

State of the art of the main simulation software used in the energy analysis of buildings

Estado da arte dos principais softwares de simulação utilizados na análise de energia de edifícios

Alessandra dos Santos Ribeiro; alessandraribeiro_rj@hotmail.com

UFF - Universidade Federal Fluminense

João Carlos Gonçalves Lanzinha - jcgl@ubi.pt

UBI - Universidade da Beira Interior

Assed Naked Haddad - assed@poli.ufrj.br

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Marcos Vinicius de Jesus Faria - mvjfaria@gmail.com

UFF Universidade Federal Fluminense

Abstract

With the oil crisis in the early 1970s, there was great concern about the rational use of energy and the environmental issue. Efforts to diversify the energy matrix had as one of the objectives to mitigate the impacts of the extraction and use of fossil fuels on the environment. In this concept of rational use of energy and in the environmental issue, buildings can make an important contribution, since they are responsible for a significant portion of the consumption of electric energy and the production of construction waste. Computational tools are used by engineers and architects to analyze the complex phenomena that occur in a building and that influence its energy consumption. Being that, through the simulation of the thermal load and the energy consumption of a building, it is possible to suggest design alternatives to increase its energy efficiency. This work aims at acquiring and sharing information about some simulation software that can aid in the energy analysis of buildings, allowing the elaboration of sustainable and efficient projects.

Resumo

Com a crise do petróleo no início da década de 70, houve uma grande preocupação com o uso racional de energia e com a questão ambiental. Os esforços em se diversificar a matriz energética tinham como um dos objetivos mitigar os impactos que a extração e o uso dos combustíveis fósseis causavam ao meio ambiente. Neste conceito do uso racional de energia e na questão ambiental, as edificações podem dar uma importante contribuição, pois elas são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica e da produção de resíduos de construção. Ferramentas computacionais são utilizadas por engenheiros e arquitetos para analisar os complexos fenômenos que ocorrem em uma edificação e que influenciam seu consumo energético. Sendo que, através da simulação da carga térmica e do consumo energético de uma edificação, é possível sugerir alternativas de projeto para aumentar sua eficiência energética.

Keywords

Simulation; Energy Efficiency; Buildings



Estado da arte dos principais softwares de simulação utilizados na análise de energia de edifícios.

1. Introdução

Após a crise do petróleo, ocorrida na década de 70, diversos países direcionaram recursos para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas energéticos mais eficientes, dispensando especial atenção à eficiência energética das edificações, setor responsável por uma parcela significativa do consumo global de energia. Os Estados Unidos e diversos países da Europa, que tinham no petróleo grande dependência energética, financiaram iniciativas que promoveram o desenvolvimento de edificações mais eficientes. Estas pesquisas deram início à criação das primeiras normas técnicas e legislações específicas, tratando exclusivamente do desempenho térmico e eficiência energética de edifícios [1].

Avaliações experimentais das opções de aumento de eficiência energética de edificações são caras e demoradas, tornando-se muitas vezes inviáveis. Desta forma, engenheiros e arquitetos fazem uso de ferramentas computacionais para simular o comportamento energético da edificação. Ao fornecer informações sobre a edificação como geometria, orientação solar, cronograma de uso, materiais de construção e características climáticas da localidade, o usuário dessas ferramentas de simulação é capaz de verificar como as alternativas de projeto da edificação afetam seu desempenho energético, podendo optar por projetos mais eficientes com menor impacto ambiental e de menor custo operacional. Portanto, é de grande interesse econômico e ambiental que ferramentas computacionais de simulação energética de edificações sejam divulgadas e utilizadas nas etapas de construção e também de operação de uma edificação.

Deste modo, o presente trabalho, tem por objetivo apresentar informações sobre os principais softwares de simulação que podem auxiliar na análise energética de edificações possibilitando a elaboração de projetos sustentáveis e eficientes.

A escolha dos softwares foi baseada no estudo feito por Nguyen, Reiter e Rigo [2], que recomendou EnergyPlus, TRNSYS, DOE-2, ESP-r e EQuest como os principais representantes do enfoque do trabalho e na pesquisa bibliográfica que apresentou os softwares OpenStudio, DesignBuilder, Trace700 e BSim. Destaca-se a ausência do ECOTECH, pois após sua compra pela Autodesk, o mesmo teve sua licença descontinuada em 20 de março de 2015.

2. Ferramentas de simulação computacional

Estudos do uso de energia em edifícios são complexos e exigem interface de várias áreas do conhecimento. Para que se obtenha um edifício eficiente não basta somente que o projeto seja eficiente, mas que haja uma integração entre edifício, sistemas, usuário e clima conforme mostrado na Figura 1. A multidisciplinaridade que envolve a simulação computacional abrange uma série de áreas profissionais cujo entendimento é necessário para modelar-se de forma adequada o comportamento do edifício.

Pela simulação pode-se estimar o consumo de uma edificação a partir da definição de suas características arquitetônicas, propriedades físicas dos materiais construtivos, cargas internas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação [3].

Silva [4] exemplifica uma simulação energética com base numa metodologia de três passos. Primeiro é necessário criar o modelo no programa, introduzir os vários dados que definem o edifício, como é o caso da sua geometria, dimensões e constituição. Em segundo o programa corre a simulação calculando o proposto pelo utilizador, tendo em conta um ficheiro de dados climáticos proposto pelo mesmo. Por último, analisam-se os resultados e tiram-se as conclusões, elaborando, se for o caso, análises de sensibilidade das várias variáveis inerentes ao edifício.

Malkawi e Augenbroe [5] afirmam que a simulação é responsável por acelerar o processo de concepção do projeto ao permitir análise de diferentes soluções.



Figura 1: Interações dinâmicas de sub-sistemas de edifícios (Fonte: Adaptado de Hensen e Lamberts 2011 [6])

A modelagem por computador de edifícios é agora uma atividade comum devido às muitas vantagens que oferece. Entre outras coisas, permite que o impacto ambiental de diferentes projetos de construção seja estudado, permitindo assim que as melhorias sejam feitas e as emissões de dióxido de carbono sejam minimizadas.

3. Legislação em Eficiência Energética: Enquadramento da necessidade do uso das ferramentas de simulação

A contribuição do setor dos edifícios para o consumo global de energia tem vindo a aumentar representando cerca de 40% do consumo total de energia na União Europeia (UE) [7]. Em Portugal, de acordo com os dados dos últimos balanços energéticos da Direção Geral de Energia e Geologia, o setor dos edifícios é responsável por cerca de 30% do consumo de energia final e cerca de 62% do consumo de energia elétrica [8].

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a Standard 90 - Energy Conservation in New Building Design e a norma californiana Title 24 de 1978 [9].

A certificação energética de edifícios está sendo realizada mundialmente, através de códigos e normas desenvolvidos por diversos países [10] apud [11].

Na Europa, por exemplo, em dezembro de 2002 foi aprovada pela União Europeia a Diretiva 2002/91/CE, Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), numa tentativa de integrar ações, no que diz respeito ao desempenho energético de edifícios.

Através da atualização da EPBD, com a publicação da Diretiva nº 2010/361/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, o Estado promoveu, com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios.

Esta nova diretiva veio esclarecer e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. Aumentar a eficiência energética na União Europeia com o objetivo de economizar 20 % do consumo de energia primária até 2020, exigindo que, o mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (os vulgarmente designados por “nearly zero energy buildings” - NZEB). Além disso, devem desenvolver políticas e tomar medidas, para incentivar a transformação de todos os edifícios remodelados em edifícios com necessidades quase nulas de energia [12].

No escopo técnico das certificações, as ferramentas de simulação computacional ajudam a encontrar soluções de desempenho térmico, eficiência energética, otimização de sistemas, sendo uma boa prática no mercado de edificações [13] apud [11].

Um dos regulamentos mais relevantes é a Norma 90.1 da ASHRAE (2016) [14], que contém um método de simulação para seus requisitos mínimos, cujo cumprimento é obrigatório, e outro



método informativo, em seu apêndice G, para obtenção de economias acima do mínimo exigido pela norma.

3.1. Em Portugal

Pinto [15] relata que em 1985 foram publicadas regras de qualidade térmica de edifícios, dirigidas a edifícios públicos pela Comissão de Estudos de Gestão de Energia nos Edifícios (CEGENE), criada no âmbito do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (CSOPT). A partir destas regras de qualidade, em 1990 foi lançado pelo governo português o primeiro regulamento térmico através do Decreto-Lei n.º40/90 - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - que impôs requisitos térmicos mínimos para a envolvente na edificação. Este regulamento tinha como objetivo a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios reduzindo necessidades de energia e ao mesmo tempo visava garantir a minimização de patologias resultantes dos fenômenos de condensações superficiais e internas nos elementos da envolvente do edifício [16] apud [15].

Um segundo regulamento nomeado por Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) surgiu em 7 de maio de 1998 com o Decreto-Lei n.º118/98, com o intuito de estabelecer regras no dimensionamento e instalação de sistemas energéticos de climatização em edifícios [12], contudo, apesar da tentativa de reduzir os consumos energéticos com base no RCCTE e RSECE, o consumo de energia por parte dos edifícios não era satisfatório [15].

Segundo Pinto (2015) [15], em adaptação da Diretiva Europeia 2002/91/CE (EPBD) para a realidade portuguesa, foram publicados em abril de 2006, o Decreto-Lei n.º 78/2006 que formula o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Decreto-Lei n.º 79/2006 que cria o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 80/2006 que estabelece Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) .

Em revisão da Diretiva 2002/91/CE, a comissão europeia aprovou a Diretiva 2010/31/UE, e com isto, para implantar a nova Diretiva para no território português, surgiu o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, que engloba num só documento o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS) [15].

A implantação em Portugal introduziu novas metodologias e requisitos mais exigentes de eficiência energética nos edifícios, com o claro objetivo de convergir para edifícios NZEB, estimulando os sistemas passivos através dos requisitos de qualidade térmica da envolvente, exigir a instalação de sistemas técnicos mais eficientes e estimulando o recurso a fontes de energia renovável produzidas no próprio edifício [12].

3.2. No Brasil

Até 2001, não havia lei ou norma de eficiência energética em edificações no Brasil. A primeira lei referente à eficiência energética surgiu após um racionamento de energia: a Lei n.º 10295 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e foi regulamentada pelo Decreto n.º 4059 de 19 de dezembro de 2001 que estabeleceu que deveriam ser criados “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas”. Indicou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país. A partir do decreto foi criado um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica [17].

Uma das conseqüências da Lei n.º10295 e do Decreto n.º4059 [18] foi o fortalecimento do Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que organizou a estrutura necessária para viabilizar as exigências do decreto. Em sua vertente que trata especificamente das edificações, o PROCEL-EDIFICA, desenvolveu o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e



Públicos - RTQ-C [19] e para Edifícios Residenciais - RTQ-R [20]. O Brasil possui dois métodos para a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais por simulação computacional [11].

O primeiro método está no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais [20] ou RTQ-R. O mesmo foi elaborado tendo em vista a criação de um referencial brasileiro para promover eficiência energética nesse tipo de edificações, por meio de um consenso entre o Procel Edifica, da Eletrobrás, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), do Inmetro.

O segundo método está na norma de desempenho para edificações, a NBR 15575-1 [21], que trata, além de outros temas, do desempenho térmico.

A Parte 1 da NBR 15575 [21] orienta a utilização do programa computacional EnergyPlus para a análise do desempenho térmico de edificações. Quando não for utilizado, o programa a ser empregado deve ser validado por uma norma do Instituto Americano de Normas (American National Standards Institute - ANSI) em parceria com a Associação Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE), a norma ASHRAE Standard 140 [22].

4. Visão geral dos programas:

Ainda no final da década de 1970, surgiram softwares com características diferenciadas, em que as trocas térmicas do edifício com o exterior passaram a receber tratamento adequado, gerando resultados confiáveis [23].

Entre estes softwares pode-se citar a criação do programa de simulação NBSLD, um dos primeiros programas de simulação térmica de edifícios. Em seguida foram desenvolvidas ferramentas como o DOE-2 e o BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics), no final de 1970 e início de 1980, respectivamente, como ferramentas de simulação energética e de carga térmica. A intenção inicial destes softwares era que projetistas fossem capazes de dimensionar adequadamente o sistema de ar-condicionado [24].

Em seguida será apresentado os principais softwares de simulação utilizados pela comunidade.

4.1. EnergyPlus:

É uma das ferramentas atualmente mais completas no que diz respeito à simulação de carga térmica e análise energética de edifícios e ambientes, desenvolveu-se à medida que crescia a percepção da necessidade de ter um programa que assegurasse soluções integradas que incluíssem não só o cálculo de cargas térmicas mas também um estudo mais detalhado do impacto dos sistemas de climatização e ventilação nos consumos energéticos totais de um edifício. Possui intervalos de tempo para análise (time-step) menores do que uma hora, simula em módulos o ar-condicionado baseado em múltiplas zonas de fluxos de ar e até sistemas fotovoltaicos. Forma a base analítica para padrões de eficiência energética, como o ASHRAE 90.1 e para produtos de análise de energia gratuitos e comerciais [25].

Experiência exigida: Para utilizar o software, são necessários conhecimentos básicos de física e de propriedades de materiais de construção.

Entrada: As entradas se dão através de arquivos de texto ASCII estruturados. O EnergyPlus vem com IDF-Editor, um assistente que facilita a criação de modelos simples e executa verificações de consistência de entrada.

Saída: O EnergyPlus produz resultados resumidos e detalhados em formatos de texto. Da mesma maneira que a entrada, o EnergyPlus vem com um utilitário de visualização de saída simples, o EP-Compare, que verifica a consistência da saída.

Limitações: Como inconveniente cita-se o fato de ainda não possuir uma interface gráfica que facilite a sua utilização, sendo necessária a utilização de outros softwares como DesignBuilder, OpenStudio, para importação e exportação de dados.



4.1.1. OpenStudio:

O OpenStudio é um programa computacional, que possui uma coleção de ferramentas para a modelagem energética de edificações, fornece suporte aos modelos de simulação do EnergyPlus e realiza análise de luz natural avançada.

O OpenStudio inclui o Google Sketchup e pode ser usado efetivamente para editar a geometria do edifício, adicionar ganhos internos, atribuir controles de luz do dia, definir condições de limite de superfície, etc [26].

Experiência exigida: Tal como acontece com todos os programas de simulação de energia, conhecimentos de física do edifício e fundamentos de engenharia mecânica são úteis para utilização do software.

4.1.2. DesignBuilder:

Consiste em um conjunto integrado de ferramentas de alta produtividade para auxiliar na integração de sistemas mecânicos no projeto de edifícios sustentáveis. Vários cenários de design para sistemas e controles HVAC, fachadas, iluminação e tecnologias renováveis podem ser avaliados com relativa facilidade.

O software DesignBuilder funciona como uma interface gráfica para o EnergyPlus, possibilitando uma rápida e fácil introdução de geometrias e disponibilizando um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

O programa permite: modelar vários edifícios numa só simulação, fazer mudanças nas características do edifício a vários níveis de detalhamento e importar ficheiros de CAD para auxiliar na criação das geometrias 3D [27].

Experiência exigida: Para utilizar o programa não necessita de nenhum conhecimento específico.

Limitações: Quando interface gráfica do EnergyPlus, apresenta uma pequena quantidade de sistemas HVAC comuns.

4.2. TRNSYS:

Um programa de simulação de energia cuja abordagem de sistema modular o torna uma das ferramentas mais flexíveis disponíveis. TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation Program) inclui uma interface gráfica, um mecanismo de simulação e uma biblioteca com componentes que variam desde vários modelos de construção para equipamentos HVAC padrão até componentes para energia renovável e tecnologias emergentes. O TRNSYS também inclui um método para criar novos componentes que não existem no pacote padrão [28].

Experiência exigida: Nenhuma para usar o pacote padrão, porém, para desenvolvimento de novos componentes, o conhecimento de FORTRAN será útil.

Entrada: O arquivo de entrada inclui a descrição do edifício, as características dos componentes do sistema, a maneira como os componentes estão interligados e os dados meteorológicos separados (fornecidos com o programa).

Saída: Os dados de saída podem ser custos do ciclo de vida; resumos mensais; resultados anuais; histogramas; planejamento das variáveis desejadas (por unidade de tempo).

Limitações: Não fornece informações detalhadas sobre o edifício, o que pode dificultar a percepção de possíveis erros no modelo.

4.3. DOE-2:

O DOE-2 é um programa de análise de energia de construção, gratuito, amplamente utilizado e aceito, que pode prever o uso de energia e o consumo de qualquer tipo de edifício [29].

Entrada: O usuário deve fornecer uma descrição do layout do edifício, maneira de uso, sistemas de condicionamento (iluminação, HVAC, etc.) e taxas de utilidade juntamente com dados do tempo.



Saída: Após realizar uma simulação horária do prédio, o programa fornece um relatório com o consumo horário de energia e com o custo atrelado a esse consumo.

4.4. ESP-r:

O ESP-r - Environmental System Performance Research, trata-se de um software de simulação que procura simular um edifício em condições reais, analisando o seu desempenho em termos de consumos energéticos, conforto dos ocupantes, qualidade do ar, controle de sistemas.

O seu principal objetivo é simular um modelo, o mais próximo possível da realidade, através de simulação dinâmica dispondo para isso de modelos matemáticos que permitem simular a transferência de calor, fluxo de ar, iluminação, sistemas de controle e uma variedade de tecnologias energéticas convencionais e renováveis [26]. Dispõe de uma base de dados, que permite gerenciar todos os modelos de componentes dos sistemas, existindo sempre a possibilidade de o utilizador criar e adicionar os seus próprios modelos, no entanto, esta é uma tarefa nem sempre fácil [26].

Experiência exigida: Por destinar-se principalmente a pesquisadores e projetistas que desejam realizar estudos detalhados, requer que o usuário tenha uma boa compreensão de física do edifício.

Limitações: Por ser uma ferramenta muito abrangente, tem sido muito utilizada em pesquisas no meio acadêmico, tornando difícil sua utilização pelo usuário comum.

4.5. EQuest:

O eQUEST é uma ferramenta de simulação de desempenho de energia amplamente utilizada. Através de seus ficheiros, padrões dinâmicos, gráficos interativos, análises paramétricas e execução rápida, é capaz de realizar análises em várias etapas do projeto [30].

Experiência exigida: Para o uso baseado no assistente, praticamente nenhuma experiência com análise de energia é necessária. Para usar a Interface Detalhada do eQUEST, no entanto, o conhecimento da tecnologia de construção é necessário. A experiência com outras ferramentas de simulação de análise de energia, especialmente ferramentas baseadas em DOE-2, é útil.

Entrada: Os insumos podem ser fornecidos em três níveis: assistente de design esquemático, assistente de desenvolvimento de design e interface detalhada (DOE-2).

Saída: Os relatórios gráficos fornecem um resumo de resultados de uma única execução, um resumo de resultados comparativos (compara resultados de múltiplas execuções de simulação de construção separadas) e relatórios tabulares paramétricos. O resultado adicional inclui resultados de simulação por hora.

Limitações: As funções personalizadas no DOE-2.1E ainda não foram disponibilizadas no eQUEST.

4.6. TRACE 700

O Trane Air Conditioning Economics, TRACE, é um programa de cálculo de cargas térmicas que tem como principais objetivos permitir aos projetistas de HVAC estimar as cargas máximas de um edifício e as zonas onde ocorriam dentro do mesmo em fase de projeto e permitir efetuar análises econômicas aos custos envolvidos com a instalação do sistema ao longo da sua vida útil de operação [31].

Experiência exigida: Conhecimento geral dos princípios de engenharia da HVAC e da geometria do edifício.

Entrada: Parâmetros de projeto de construção e características de distribuição de ar.

Saída: Relatórios de resumo mensais / anuais e análises horárias do sistema de resfriamento/aquecimento com suas cargas máximas.



4.7. Bsim

É uma ferramenta para análise de edifícios e instalações voltada para simulação e cálculo de consumo de energia, condições de luz do dia, transporte de umidade, cálculo de ventilação natural e produção elétrica de sistemas fotovoltaicos integrados. Hoje, BSim é a ferramenta mais utilizada na Dinamarca, e com crescente interesse no exterior, para o projeto de energia de edifícios.

Experiência exigida: Os usuários devem ter algum conhecimento sobre projeto de construção e de como os edifícios se comportam termicamente, para criar o modelo de construção.

Entrada: O SimView é a interface gráfica do usuário de vários aplicativos incluídos no pacote do programa e no editor do modelo gráfico. O SimView é usado para criar e definir recursos e propriedades do edifício, como geometria, construções, materiais e instalações. O SimDXF (ferramenta incluída) pode ser usado para criar uma geometria espacial a partir de um desenho de plano CAD salvo no formato DXF. Isso permite que os desenhos CAD sejam utilizados como base para o estabelecimento da geometria do modelo complexo no BSim. O modelo é mostrado simultaneamente como um desenho 3D, um plano de chão e duas seções. Além disso, uma estrutura de árvore hierárquica é mostrada à esquerda da tela, permitindo ao usuário acessar e editar partes individuais do modelo de construção.

Saída: O usuário pode definir qualquer um dos parâmetros calculados para sair em base horária, em forma tabular ou gráfica. As variáveis também podem ser apresentadas em gráficos ou tabelas "soma" dos balanços de energia de cada zona ou de todo o edifício analisado. Todos os resultados podem ser facilmente exportados para Excel ou similar para processamento posterior.

Limitações: Não consegue fazer múltiplas simulações de maneira simultânea.

O quadro 1 apresenta uma síntese comparativa entre os principais softwares estudados na pesquisa, levando em consideração critérios que podem auxiliar os usuários na sua escolha. Por exemplo a etapa de projeto em que a ferramenta normalmente é utilizada e o tipo de análise que ela executa.

Quadro 1 - Comparação entre software.

Software	Etapa de projeto				Objetivos de análise				Código aberto	Disponível gratuitamente
	Conceitual	Preliminar	Detalhado	Gestão	Energia	Térmico	Iluminação natural	Sistema HVAC		
EnergyPlus			✓		✓	✓		✓	Sim	Sim
OpenStudio		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Sim	Sim
DesignBuilder		✓	✓		✓	✓	✓	✓	Sim	Não
TRNSYS			✓		✓	✓			Sim	Não
DOE2			✓		✓				Não	Sim
ESP-r			✓		✓	✓		✓	Sim	Sim
eQuest		✓	✓		✓				Sim	Sim
TRACE700			✓		✓	✓		✓	-	Não
Bsim		✓	✓		✓	✓	✓	✓	Não	Não
IDA-ICE		✓	✓		✓	✓	✓	✓	Sim	Não
IESVE		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Não
HEED		✓	✓		✓	✓		✓	-	Sim

(Fonte: Adaptado de Østergård, Jensen, e Maagaard,., 2016 [32])



5. Conclusão e Considerações finais:

Apesar da proliferação dos programas computacionais para simulação, as barreiras ainda são grandes pois arquitetos e usuários não especialistas frequentemente encontram limitações para integrá-los no processo de projeto, principalmente durante a fase inicial decisiva que aborda mais a geometria e o envelope da edificação. Essas ferramentas são pouco utilizadas devido à complexidade e dificuldade de aprendizado, que exigem uma grande quantidade de dados de entrada nas simulações e conhecimentos multidisciplinares dos usuários. Os profissionais atuantes na construção civil necessitam de ferramentas que forneçam respostas muito específicas com o mais alto nível de precisão e detalhe de simulação.

Com o intuito de encontrar meios de aumentar a eficiência energética das edificações sem desprezar o conforto térmico e aspectos visuais do ambiente, engenheiros e arquitetos têm na simulação computacional um importante aliado na tomada de decisão sobre quais atitudes deverão ser tomadas no projeto de uma edificação.

Com esse artigo foi possível conhecer alguns programas utilizados pela comunidade acadêmica, que podem auxiliar a projetistas e pessoas comuns na prática de eficiência energética em edificações.

Agradecimento:

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e a concessão de bolsas.

Referências:

- [1] J. O. Batista, R. Lamberts, and F. S. Westphal, "Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o ENERGYPLUS," in *ENCAC - ELACAC 2005, Maceió, Brasil*, 2005, p. 11.
- [2] A.-T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1043-1058, 2014.
- [3] N. Mendes, R. Lamberts, F. S. Westphal, and J. A. B. da C. Neto, "Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil," *Ambient. Construído*, vol. 5, no. 4, pp. 47-68, 2005.
- [4] P. Silva, "Aplicação do programa EnergyPlus como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edifícios ee habitação," Universidade do Porto, 2010.
- [5] A. Malkawi and G. Augenbroe, *Advanced Building Simulation*. New York, USA: Taylor & Francis Group, 2004.
- [6] J. L. M. Hensen and R. Lamberts, "Introduction to building performance simulation," *Build. Perform. Simulating Des. Oper.*, pp. 1-14, 2012.
- [7] EUR - Lex, "O desempenho energético dos edifícios," 2015. [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM:en0021>. [Accessed: 26-Oct-2017].
- [8] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, "Caraterização Energética Nacional 2012," 2013. [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/>. [Accessed: 27-Oct-2017].
- [9] J. C. Carlo, "Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais," Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- [10] J. C. Carlo and R. Lamberts, "Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 1: método prescritivo," *Ambient. Construído*, vol. 10, no. 2, pp. 7-26, 2010.
- [11] A. S. Silva and A. S. Silva, "Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1," *Ambient. Construído*, vol. 14, no. 1, pp. 213-230, 2014.
- [12] P. A. C. dos Santos, "NZEB: Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo," Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2017.



- [13] P. Raftery, M. Keane, and J. O. Donnell, "Calibrating whole building energy models: An evidence-based methodology," *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2356-2364, 2011.
- [14] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *Standard 90.1: energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. 2016.
- [15] J. P. R. Pinto, "Diagnóstico e reabilitação energética de edifícios existentes - casos de estudo," Universidade da Beira Interior, 2015.
- [16] L. Roriz and A. Ramos, "Desenvolvimento de modelo numérico de aplicação do RCCTE: Sua implementação em edifícios existentes," Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [17] 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*. Brasil: Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001, pp. 17-19.
- [18] Brasil, *Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia*. Brasil: Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001, pp. 17-18.
- [19] Brasil, *Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética d. Brasil, 2013, p. 96.*
- [20] Brasil, *Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de. Brasil, 2012, p. 138.*
- [21] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 15575-1: Edificações habitacionais: Desempenho - parte 1 requisitos gerais*. Brasil, 2013, p. 71.
- [22] G. R. Queiróz, "Análise da interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk REVIT e ENERGYPLUS para a simulação térmica de edificações," Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- [23] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, *Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico das edificações*, vol. 1. Brasil, 2004, p. 73.
- [24] F. M. Silveira, "Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 e ASHRAE 55," Universidade Estadual de Campinas, 2014.
- [25] IBPSA - USA: Building Energy Software Tools, "EnergyPlus," 2017. [Online]. Available: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/energyplus>. [Accessed: 30-Oct-2017].
- [26] E. Atam, "Current software barriers to advanced model-based control design for energy-efficient buildings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. August 2016, pp. 1031-1040, 2017.
- [27] IBPSA - USA: Building Energy Software Tools, "DesignBuilder," 2017. [Online]. Available: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/designbuilder-0>. [Accessed: 30-Oct-2017].
- [28] IBPSA - USA: Building Energy Software Tools, "TRNSYS," 2017. [Online]. Available: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/trnsys>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [29] USDOE - United States Department of Energy, "DOE-2," 2017. [Online]. Available: <http://doe2.com/DOE2/index.html>. [Accessed: 31-Oct-2017].
- [30] IBPSA - USA: Building Energy Software Tools, "eQuest," 2017. [Online]. Available: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/equest>. [Accessed: 01-Nov-2017].
- [31] IBPSA - USA: Building Energy Software Tools, "Trace700," 2017. [Online]. Available: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/trace-700-load-design>. [Accessed: 01-Nov-2017].
- [32] T. Østergård, R. L. Jensen, and S. E. Maagaard, "Building simulations supporting decision making in early design - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 187-201, 2016.



FACULDADE
ENGENHARIA

ISSN: 2183-9891

FACULTY OF ENGINEERING

COVILHÃ | PORTUGAL

A VISION FOR THE FUTURE

Covilhã | Portugal

December 5 6 7

ICEUBI 2017

International
Congress on Engineering



PROCEEDINGS

www.iceubi.ubi.pt

 UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



COVILHÃ
A TECEM O FUTURO

Covilhã | Portugal
December 5 6 7

ICEUBI 2017

International
Congress on Engineering



International Conference on Engineering
University da Beira Interior
“A Vision for the Future”

Conferência Internacional de Engenharia
Universidade da Beira Interior
“Uma Visão para o Futuro”

Conferencia Internacional de Ingeniería
Universidad da Beira Interior
“Una visión para el futuro”

Covilhã (Portugal), December 5-7, 2017

OFFICIAL LANGUAGES: English, Portuguese and Spanish

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
CALÇADA DA FONTE DO LAMEIRO
6200-358 COVILHÃ | PORTUGAL

Tel: +351 275 242 059
E-mail: iceubi2017@ubi.pt
<http://iceubi.ubi.pt>

ICEUBI 2017

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING UNIVERSITY OF BEIRA INTERIOR - A VISION FOR THE FUTURE

ORGANIZED BY

FACULTY OF ENGINEERING OF UNIVERSITY OF BEIRA INTERIOR
CALÇADA DA FONTE DO LAMEIRO
6200-358 COVILHÃ | PORTUGAL
<http://www.ubi.pt/Entidade/Engenharia>

INSTITUTIONAL SUPPORT



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



CONFERENCE CHAIRMAN

JOÃO LANZINHA

CONFERENCE VICE-CHAIRMAN

JORGE MIGUEL SILVA

EDITORS

JOÃO CARLOS LANZINHA
JORGE MIGUEL SILVA
ANTÓNIO ESPÍRITO SANTO
CLEMENTE PINTO
HELDER CORREIA
MADALENA PEREIRA
MIGUEL ÂNGELO SILVESTRE
PAULO FAZENDEIRO
PEDRO DOMINGUES DE ALMEIDA
PEDRO GABRIEL ALMEIDA

The editors do not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published.

The information and opinion contained in the publications of are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete. The appearance of advertisements in this Scientific Publications (Abstracts Proceedings - ICEUBI 2017) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors does not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements. The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and the ICEUBI 2017 Conference cannot be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by ICEUBI 2017 Conference is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic, or printed publications is explicitly subjected to prior approval by ICEUBI 2017 Congress.

ISBN: 978-989-654-402-7 (book of abstracts)
ISBN: 978-989-654-403-4 (proceedings)
ISBN: 978-989-654-404-1 (CD)
ISBN: 978-989-654-405-8 (USB Pen drive)
ISSN: 2183-9891

Printed in Portugal by Serviços Gráficos da Universidade da Beira Interior.
Photograph of cover and back cover belongs to University of Beira Interior.