

TECNOLOGIAS OPEN SOURCE PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

OPEN SOURCE TECHNOLOGIES FOR EVALUATION ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS

  **Samantha Ohana de Miranda Luz**
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
samantha.luz@discente.ufg.br

  **Juan Carlos Guillen Salas**
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
juanguillen@ufg.br

  **Pedro Henrique Gonçalves**
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
pedrogoncalves@ufg.br

Resumo

As discussões sobre sustentabilidade como uma questão ambiental, social e econômica, aliada à revolução tecnológica vem mostrando um novo caminho para a prática projetual. Há crescente disponibilização de ferramentas de representação ou de avaliação da performance para auxiliar os profissionais na projeção. Sabe-se que a maioria dos projetistas fazem uso apenas das ferramentas de representação, como o AutoCAD, Revit e ArchiCad, deixando de lado as de simulação tão primordiais no auxílio às decisões, motivados pela ausência de conhecimento sobre a aplicabilidade e as vantagens dos softwares; pelo preconceito relacionado à dificuldade de manipulação; pela falta de legislações que regulamentem; e principalmente pelos elevados custos das licenças. Perante essa situação, as tecnologias open source para avaliação da eficiência energética em edificações se apresentam como uma alternativa de baixo custo ou gratuita. Nesse sentido, a hipótese guia da pesquisa foi que existem tecnologias open source gratuitas para avaliação da eficiência energética nas edificações. O objetivo da pesquisa foi identificar as principais ferramentas computacionais de código aberto gratuitas utilizadas para a simulação da eficiência energética de edificações. Assim, o processo metodológico consistiu na revisão da literatura especializada no tema. Em tal revisão foi encontrada

uma lista de softwares disponíveis no mercado, mas apenas o EnergyPlus e o Grasshopper atenderam aos critérios de gratuidade e código aberto. O principal resultado da pesquisa foi que existem tecnologias open source gratuitas para avaliação da eficiência energética nas edificações.

Palavras-chave: Eficiência energética. Simulação termoenergética. Simulação computacional paramétrica. Softwares livres. Arquitetura digital.

Abstract

Discussions on sustainability as an environmental, social and economic issue, combined with the technological revolution, have been showing a new path for design practice. There is a growing availability of representation or performance evaluation tools to help professionals in the project. It is known that most designers only use representation tools, such as AutoCAD, Revit and ArchiCad, leaving aside the simulation tools that are so essential in aiding decisions, motivated by the lack of knowledge about the applicability and advantages of the software. ; by prejudice related to the difficulty of manipulation; by the lack of legislation that regulates; and mainly because of the high costs of licenses. Given this situation, open source technologies for assessing energy efficiency in buildings are presented as a low-cost or free alternative. In this sense, the guiding hypothesis of the research was that there are free open source technologies for evaluating energy efficiency in buildings. The objective of the research was to identify the main free open source computational tools used to simulate the energy efficiency of buildings. Thus, the methodological process consisted of reviewing the specialized literature on the subject. In this review, a list of software available on the market was found, but only EnergyPlus and Grasshopper met the free and open source criteria. The main result of the research was that there are free open source technologies for evaluating energy efficiency in buildings.

Keywords: Energy efficiency. Thermoenergetic simulation. Parametric computer simulation. Free software. Digital architecture.

Introdução

A revolução digital iniciada em meados do século XX e a emergência das discussões sobre sustentabilidade como uma questão ambiental, social e econômica, nas últimas cinco décadas, configuram um novo cenário de atuação dos projetistas de edificações. Esse panorama vem solicitando uma abordagem distinta nos processos de projeto, com a inclusão de tecnologias computacionais para monitoramento da qualidade da produção arquitetônica contemporânea.

Essa evolução computacional tem disponibilizado variadas ferramentas digitais para auxiliar no desenvolvimento dos projetos, sendo aquelas direcionadas à representação, como o AutoCAD, o Revit e ArchiCad, bem como os de avaliação da performance, que vem auxiliando nas decisões de projeto para melhoria do comportamento do edifício na operação.

Kolarevic (2005) entende que as simulações computacionais como parte da prática projetual permite que a concepção, desde as fases iniciais, seja orientada por design generativo, ou seja, a forma do edifício é moldada simultaneamente aos resultados de desempenho simulados, em diferentes perspectivas, permitindo um equilíbrio entre os elementos que podem ser quantificados (estrutura, iluminação, consumo de energia, conforto térmico, fabricação/construção) com a plástica e estética.

A Câmara Municipal de Londres, projetada por Foster e Partners, é um claro exemplo da otimização da proposta tendo a simulação como parte integrante do processo de projeção. Os arquitetos conseguiram potencializar o desempenho energético do edifício ao reduzir em 25% a superfície exposta à radiação solar, tendo como resultado a redução dos ganhos e das perdas de calor através da envoltória (Kolarevic, 2005). Percebe-se que ainda assim a sensibilidade no desenvolvimento formal foi proposta, criando um ícone na cidade. Nota-se que que o Diagrama Solar simulado do edifício da Câmara Municipal de Londres norteou a deformação do volume inicial. Em suma, entende-se que ao desenvolver um projeto novo, tendo a simulação computacional como aliada desde as fases conceituais, o projeto tem suas decisões pautadas no desempenho simulado e na bagagem teórica e prática do projetista, podendo gerar inúmeros cenários que são retroalimentados quantas vezes forem necessárias para que se tenha uma proposta com resultado ótimo.

Ocorre que na prática, segundo Wilde (2004), os projetistas nas fases iniciais do projeto utilizam de analogia, intuição e regras heurísticas para proposição do modelo conceitual e usam as ferramentas computacionais apenas nas etapas de projetos posteriores para otimização e verificação das decisões, e não como suporte do desenvolvimento, porém é no início que as ações de melhoria da performance são relevantes.

As ferramentas de simulação se fazem fundamentais também na avaliação de intervenções em pré-existências, haja vista que conseguem quantificar o consumo energético dos equipamentos instalados, reconhecer os padrões de ocupação dos usuários no edifício, bem como caracterizar os sistemas construídos e as propriedades dos materiais utilizados (Souza e Silva, 2021). Tal conhecimento permite propor modificações na envoltória, troca de aparelhos por outros mais eficientes e campanhas de conscientização do uso de energia para mudar os padrões indesejáveis de uso, por exemplo.

Ressalta-se que as simulações computacionais, em qualquer fase projetual, auxiliam na proteção do edifício em relação às condições externas indesejáveis, fornecendo ambientes saudáveis, confortáveis e produtivos, bem como reduzindo os custos e os impactos no meio ambiente (Hansen e Lamberts, 2019). Isso deixa evidente que a simulação computacional se configura como importante aliada na proposição de edificações mais sustentáveis, mais eficientes energeticamente e confortáveis para os usuários.

Os edifícios consomem cerca de 40% da energia global produzida (Biggs, 2020), porém no Brasil o cenário é mais alarmante, visto que as demandas das edificações consomem, em média, 48,0% da energia produzida (Epe, 2022). Para Hansen e Lamberts (2019), este é o setor de maior potencial para economia energética. Com isso, a construção civil passa a ter papel fundamental na redução do consumo energético desde a concepção de suas edificações até a operação.

As discussões com a sociedade sobre a conservação de energia no Brasil foram iniciadas em 1984 pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), onde se propunha a conscientização dos consumidores e a adesão voluntária dos fabricantes em relação à informação do nível de eficiência do seu produto (Inmetro, 2021). Após a crise energética desencadeada no país em 2001, houve a regulamentação dos níveis máximos de consumo de energia elétrica e

mínimos de eficiência energética para equipamentos produzidos e vendidos no território através da Política Nacional de Conservação de Energia (Brasil, 2001). Nesse momento também são incluídas as edificações nessas propostas, que com a discussão por grupos técnicos, concebe os parâmetros para a avaliação da eficiência energética em edificações, com a criação em 2003 do PROCEL Edifica (Paulse, 2016). A partir daí, gradualmente foram regulamentadas: a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), o Programa Brasileiro de Conservação de Etiquetagem (PBE), o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência de Edifícios Residenciais (RTQ-R), bem como as normativas técnicas propostas pela ABNT: NBR 15220/2003 e a NBR 15575/2013.

A simulação computacional atualmente tem sido utilizada na validação de critérios para obtenção de selos e etiquetas, bem como de níveis de desempenho normatizados no Brasil, tendo como exemplo as certificações ambientais, como a Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e a Alta Qualidade Ambiental (AQUA), o selo PROCEL Edifica e Norma de Desempenho das edificações habitacionais (15575/2013).

5

Importante destacar sobre a possibilidade de recorrer a softwares para simulação *open source*, ou seja, de código aberto ou de licença livre, disponibilizados de maneira gratuita, tornando mais democrático o acesso pelos profissionais. Sua linguagem de programação pode ser vista por qualquer um e de maneira colaborativa, pode ser modificado, melhorado e redistribuído, numa busca constante por melhoria contínua.

Apesar dos avanços tecnológicos, dos notáveis benefícios e da possibilidade de garantir um selo de eficiência e certificações ambientais para o edifício, percebe-se que a avaliação do desempenho da produção arquitetônica entre os estudantes e projetistas de arquitetura é uma prática incipiente, seja pela falta de conhecimento dos softwares, haja vista a pouca divulgação nas universidades e um relativo preconceito sobre a dificuldade de manipulação; seja pela dificuldade de aquisição, frente aos elevados custos das licenças, em sua maioria; seja pela aplicação como uma ferramenta de modelagem ou otimização das decisões e não de suporte ao desenvolvimento projetual; seja pela falta de regulamentação e obrigatoriedade de uso por meio de normativas e legislações.

Baseado no contexto explanado, tem-se que a hipótese guia da pesquisa é que existem softwares de código aberto gratuitos, disponíveis no mercado, para avaliação da eficiência energética nas edificações.

Desta forma, o artigo tem como objetivo identificar as principais ferramentas computacionais open source gratuitas utilizadas para a simulação da eficiência energética de edificações. Para tanto, propõe-se levantar: quais são os softwares disponíveis no mercado de eficiência energética; quais deles apresentam código aberto e são gratuitos; qual a sua aplicabilidade; e suas possíveis interfaces com outros programas. Intencionando alcançar tais objetivos, a metodologia adotada será exploratória, haja vista a verificação dessas informações junto às publicações recentes sobre o tema e a identificação dos softwares com as características indicadas.

Por fim, infere-se que o conhecimento de softwares gratuitos para simulação termoenergética e a ampla divulgação de suas funcionalidades no meio acadêmico e entre os profissionais da arquitetura, levando em consideração que tais análises fazem parte do processo de projeção, permitiria a melhoria da prática projetual e da qualidade do produto entregue, ou seja, edificações com menor consumo energético durante a operação, mais sustentáveis e com mais horas de conforto para os usuários.

Simulação computacional termo energética na arquitetura

O termo simulação é definido como “teste ou experiência que pretende reproduzir as condições de evento ou situação real, como forma de treino ou preparação” (Dicionário Priberam, 2023), “a tentativa humana de representação da realidade” (Sousa e Silva ,2021) e ainda “reproduzir ou imitar através de um sistema computacional, as características e o desenvolvimento de fenômeno, situação ou processo concretos” (Dicionário Michaelis, 2023). As conceituações apresentadas deixam claro que a simulação termoenergética em edificações tem o objetivo de recriar cenários virtualmente a partir de informações térmicas e energéticas da edificação como projetada e/ou construída, bem como após intervenções para melhoria do desempenho, até que se chegue a um cenário considerado ótimo pelo projetista.

É importante destacar que os modelos desenvolvidos na simulação apresentam idealizações e simplificações, isso aliado a incertezas inerentes aos programas computacionais, indicam que não há possibilidade de esperar que a edificação se comporte exatamente como do simulado. O projetista precisa ter a habilidade de comparar os resultados obtidos com dados da realidade, para que sua simulação seja eficaz e auxilie nos seus projetos efetivamente (Hansen, Lamberts, 2019).

As simulações termo energéticas são realizadas em softwares BEM (Building Energy Modeling) e têm por função a análise dinâmica do desempenho energético dos edifícios através do cálculo das cargas térmicas e do consumo energético que determina as características térmicas dos edifícios e de seus sistemas construtivos (BAHAR et al, 2013). Avaliam os fluxos de massa e energia; o comportamento dos sistemas; as variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa, movimento do ar, insolação, sombreamento e iluminação; padrão de ocupação, variações do clima externo e os efeitos da inércia térmica (Hernandez, 2015; Gonçalves, Moura, Kuniuchi, 2015).

7

A utilização deste tipo de simulação pode contribuir nos estudos de ciclo de vida das edificações e seu custo; de cenários de mudanças climáticas e na proposição de retrofits (Santos *et al*, 2017). As ferramentas computacionais fazem prospecção de cenários futuros para os edifícios e auxiliam em estratégias para projetos novos e de reabilitação, permitindo que além da proposição de espaços com qualidade ambiental, se tenha redução dos custos com a operação do edifício e de seus sistemas.

Inúmeros são softwares de avaliação das condições termo energéticas desenvolvidos e disponíveis no mercado. Estes são oriundos de parcerias entre o United States Department of Energy (DOE), as universidades e os usuários desses programas que realizam atualizações contínuas visando a melhoria da operação e aplicação desses softwares (DOE, 2020; SOUZA e SILVA, 2021; SANTOS, et al, 2017). Os principais exemplares que podemos citar são: BSim, Design Builder, Domus, EcoDesigner, Ener-Win, EnergyPlus, eQUEST, Grasshopper, Green Building Studio, HAP, HEED, IDA ICE, IES VE, LESOSAI, RIUSKA, SHEED, Tas, TRACE 700, TRNSYS e VIP Energy (Souza e Silva, 2021; Santos, et al, 2017; Procel, 2006; Bahar et al, 2013; Harish e Kumar, 2016). O quadro 01 elenca as funcionalidades de cada software.

Quadro 1 -relação dos softwares para fotogrametria identificados

| Software | Descrição | Licença | Desenvolvedor | referência |
|----------------|--|-------------------------|--|--|
| BSim | Ferramenta para analisar edifícios e instalações contemplando a simulação e cálculo, por exemplo, clima térmico interno, consumo de energia, condições de luz do dia, simulação síncrona de umidade e transporte de energia em construções e espaços, cálculo de ventilação natural e rendimento elétrico de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios. | Paga, closed source | Associação Internacional de Simulação de Desempenho de Edifícios (IBPSA) | IBPSA (2023a) |
| Design Builder | Ferramenta para modelagem e simulação de modelos térmicos para análise de consumo de energia, conforto térmico, sistemas HVAC e iluminação natural. É utilizado para validação de certificações e regulamentos nacionais de construção. | Paga, open source | DesignBuilder Software | DesignBuilder (2023); Harish e Kumar, 2016. |
| DOMUS | “Ferramenta para simulação higratérmica e energética de edificações que analisa o consumo e demanda de energia; conforto térmico; risco de crescimento de mofo e de condensação; influência climática, monitoramento de sistemas centrais de condicionamento de ar; avaliação do nível de eficiência, em conformidade com os RTQs.” | Gratuita, closet source | Laboratório de Sistemas Térmicos da PUCPR | Procel(2006); Domus (2022) |
| EcoDesigner | Ferramenta para avaliação do balanço de energia, CO ₂ , ofuscamento, aquecimento, resfriamento, iluminação, uso de água, custo do ciclo de vida, programação, uso de energia primária (gás, energia, eletricidade etc.). Compatível com o ArchiCad. | Paga, closed source | Graphisoft Building Together | Bahar et al (2013); Graphisoft, (2023) |

| | | | | |
|-----------------------|---|--|---|-----------------------------------|
| Ener-Win | Ferramenta de simulação para avaliação do desempenho energético do edifício. | Paga, closed source | - | Suddenlink (2020). |
| EnergyPlus | Ferramenta de simulação consumo energético para aquecimento e resfriamento, bem como para ventilação, iluminação, quantificação de cargas de operação e uso de água. | Gratuita, open source | National Renewable Energy Laboratory (NREL) | EnergyPlus (2023) |
| eQUEST | Ferramenta de simulação de uso de energia em edifícios. Permita análise comparativa detalhada de projetos e tecnologias de construção, aplicando técnicas sofisticadas de simulação de uso de energia em edifícios, mas sem exigir uma vasta experiência na "arte" de modelagem de desempenho de edifícios. | freeware (gratuito, mas não pode ser modificado) | Energy Design Resources program | DOE2 (2016) |
| Grasshopper | É uma linguagem de programação visual, executada no programa de desenho auxiliado por computador chamado Rhinoceros 3D, que realiza modelagem algorítmica e paramétrica com base em dados referenciados e simulação de diferentes tipos de análises ambientais, fazendo uso de Plugins como: Ladybug, Honeybee, Dragonfly, Butterfly. | Gratuita, open source | Google | Faria (2017); RHINO 3D (2023a) |
| Green Building Studio | Ferramenta de simulação e otimização da eficiência energética de um edifício, bem como de avaliação da neutralidade de carbono na fase inicial de concepção projetual. | Paga, open source | Autodesk | GBS (2023); Harish e Kumar, 2016. |
| HAP | Ferramenta para concepção e dimensionamento de sistemas e componentes de conservação de energia, sistemas VAV, unidades de tratamento de ar central, WSHPs, GSHPs, fan coils, VRF e de água (fria e quente). | Paga, closed source | Carrier | Carrier do Brasil (2020) |

| | | | | |
|---------|--|--------------------------|--|---|
| HEED | Ferramenta de eficiência energética de experimentação de soluções para aumento da eficiência energética de edificações residenciais. Após a modelagem do edifício a ser analisado, ele cria um modelo 30% mais eficiente, podendo ser simulado um total de 9 modelos com designs diferentes. Mostra quanto dinheiro, energia e dióxido de carbono é economizado. | Gratuito, closed source. | Universidade da Califórnia, Los Angeles | SBSE (2017); SBSE (2022) |
| IDA ICE | Ferramenta avançada de simulação dinâmica de construção de várias zonas. Ele modela com precisão o edifício, seus sistemas e controladores – garantindo o menor consumo de energia possível e o melhor conforto possível para os ocupantes. | Paga, closed source | Associação Internacional de Simulação de Desempenho de Edifícios (IBPSA) | IBPSA (2023b) |
| IES VE | Ferramenta de projeto e análise térmica, cargas de aquecimento e resfriamento, CO ₂ , incidência solar, Sombreamento, Iluminação, Fluxo de ar, Custo do ciclo de vida, Programação, evacuação de incêndio. | Paga, closed source | IES | Bahar <i>et al</i> (2013); IESVE (2023) |
| LESOSAI | Ferramenta de projeto e análise térmica, cargas de aquecimento e resfriamento, controle solar, CO ₂ , iluminação natural e artificial, avaliação do ciclo de vida, custo do ciclo de vida, programação. | Paga, closed source | E4tech Software SA | Bahar <i>et al</i> (2013); LESOSAI (2023) |
| RIUSKA | Ferramenta de projeto ambiental, modelo 3D, projeto e análise térmica, cargas de aquecimento e resfriamento, validação; Controle solar, sombreamento, iluminação, avaliação do ciclo de vida, custo do ciclo de vida, programação. | Gratuito, closed source. | Olof Granlund Oy | Bahar <i>et al</i> (2013); Riuska (2023) |

| | | | | |
|------------|---|--|---|--|
| SHEED | Ferramenta de eficiência energética de experimentação de soluções para aumento da eficiência energética de edificações pequenas não residenciais. Após a modelagem do edifício a ser analisado, ele cria um modelo 20% mais eficiente, podendo ser simulado um total de 9 modelos com designs diferentes. Mostra quanto dinheiro, energia e dióxido de carbono é economizado. | Gratuito, closed source. | Universidade da Califórnia, Los Angeles | SBSE (2017); SBSE (2021). |
| Tas | Ferramenta para simulação e análise térmica de edificações. Ele é construído para criar modelos de construção para simulação, realizar análises de modelagem de luz do dia com base no clima, realizar cálculos de dimensionamento de projeto e calcular o consumo de energia, CO2 e informações de custo. | Paga, closed source | Environmental Design Solutions Limited (EDSL) | EDLS (2020) |
| TRACE 700 | Ferramenta de Projeto ambiental, análise térmica, aquecimento e resfriamento, custo do ciclo de vida. | Paga, closed source | Trane Technologies | Bahar <i>et al</i> (2013); Trane (2022). |
| TRNSYS | Ferramenta para simulação do comportamento de sistemas transitórios: energia térmica e elétrica, fluxo de tráfego e processos biológicos. | Paga. O código fonte é disponibilizado após a aquisição do software. | TESS | Trnsys (2019) |
| VIP ENERGY | Ferramenta para simulação do balanço energético de edifícios, de diversas tipologias, hora a hora durante um ano inteiro. | Paga, closed source | Structural Design Software in Europe AB | IBPSA (2023c) |

Fonte: produzido por Samantha Luz, 2023, a partir de BAHAR et al, 2013; Harish e Kumar, 2016; Procel, 2006; Santos, *et al*, 2017; Souza e Silva, 2021; Carrier do Brasil (2020); DesignBuilder (2023); DOE2 (2016); Domus (2022); EDLS (2020); Energyplus (2023); Faria (2017); GBS (2023); Graphisoft (2023); IBPSA (2023a); IBPSA (2023b); IBPSA (2023c); Iesve (2023); Lesosai (2023); Rhino 3d (2023a); Riuska (2023); SBSE (2017); SBSE (2021); SBSE (2022); Suddenlink (2020); Trane (2022); Trnsys (2019).

Descrição de imagem: Quadro apresentando a descrição de softwares de eficiência energética disponíveis no mercado com a caracterização do tipo de licença e seu desenvolvedor.

Tendo em vista que esta pesquisa se propõe a estudar os softwares comumente utilizados e que sejam *open source* e gratuitos, serão detalhadas as características e especificações do EnergyPlus e do Grasshopper, com seus respectivos plugins e ferramentas, uma vez que foram os únicos que atenderam tais quesitos.

Softwares de simulação termoenergética

EnergyPlus

O EnergyPlus é um software gratuito, de código aberto e multiplataforma, financiado pelo Escritório de Tecnologias da Construção (BTO) do Departamento de Energia dos EUA (DOE), gerenciado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) e desenvolvido a partir dos programas BLAST e DOE-2 (Energyplus, 2023).

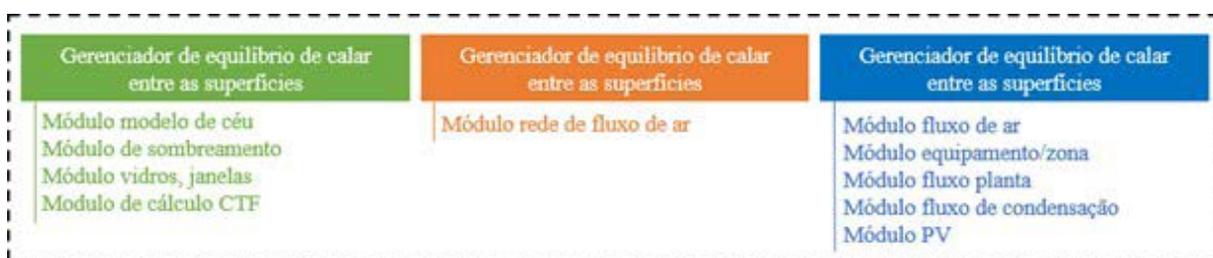
Trata-se de um programa de simulação termoenergética de edificações de vários pavimentos e diversificada formas arquitetônicas (Nogueira, 2019) que simula o comportamento térmico e energético do edifício e seus sistemas (Melo, Westphal, Matos, 2009; Souza, 2021); utilizando de arquivos climáticos e dados do modelo de entrada da construção (Queiroz, 2016). Tem como resultado o “consumo de energia de aquecimento, arrefecimento, ventilação, bombas, iluminação e equipamentos, o conforto térmico e as cargas térmicas”. (Energyplus, 2023).

Em outras palavras, Souza e Silva (2021), entendem o software como uma ferramenta que utiliza equações físicas, térmicas, mecânicas, ópticas e matemáticas aliadas aos fatores externos e internos que interferem na performance para simular o desempenho termo energético de um edifício.

Segundo DOE (2022), o programa nos últimos anos vem apresentando significativa aceitação no mercado, haja vista que suas últimas versões tiveram uma média de 43.000 downloads por atualização. Cabe ressaltar que são realizadas, ao menos, duas atualizações anuais do software.

Seu funcionamento se dá através da busca pelo balanço energético, através de algoritmos que realizam cálculos numéricos e consideram as transferências de calor por radiação (ondas curtas e longas), condução (pelos materiais) e por convecção (interação entre as superfícies e o ar) (DOE, 2022). Para iniciar a simulação, é realizada a modelagem do objeto, onde o usuário/projetista insere os dados de entrada em formato de texto, descrevendo as características da edificação dentro do próprio programa (Souza e Silva, 2021) ou através de outros programas que apresentem uma interface gráfica e que permitam a integração, bem como a inclusão dos dados climáticos do local de implantação (Queiroz, 2016). Em seguida, são realizadas as análises da envoltória, de seus sistemas e da planta de maneira simultânea, estabelecendo dados de saída de consumo de energia e temperatura e umidade do edifício para um ano inteiro (DOE, 2022). Tais informações são fornecidas em face da organização integrada do programa em gerenciadores e módulos, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema demonstrativo dos gerenciadores integrados de simulação e seus respectivos módulos



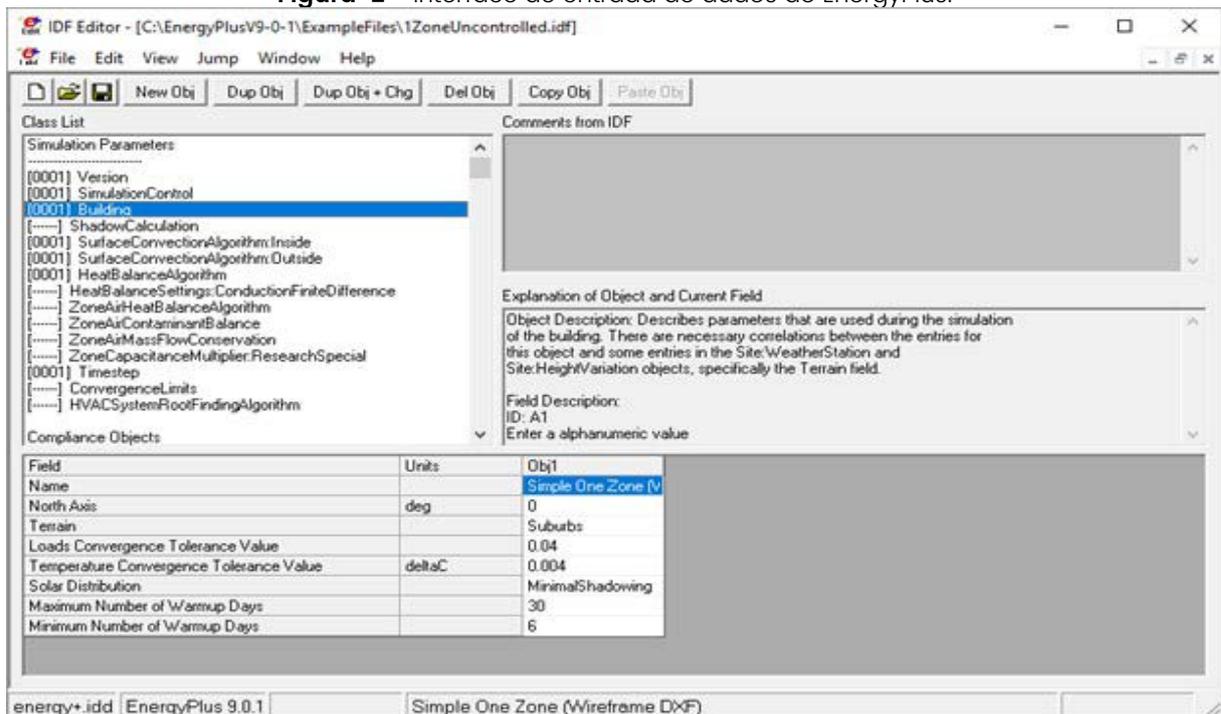
Fonte: Adaptado por Samantha Luz, 2023 a partir de DOE (2022)

Descrição de imagem: esquema com demonstração dos gerenciadores da simulação com o EnergyPlus, bem como seus módulos.

Como o programa realiza as simulações utilizando arquivos de texto discriminados pelo projetista/simulador (Figura 2) e a modelagem dos aspectos físicos da edificação é feita por coordenadas cartesianas, há maior dispêndio de atenção e tempo para conseguir determinar todos os dados de entradas necessários, sendo suscetível ao risco de cometer erros no processo. Em função disso, foi desenvolvido outro software, denominado Open Studio, que apresenta interface gráfica e integração com o EnergyPlus (DOE, 2023; Rallapalli, 2010; Souza e Silva, 2021).

O OpenStudio é uma ferramenta de plataforma cruzada, de código aberto, integrada ao EnergyPlus e ao Radiance, para oferecer suporte à modelagem de energia de edifícios. Permite a entrada e saída de dados de maneira mais simples e ágil no processo de simulação termoenergética (Openstudio, 2023; Nogueira, 2019). Essa integração se mostra útil, pois permite uma modelagem da envoltória de maneira mais visual e intuitiva.

Figura 2 - Interface de entrada de dados do EnergyPlus.



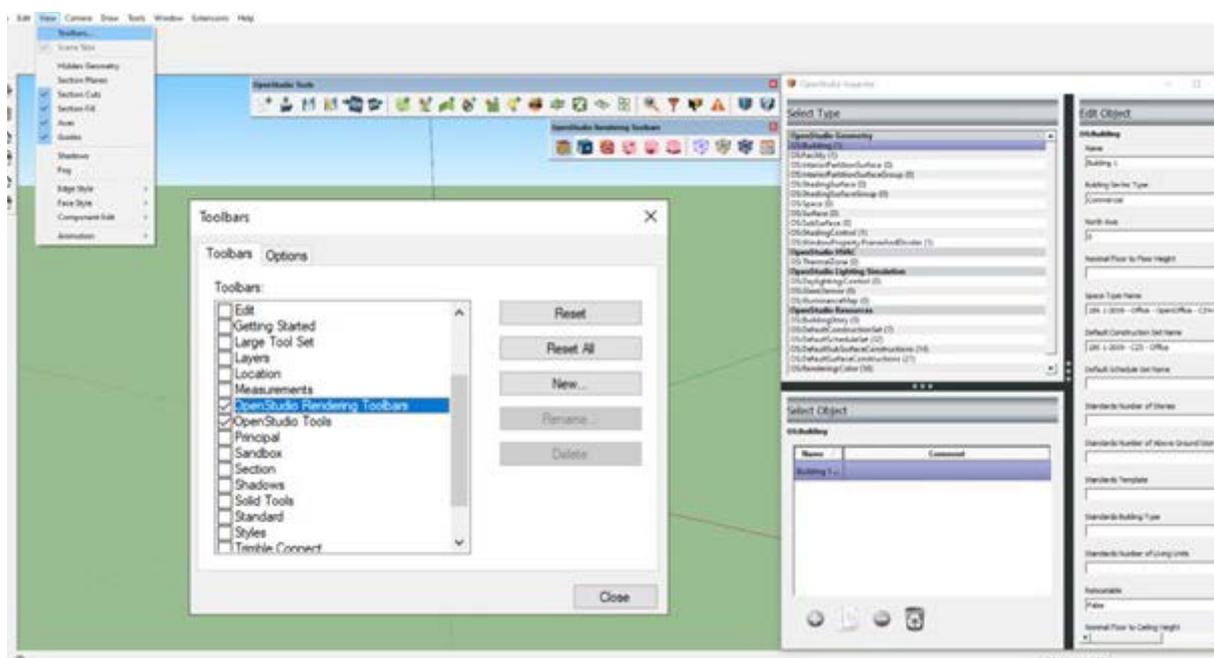
Fonte: Bigladder Software (2005)

Descrição de imagem: ilustração da interface de input do software para mostrar que os dados de entrada são realizados através de arquivos de texto.

Para a produção de modelos energéticos para o EnergyPlus, o programa conta com o plug-in Legacy OpenStudio no SketchUp, que permite a utilização das ferramentas do Sketchup, em seu ambiente de edição 3D, para modelar as superfícies (Figura 3). Essas superfícies vão sendo convertidas em elementos internos e externos do edifício, como paredes, cobertura e esquadrias. As demais variáveis também podem ser incluídas. Ao fim, o modelo é exportado em arquivo com extensão própria para o EnergyPlus (Souza e Silva, 2021).

Tendo em vista o constante crescimento da utilização do Autodesk Revit no desenvolvimento de projetos, Queiroz (2016) propôs uma pesquisa que analisou a interoperabilidade do EnergyPlus com o Autodesk Revit para a simulação térmica de edificações. Foi constatado que o Revit não possui configurações adequadas para modelagem energética dos edifícios, gerando retrabalhos ao exportar a volumetria para o EnergyPlus, haja vista a necessidade de realizar correções na geometria, já que ela vem distorcida, e inserir configurações que são indispensáveis para a simulação.

Figura 3 - Interface de entrada de dados do EnergyPlus.



Fonte: OpenStudio (2023)

Descrição de imagem: ilustração da interface de modelagem utilizando o plugin Legacy OpenStudio no SketchUp.

Grasshopper e ferramentas

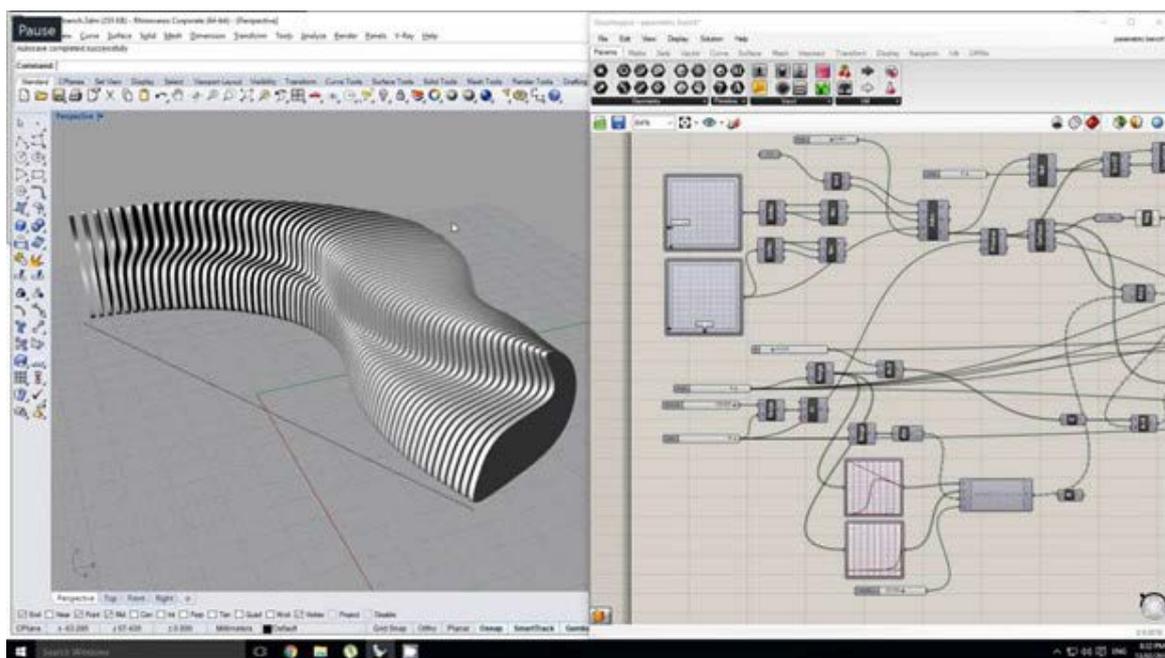
Assim como o EnergyPlus e OpenSource, apresenta código aberto e uma comunidade de usuários bastante ativa e colaborativa que realiza frequentes atualizações que vão de encontro com suas verdadeiras necessidades (Faria, 2017).

O Grasshopper “é uma linguagem de programação visual, executada no programa de desenho auxiliado por computador chamado Rhinoceros 3D, que realiza

modelagem algorítmica e paramétrica com base em dados referenciados e simulação de diferentes tipos de análises ambientais” (Faria, 2017). A figura 4 ilustra a interface do software. Sua utilização não requer conhecimento de programação, mas permite desenvolvimento de algoritmos de geração de formulários sem necessidade de escrever códigos (Rhino3d, 2023b).

Importante definir que o Rhinoceros “é um software de criação, edição, análise, documentação, renderização e animação” de curvas, superfícies e sólidos com geometria NURBS, sendo, portanto, capaz de modelar qualquer tipo de objeto (Rhino3d, 2023b).

Figura 4 -Interface do Rhinoceros 3D à direita com volumetria utilizando a geometria NURBS e à esquerda a interface do Grasshopper com indicações de programações.



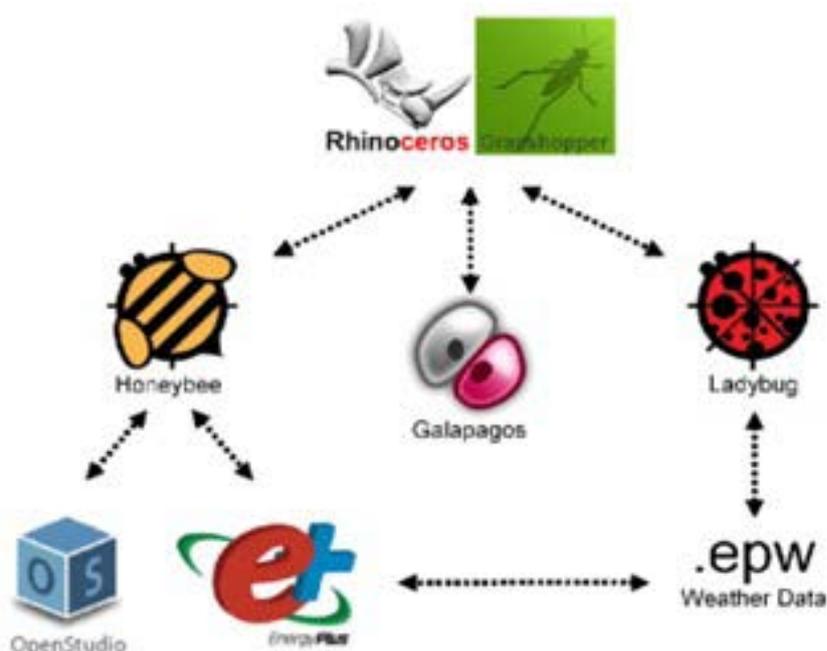
Fonte: PARAMETRIC ARCHITECTURE, 2021.

Descrição de imagem: apresentação à esquerda de um volume modelo no Rhinoceros com aplicação das programações do Grasshopper à direita.

Silva, Lopes e Labaki (2018) descrevem o funcionamento do Grasshopper para simulação termoenergética da seguinte maneira: é realizada a modelagem de um volume conceitual no Rhinoceros, e suas avaliações são feitas através dos plugins Ladybug e Honeybee, que estão incorporados no Grasshopper. Em um segundo momento, pretendendo melhorar as soluções de projeto, podem ser empregadas

as ferramentas Galapagos e Octopus que utilizam algoritmos genéticos para otimizar os resultados. A figura 5 descreve a interação dos programas. Todos os plugins elencados apresentam código aberto, são gratuitos e foram desenvolvidos para uso exclusivo no Grasshopper.

Figura 5 - Esquema demonstrativo da interação do Rhinoceros/Grasshopper e as ferramentas.



Fonte: Silva, Lopes, Labaki, 2018

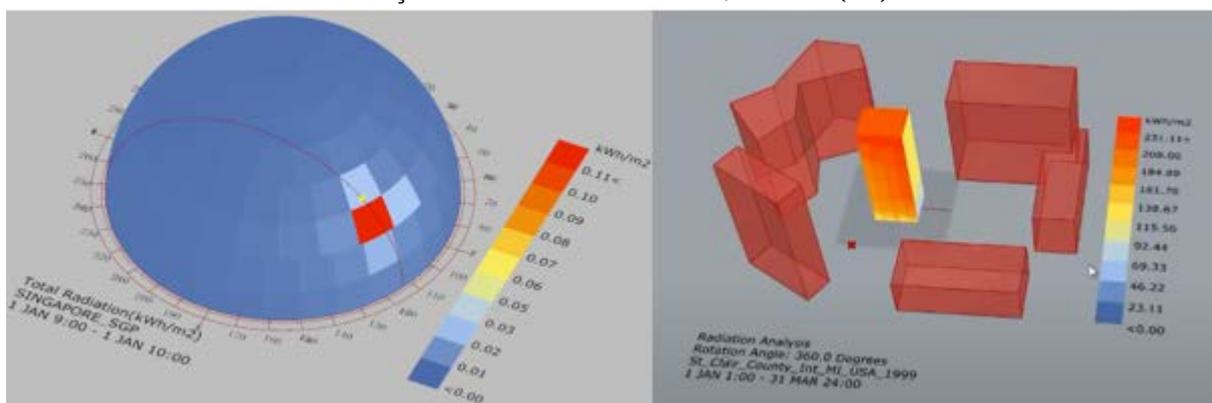
Descrição de imagem: esquema mostrando a interação do Grasshopper com o Honeybee, Ladybug e Galapagos.

O Ladybug é uma ferramenta que auxilia nas decisões iniciais do projeto, suas avaliações ocorrem na fase conceitual da proposta. Propõe estudos de radiação solar, orientação do edifício em relação ao sol, o efeito do percurso solar na construção, entre outros (Faria, 2017).

De modo geral, quando se realizam estudos de radiação, os dados são disponibilizados através de gráficos 2D, com médias semanais ou mensais, ou gráficos 3D com a definição da quantidade de radiação por um período de tempo determinado. O ladybug apresenta seus resultados de maneira mais didática, ou seja, os dados são aplicados junto a geometria, na interface do Rhinoceros. Fornece três tipos de diagramas: o Tregenza Skydome, que mostra a radiação distribuída

no céu em diferentes períodos do ano (Figura 6a); Radiation Rose, para verificação da intensidade da radiação nas diferentes orientações e Radiation CallaLily, onde se verifica a radiação incidente diretamente na geometria (Figura 6b) (ROUDSARI et al, 2013).

Figura 6 - Exemplar de estudo da radiação distribuída no céu, à esquerda(6a) e a radiação incidente nas fachadas, à direita(6b).



Fonte:PARAMETRIC HOUSE, 2021.

Descrição de imagem: ilustração de estudo da radiação do céu e de orientação com aplicação da radiação incidente, em cores que representam valores numéricos, aplicados diretamente nas faces do volume estudado.

18

Em relação à orientação do edifício, é possível verificar a quantidade de sol incidente nas fachadas e as horas de exposição durante o dia, diretamente na volumetria, na interface de modelagem do Rhinoceros. Ainda há simulação do percurso do sol, tendo como base o arquivo climático do local de inserção da construção. (Faria, 2017) O entendimento do comportamento do sol no edifício auxilia nas decisões da envoltória, principalmente no que diz respeito às proteções solares, aberturas e orientação no terreno.

O Honeybee foi concebido em complementação ao Ladybug, direcionado a objetivos relativos à eficiência energética, para análises mais relevantes nas fases posteriores do projeto, onde já se tem definições de materiais da envoltória, aberturas e equipamentos que serão instalados (Faria, 2017; Adyla, 2023). Conecta o Grasshopper a ferramentas validadas pela ASHRAE como o EnergyPlus, OpenStudio, Daysim e Radiance (Silva, Lopes, Labaki, 2018). Realiza avaliações de iluminância, da luz do dia durante o ano, de ofuscamento pela exposição solar, de

radiação solar, de microclima, de uso da energia para aquecimento e resfriamento, de dimensionamento de sistemas HVAC, de balanço energético, de conforto térmico interno, de estratégias passivas e ativas, de propriedades dos materiais da construção, de uso da água, de fluxo de ar e de condensação (Ladybug Tools, 2022).

Segundo Faria (2017), para se realizar uma análise no Honeybee, deve-se seguir quatro etapas sequenciais: preparação da geometria com adaptações/simplificações do modelo; inserção dos inputs e do arquivo climático (.epw); simulação propriamente dita e visualização dos outputs na interface do Rhinoceros. Caso se perceba a necessidade de melhoria no design, são realizados novos testes com diferentes estratégias utilizando os diferentes componentes disponibilizados pela ferramenta, até que se consiga uma performance ótima.

O Galapagos é definido como um evolutionary solver, ou seja, uma ferramenta que realiza a otimização, através de algoritmos genéticos e algoritmos de recozimento simulado, de uma determinada função em um processo de combinações, que podem ser expressos de maneira matemática. Os resultados são expressos por meio de tabela e quadros delimitando as possibilidades de combinação dos parâmetros analisados (Rutter, 2013). O Octopus, por sua vez, é um algoritmo evolucionário de objetivos múltiplos (ROUDSARI et al, 2013). As duas ferramentas, quando aplicadas na avaliação termo energética, podem determinar diversos fatores da composição e orientação do edifício em função da otimização da quantidade de radiação em períodos de resfriamento ou aquecimento, por exemplo (Roudsari *et al*, 2013).

O uso do Grasshopper para a concepção projetual se mostra vantajoso, uma vez que sua interface gráfica auxilia na interpretação dos dados, que não fica apenas condicionada a tabelas e gráficos, bem como possibilita que o modelo seja utilizado para o projeto e para as análises, tornando as decisões mais integradas e o fluxo de trabalho mais eficiente. Para Plotnikov, Schubert e Petzold (2016), a ferramenta simplificou o processo, já que a modelagem e simulação ocorrem em um único programa em função dos plug-ins, eliminando assim a

necessidade de conhecimento de diversas ferramentas e reduzindo os riscos com incompatibilidades em função da geometria.

É válido ressaltar sobre a interoperabilidade do Grasshopper com sistemas BIM, uma vez que sua modelagem é desenvolvida no Rhinoceros com geometria NURBS. Os sistemas BIM concebem seus modelos com base em componentes, ou seja, janelas, portas e paredes; enquanto que as geometrias NURBS tem um modelo baseado em superfícies. Essa conformação faz com que a transferência de informações entre ambos gere a necessidade de remodelações para adequação a sua forma de concepção.

Conclusões

Inúmeros são os softwares de avaliação de eficiência energética disponíveis no mercado. A pesquisa identificou 20 exemplares em pleno funcionamento, sendo que 04 (quatro) apresentaram código aberto e 07 (sete) licenças gratuitas, porém apenas 02 (duas) das ferramentas conciliaram os quesitos abordados no trabalho: EnergyPlus e Grasshopper, com seus respectivos plugins.

Com isso tem-se que o resultado da pesquisa confirma a hipótese do trabalho, uma vez que foi verificada a existência de tecnologias open source gratuitas para avaliação da eficiência energética nas edificações. Da mesma forma, o objetivo foi alcançado, haja vista que a partir do levantamento de variados softwares disponíveis no mercado que avaliam a eficiência energética, foram encontrados dois com licença de código aberto e gratuita concomitantemente.

Apurou-se ainda que as simulações computacionais termo energéticas são primordiais nas fases iniciais de projetos para edificações novas, principalmente quando atuam com potencial morfogenético, e nas edificações já existentes para a reabilitação sustentável. Elas permitem a concepção de edificações mais sustentáveis, ou seja, permitem maior qualidade no produto entregue ao usuário, menor consumo energético do edifício e seus equipamentos, além de mais horas de conforto térmico.

O estudo mostra que o Energy Plus juntamente com o Open Studio e o Sketchup e o Grasshopper aliada aos plugins Ladybug e Honeybe apresentam componentes capazes de entender o comportamento térmico e energético do projeto, sendo possível identificar o balanço energético do edifício, as variáveis ambientais como temperatura do ar e umidade relativa, consumo de energia com equipamentos e iluminação, por exemplo e com isso, realizar tantas modificações quantas forem necessários, até atingir o melhor desempenho para o edifício.

Há de se destacar que tais softwares ainda não conseguem fazer uma avaliação integrada do modelo projetado, uma vez que os programas de representação e avaliação da performance apresentam uma interoperabilidade frágil, gerando muitos retrabalhos na transferência de informações entre eles.

Por fim, cabe ressaltar a vantajosidade do uso de licenças open source por possuir comunidades ativas, compostas por grandes escritórios de arquitetura e universidades, que auxiliam nos processos de atualização e tornam os softwares cada vez mais personalizados para a realidade do projeto. Ademais, a gratuidade dos softwares permite ampla utilização pelas comunidades acadêmicas e profissionais.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BAHAR, Yuri Nugraha; PERE, Chistian; LANDRIEU, Jeremie; NICOLLE, Christophe. **A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform**. Future Directions in Building Information Modeling, Buildings 2013, Vol. 3(2), p. 380-398. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/buildings3020380>>. Acesso em 20 fev.2023.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br>

BIGGS, John. A Greener Future for Construction Through BEM. **Jobsite**. 2020. Disponível em: <<https://www.procore.com/jobsite/a-greener-future-for-construction-through-bem/>>. Acesso em 20 fev.2023.

CARRIER. **Hourly Analysis Program (HAP)**. 2020. Disponível em: <<https://carrierdobrasil.com.br/hourly-analysis-program/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

DESIGNBUILDER. 2023. Disponível em: <<https://designbuilder.co.uk/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

DOE. U. S. **Department of Energy**. Getting Started – EnergyPlus™ Version 22.2.0 Documentation. 2022.

DOE-2. 2016. Disponível em: <<https://www.doe2.com/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

DOMUS. 2022. Disponível em: <<https://domus.pucpr.br/>>. Acesso em 21 fev. 2023.

EDLSTAS. Tas: Thermal Analysis Software. 2020. Disponível em: <<https://www.edstas.com/about-tas/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

ENERGYPLUS. 2023. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

EPE. **Relatório Síntese 2022**: Balanço energético Nacional. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional2022>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.

FARIA, Roberta Carolina Assunção. **Experiência Grasshopper**: metodologia para análise digital, ambiental e termoenergética do ambiente construído. Ensaio teórico. Universidade de Brasília. 2017. Disponível em: <https://issuu.com/robertacfaria/docs/caderno_final_digital_>. Acesso em 04 fev 2023.

FOOD4RHINO. **Ladybug tools**. 2023. Disponível em: <<https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools>>. Acesso em 02 fev. 2023.

GBS. **Autodesk Green Building Studio**. 2023. Disponível em : <<https://gbs.autodesk.com/gbs>>. Acesso em 04 fev. 2023

GONÇALVES, Joana Carla Soares; MOURA, Norberto Corrêa da Silva; KUNIOCHI, Érica Mitie Umakoshi. **Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico.** Edifício Ambiental. Tradução. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Acesso em: 28 jan. 2023.

GRAPHISOFT. **EcoDesigner download.** 2023. Disponível em: <https://graphisoft.com/br/downloads/ecodesigner/ecodesigner_download>. Acesso em 20 fev. 2023.

HARISH, V.S.K.V.; KUMAR, Arun. **A review on modeling and simulation of building energy systems.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 56, April 2016, Pages 1272-1292. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

HENSEN, J.L.M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation for Design and Operation.** London, England: Routledge, 2019.

HERNANDES, Alberto. **Fundamentos da simulação energética. Edifício Ambiental.** Tradução. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Acesso em: 28 jan. 2023.

IBPSA. **BSim** - Building Simulation. 2023a. Disponível em: <<https://ibpsa-nordic.org/commercial%20software/bsim>>. Acesso em 04 fev. 2023.

IBPSA. **IDA Indoor Climate and Energy (ICE).** 2023b. Disponível em: <<https://ibpsa-nordic.org/commercial%20software/ida-ice>>. Acesso em 04 fev. 2023.

IBPSA. **Vip Energy.** 2023c. Disponível em: <<https://ibpsa-nordic.org/commercial%20software/vip%20energy>>. Acesso em 04 fev. 2023.

IESVE. 2023. Disponível em: <<https://www.iesve.com/software/trial>> Acesso em 21 fev. 2023.

INMETRO. **Conheça o Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>. Acesso em 10 fev.2023.

KOLAREVIC, B. Computing the Performative. p. 193-202. In: KOLAREVIC, B. **Performative Architecture. Beyond Instrumentality.** Spon Press, 29 West 35th Street, New York, NY 10001. 2005. 266 p.

LEOSAI. 2023. Disponível em: <<https://lesosai.com/logiciel/telechargements/>> Acesso em 21 fev. 2023.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; MATOS, Michele. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus.** Florianópolis. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2009. 24p.

NOGUEIRA, Igor César Ferreira. **Avaliação de desempenho térmico utilizando o energypus de uma edificação unifamiliar em light steel frame.** Monografia (graduação) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

ONU. **A ONU e o meio ambiente.** 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em 12 fev. 2023.

OPENSTUDIO. 2023. Disponível em: <<http://openstudio.net/>>. Acesso em 30 jan.2023

PARAMETRIC ARCHITECTURE. **Grasshopper 3D: A Modeling Software Redefining The Design Process.** 2021. Disponível em: <<https://parametric-architecture.com/grasshopper-3d-a-modeling-software-redefining-the-design-process/>>. Acesso em 02 fev. 2023.

PARAMETRICHOUSE. **Ladybug Grasshopper.** 2021. Disponível em: <<https://parametrichouse.com/ladybug-grasshopper/>>. Acesso em: 19 fev. 2023.

PAULSE, P. C. **Análise do desempenho termoenergético de escolas públicas segundo a aplicação do RTQ-C para envoltória.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás. Faculdade de Artes Visuais (FAV), Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, Goiânia. 2016.

PLOTNIKOV, B.,SCHUBERT, G. and PETZOLD, F. **Tangible Grasshopper: A method to combine physical models with generative, parametric tools.** eCAADe. v.3. P. 127-136. 2016.

PROCEL. **Domus Eletrobrás.** 2006. Acesso em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team=¶ms=itemID=%7B74729B3F-5A41-466E-8AA2-0CAE452ADBB3%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em 04 fev. 2023.

QUEIROZ, Gabriel Ramos. **Análise da Interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e EnergyPlus para a simulação térmica de**

edificações. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.

RALLAPALLI, H. S. **A comparison of EnergyPlus and eQUEST: whole building energy simulation results for a medium sized office building.** 84 p. Thesis (Master Program) –Arizona State University, Arizona, 2010.

RHINO3D. **Grasshopper** – New in Rhino 6. 2023a. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper/>>. Acesso em 01 fev. 2023.

RHINO3D. **Rhinoceros Features.** 2023b. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/features/>>. Acesso em 02 fev. 2023.

RIUSKA. 2023. Disponível em: <<https://riuska.software.informer.com>> Acesso em 21 fev. 2023.

ROUDSARI, Mostapha Sadeghipour; PAK, Michelle; SMITH, Adrian; GILL, Gordon. Ladybug: A parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally- conscious design. **13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry**, France, August 26-28, 2013.

RUTTEN, D. Galapagos On the Logic and Limitations of Generic Solvers. In: PETERS, B.; KESTELIER, X. Computation Work: The building of Algorithmic Thought. Architectural Design – AD. p. 132–135, 2013.

SBSE. **Energy Design Tools.** 2017. Disponível em: <<https://energy-design-tools.sbse.org/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

SBSE. **HEED:** Home Energy Efficient Design. 2022. Disponível em: <<https://energy-design-tools.sbse.org/heed/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

SBSE. **SBEED:** Small Building Energy Efficient Design. 2021. Disponível em: <<https://energy-design-tools.sbse.org/sbeed/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

SILVA, Verônica Lombardi; LOPES, Felipe; LABAKI, Lucila. **Estudo de eficiência energética em modelos tridimensionais de edifícios:** Parâmetros de modelagem com algoritmos evolutivos. XXVI Congresso de Iniciação Científica Unicamp, Campinas, Brasil. 2018. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2018P14066A12458O27.pdf>>. cesso em 04 fev.2023.

SIMULAÇÃO. In: Dicionário Priberam. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/SIMULA%C3%87%C3%83O>>. Acesso em 01 de fev. 2023.

SIMULAÇÃO. In: Dicionário Michaelis. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/Simula%C3%A7%C3%A3o/>> Acesso em 01 de fev. 2023.

SOUZA, Franklin Puker; SILVA, Arthur Santos. **Manual de Introdução à simulação computacional.** 1a Edição, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021. Disponível em: <https://ppgees.ufms.br/files/2021/04/MANUAL_de_introducao_%C3%A0_simulacao_catalogado-19.04.2021.pdf>. Acesso em: 28 de janeiro de 2023.

SUDDENLINK. **Energy Simulation Software for Aiding Building Design.** 2020. Disponível em: <<http://pages.suddenlink.net/enerwin/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

TRANE. **Trace 700.** 2022. Disponível em: <<https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/design-and-analysis-tools/trane-design-tools/trace-700.html>> Acesso em 21 fev. 2023.

TRNSYS. 2019. **Transient System Simulation Tool.** Disponível em: <<https://www.trnsys.com/>>. Acesso em 04 fev. 2023.

WILDE, P. D. **Computational support for the selection of energy saving building components.** 2004. Tese (Doutorado) - Delft University of Technology, Delft, 2004.

NOTA

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-graduação Projeto e Cidade. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

RECEBIDO EM: 27/01/2023

APROVADO EM: 09/08/2023

PUBLICADO EM: 20/08/2023