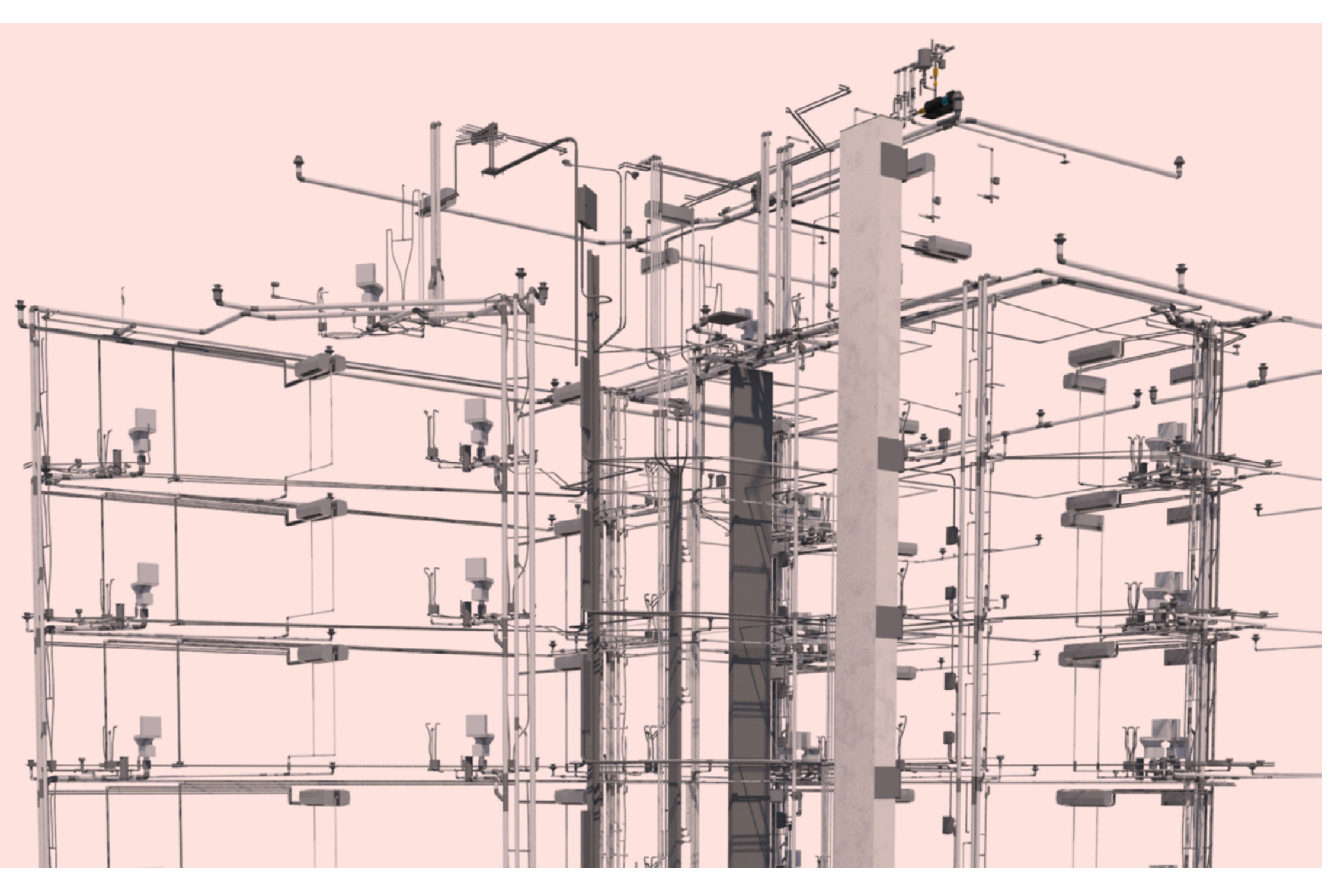
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL. **Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas**, 2015. 240p.

HENSEN, J.L.M; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation**. New York, NYC. 535p. 2011.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 299, de 19 de junho de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/RTAC001982-portariacomplementar299.pdf> . Acesso em: 01 de março de 2017.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf> . Acesso em: 22 de setembro 2014.

MELO, A.P., LAMBERTS, R. **Is thermal insulation always beneficial in hot climate? In: Building Simulation**, 2015, India. Proceedings...India: IBPSA, 2015. p.1353-1360.





GUIA 5

Avaliação de desempenho energético em projetos BIM

Diretrizes e requisitos para o
desenvolvimento de modelos e
simulações de desempenho energético
para projetos desenvolvidos sobre
plataforma BIM