

Análise de ferramentas computacionais para customização de parâmetros lumínicos e térmicos da NBR 15.575 e integração com o formato IFC

Analysis of computational tools for customizing lighting and thermal parameters of NBR 15.575 and integration with the IFC format

Jéssica Santos Torres, mestranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais

jessica.santostorres15@gmail.com

Rejane Magiag Loura, Dra., professora associada do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais

rejane@arq.ufmg.br

Número da sessão temática da submissão – [06]

Resumo

A transformação digital no setor da construção e a norma NBR 15.575 demandam ferramentas computacionais capazes de simular desempenho lumínico e térmico integradas a fluxos de trabalho BIM (*Building Information Modeling*) interoperáveis. Este estudo analisa o potencial de customização e interoperabilidade no formato IFC (*Industry Foundation Classes*) de seis ferramentas computacionais: *Blender + Bonsai*, *FreeCAD*, *OpenFOAM*, *Ladybug Tools*, *Revit + pyRevit* e *Rhinoceros + Grasshopper*. Mediante pesquisa qualitativa, aplicou-se matriz de avaliação com sete critérios: demanda de processamento, customização, interface IFC, qualidade IFC, material de suporte, repositório oficial e custo. Como resultados, *Ladybug Tools* e *Rhinoceros + Grasshopper* apresentam maior potencial de customização para simulação conforme NBR 15.575, enquanto *Blender + Bonsai* destaca-se em interoperabilidade IFC. Contudo, nenhuma das ferramentas oferece solução completa, indicando a necessidade de desenvolvimentos específicos em funcionalidades ou *plugins*.

Palavras-chave: BIM; IFC; Processo de Projeto; Experiência do Usuário; Parâmetros de Simulação.

Abstract

The digital transformation in the construction sector and the NBR 15.575 standard demand computational tools capable of simulating lighting and thermal performance integrated into interoperable BIM (Building Information Modeling) workflows. This study analyzes the customization and interoperability potential in the IFC (Industry Foundation Classes) format of six computational tools: Blender + Bonsai, FreeCAD, OpenFOAM, Ladybug Tools, Revit + pyRevit, and Rhinoceros + Grasshopper. Through qualitative research, an evaluation matrix with seven criteria was applied: processing demand, customization, IFC interface, IFC quality, support material, official repository, and cost. As a result, Ladybug Tools and Rhinoceros + Grasshopper show the greatest potential for customization for simulation according to NBR 15.575, while Blender + Bonsai stands out in IFC interoperability. However, none of the tools offers a complete solution, indicating the need for specific developments in functionalities or plugins.

Keywords: BIM; IFC; Design Process; User Experience; Simulation Parameters.

1. Introdução

A construção civil passa, constantemente, por processos que transformam suas práticas projetuais, abrangendo desde a concepção até o desenvolvimento e a avaliação de projetos. Impulsionada pelo avanço das ferramentas digitais, essa transformação também passa pela reorganização dos próprios fluxos de trabalho. No contexto brasileiro, a norma NBR 15.575 (ABNT, 2021) representa um marco regulatório importante ao estabelecer requisitos mínimos de desempenho para sistemas construtivos habitacionais, incluindo critérios específicos para desempenho lumínico e térmico. Um aspecto relevante dessa norma é sua flexibilidade metodológica, pois o atendimento a esses requisitos pode ser comprovado tanto por métodos prescritivos quanto por métodos de simulação computacional. Neste método de simulação, cria-se uma representação computacional de um sistema do mundo real para analisar sua dinâmica e avaliar estratégias operacionais, sendo que a utilização de modelos BIM (*Building Information Modeling*) para esse fim representa uma solução relevante para avaliar alternativas de projeto desde as fases iniciais (Santos *et al.*, 2022).

Na busca pelo potencial do BIM em simulações de desempenho, partindo da premissa de integração, a interoperabilidade e a possibilidade de customização são essenciais na escolha das ferramentas computacionais. A interoperabilidade tem como objetivo tornar a troca de informações mais eficiente e produtiva, facilitando o fluxo de trabalho. No formato de interoperabilidade IFC (*Industry Foundation Classes*) cada objeto recebe uma classe IFC, que define sua função e comportamento no ambiente de modelagem (BuildingSmart, 2025). Essa classificação garante que os dados geométricos e não geométricos sejam organizados de maneira estruturada e compreensível para diferentes ferramentas e profissionais, assim garantido fluxos de trabalhos abertos e independentes de fornecedores específicos.

Ferramentas que permitem customização por meio de *APIs* (*Application Programming Interfaces*), linguagens de *script* e desenvolvimento de *plugins* possibilitam a automação de tarefas repetitivas, a integração entre domínios de análise e a adaptação a contextos regulatórios específicos. Essa flexibilidade técnica demanda e, ao mesmo tempo, possibilita um novo perfil profissional: o projetista programador. Com habilidades interdisciplinares, esse arquiteto ou engenheiro utiliza a programação para criar recursos e resolver problemas, atuando de forma mais autônoma e direta no fluxo de projeto (Silva *et al.*, 2019).

A relação entre a NBR 15.575, o processo BIM e as ferramentas de simulação computacional pode ser analisada sob a perspectiva da experiência do usuário (*UX*). Embora a norma estabeleça requisitos de desempenho voltados ao usuário final, a conformidade desses parâmetros depende diretamente da experiência de arquitetos com a norma e aplicação dela nas ferramentas de modelagem e simulação. Ferramentas centradas no usuário que combinam avaliação em tempo real e otimização geram recomendações interpretáveis e alternativas de projeto, aumentando a participação dos arquitetos no processo de projeto orientado ao desempenho (Li *et al.*, 2023). Por fim, ferramentas de simulação integradas ao processo BIM favorecem análises de desempenho desde as etapas iniciais do projeto, essa integração agiliza a avaliação preliminar de alternativas e permite a verificação automatizada de conformidade de códigos (Garcia *et al.*, 2020).

Este artigo propõe uma análise do potencial de customização e interoperabilidade de seis ferramentas computacionais aplicáveis a projetos, visando a dois objetivos principais: analisar a capacidade dessas ferramentas para criar *plug-ins* e/ou *scripts* voltados para a simulação computacional da NBR 15.575, com foco em desempenho lumínico e térmico, e avaliar sua integração com o formato IFC.

2. Caracterização das Ferramentas Computacionais

Este capítulo caracteriza as seis ferramentas computacionais selecionadas, por meio de revisão técnica que integra a documentação oficial e artigos publicados entre 2020 e 2025. A abordagem descreve brevemente cada ferramenta e contextualiza sua aplicação prática em pesquisas recentes. A justificativa e o processo de seleção são apresentados no capítulo metodológico “3.1 Levantamento das Ferramentas Computacionais”.

2.1. Blender + Bonsai

Desenvolvido pela *Blender Foundation* desde 2002, o *Blender* constitui-se primariamente como uma ferramenta de código aberto para modelagem, animação e renderização 3D. É uma iniciativa acessível ao público, regida pela Licença Pública Geral (GNU) e de propriedade coletiva de seus colaboradores, além do acesso gratuito e perpétuo (Blender, 2025). A ferramenta tem sua estrutura extensível, baseada em *Python*, que permite a criação de ferramentas especializadas para diversos setores.

Na construção civil, no contexto da modelagem tridimensional voltada para fluxo de trabalho BIM, o *Blender* se destaca como uma alternativa gratuita e código aberto que, quando integrado a extensão *Bonsai* (anteriormente *BlenderBIM*), possibilita a manipulação completa de dados no formato IFC. O *Bonsai* fornece uma interface gráfica mais centrada no usuário e organizada sistematicamente, permitindo que os usuários interajam com arquivos IFC de maneira intuitiva, sem precisar de interação direta com o código-fonte do *IFC OpenShell* (Garlet; Dias; Melo, 2025). A integração do *Blender* com o *Bonsai* viabiliza, portanto, a manipulação e o enriquecimento de modelos IFC de forma automatizada, o que favorece sua utilização em simulações de desempenho ao assegurar a padronização e a completude das informações necessárias (Garlet; Dias; Melo, 2025).

2.2. FreeCAD

O *FreeCAD* é uma ferramenta de modelagem tridimensional paramétrica de código aberto, com origem em 2001, voltada para a criação de objetos tangíveis de dimensões variadas (Freecad, 2025). Seu desenvolvimento é apoiado por uma grande comunidade de usuários e desenvolvedores, o que resultou em um contínuo enriquecimento de suas ferramentas para áreas como arquitetura e engenharia (Diara, 2022). A organização da sua estrutura modular contribui para seu caráter multiplataforma e customizável com suporte à leitura e escrita em diversos formatos de arquivo abertos (Freecad, 2025). A ferramenta permite personalização,

no qual suas bibliotecas, pacotes e *plugins* podem ser adaptados ao contexto de um projeto específico (Diara, 2022).

O núcleo principal do *FreeCAD* é codificado em *C++*, enquanto uma parte considerável das camadas externa, bancos de trabalho (*workbenches*) e quase toda a comunicação entre o núcleo e a interface do usuário são codificadas em *Python*, permitindo codificar ferramentas próprias (FreeCAD, 2025). Com relação a interoperabilidade, o *FreeCAD* oferece suporte aos esquemas IFC, permitindo projetar classificações personalizadas em seu ambiente, além de associar essa classificação IFC a objetos paramétricos customizados (Diara, 2022).

2.3. Ladybug Tools

O *Ladybug Tools* é um conjunto de ferramentas gratuitas, de código aberto e que permite executar *scripts* em *Python*. Seu desenvolvimento começou em 2012, e ele opera por meio de uma série de *plugins* para ambientes de modelagem paramétrica para simulações e análises ambientais (Ladybug Tools, 2025). As ferramentas possibilitam customização, permitindo aos usuários personalizar fluxos de trabalho para avaliação interativa de parâmetros como geometria, materiais e climas, o que viabiliza uma tomada de decisão informada durante o processo de projeto (Nicholson *et al.*, 2024).

Quanto à interoperabilidade com modelos BIM, as ferramentas não oferecem suporte direto e nativo no formato IFC. Um possível fluxo de trabalho consiste em importar os arquivos para o *Autodesk Revit* e utilizar o *plugin Pollination Revit* para converter o modelo para ferramentas de simulação ambiental. A plataforma comercial *Pollination* estende as funcionalidades, focada em extrair e exportar modelos a partir do *Revit* ou do *Rhinoceros* para análise de desempenho. Sua proposta é reduzir o tempo de preparação ao converter dados de projeto em formatos nativos de simuladores, além de oferecer recursos para trabalho em nuvem e colaboração em equipe (Pollination, 2025).

2.4. OpenFOAM

O *OpenFOAM* (*Open Field Operation and Manipulation*) é uma ferramenta gratuita e de código aberto para Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), desenvolvida pela *OpenCFD Ltd* desde 2004 e distribuída sob a Licença Pública Geral. Seu desenvolvimento é sustentado por um modelo colaborativo que envolve uma comunidade internacional ativa de acadêmicos e profissionais da indústria (OpenFOAM, 2025). A CFD refere-se ao conjunto de métodos numéricos para analisar e resolver problemas que envolvem escoamentos de fluidos, transferência de calor e fenômenos relacionados, sendo uma ferramenta com potencial para áreas como engenharia e ciências ambientais (Guo *et al.*, 2022).

A ferramenta permite customização dos modelos CFD, o que viabiliza, por exemplo, seu acoplamento com simuladores de energia predial para análise de ventilação natural e conforto térmico (Guo *et al.*, 2022). No âmbito da interoperabilidade com processos de projeto de edifícios, o *OpenFOAM* é utilizado em estruturas que automatizam a criação de modelos CFD a partir de dados padronizados no formato IFC (Richter; Treeck; Frisch, 2024). Esta integração

visa reduzir o esforço manual tradicionalmente associado à preparação de geometrias e à definição de condições de contorno para simulações CFD no setor da construção, aproveitando dados semânticos do modelo BIM (Richter; Treeck; Frisch, 2024).

2.5. Revit + pyRevit

O *Revit* é uma ferramenta computacional da *Autodesk* que permite trabalhar com processos BIM com ampla adoção no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O *pyRevit* é uma extensão de código aberto que permite executar *scripts* em *Python* diretamente no *Revit* para automação de rotinas, desenvolvimento de funcionalidades e conexão com outras *APIs* (pyRevit Labs, 2025). Criado por Ehsan Iran-Nejad e sustentado por uma comunidade global de colaboradores, a sua estrutura permite criar extensões rápidas, sem a etapa tradicional de compilação, ao utilizar duas ferramentas especializadas: o *IronPython*, para a comunicação direta com a *API .NET* do *Revit*, e o *CPython*, para tarefas genéricas e bibliotecas externas (pyRevit Labs, 2025).

O *pyRevit* oferece uma interface integrada e acessível mesmo para usuários sem familiaridade com programação (Silva, 2024). Sua aplicação é demonstrada em pesquisas que automatizam a extração de quantidades e o cálculo de carbono incorporado em modelos BIM, integrando-os a bancos de dados de avaliação do ciclo de vida (Parece *et al.*, 2024). Em relação à interoperabilidade, o *Revit* oferece suporte nativo à exportação e importação do formato IFC (Autodesk Revit, 2025). No entanto, a literatura revisada não identificou metodologias replicáveis que utilizem o *pyRevit* especificamente para análise de desempenho ambiental, apesar do suporte da *API* do *Revit* a verificações automatizadas. Para operar, o *pyRevit* requer uma instalação prévia do *Revit*. O *Revit*, como ferramenta proprietária da *Autodesk*, exige uma licença com custos mensais ou anuais (Autodesk Revit, 2025), o *pyRevit* é distribuído sem custos sob a Licença Pública Geral (pyRevit Labs, 2025).

2.6. Rhinoceros + Grasshopper

O *Rhinoceros* (*Rhino*) e seu ambiente nativo de programação visual, *Grasshopper*, constituem um padrão consolidado para modelagem, parametrização e análise de desempenho. Desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates*, o *Rhino* é uma ferramenta de modelagem 3D com núcleo baseado na tecnologia *NURBS* (*Non-Uniform Rational B-Splines*), uma representação matemática que confere precisão e controle flexível sobre geometrias complexas (Robert McNeel & Associates, 2025).

O *Grasshopper*, integrado de forma nativa, permite a construção de algoritmos generativos e a exploração paramétrica sem exigir conhecimento profundo em *script* ou programação textual, sendo ampliado por uma extensa biblioteca de *plugins* para simulação e otimização de geometrias complexas (Robert McNeel & Associates, 2025). Nessa estrutura, a manipulação da geometria é controlada por uma matriz de nós, permitindo o controle algorítmico e consolidando a ferramenta para fluxos de trabalho que integram geração geométrica à análise de desempenho em edificações (Yang *et al.*, 2024; Ji *et al.*, 2023).

Quanto à interoperabilidade com modelos BIM, a exportação e importação nativa para formato IFC não é suportada diretamente no *Rhino/Grasshopper*, sendo necessário recorrer a automações e extensões. As ferramentas oferecem suporte ao desenvolvimento de *scripts* em linguagens como *Python* e *C#*, além da criação de componentes e *plugins* personalizados (Robert McNeel & Associates, 2025). Comercialmente, o *Rhinoceros* é disponibilizado sob licença proprietária paga, enquanto o *Grasshopper* é oferecido como uma extensão gratuita de instalação automática e integrada.

3. Procedimentos Metodológicos

Do ponto de vista metodológico, desenvolveu-se uma pesquisa qualitativa, de natureza descritiva e analítica, organizada em cinco etapas principais: (1) levantamento das ferramentas computacionais; (2) definição do modelo de análise, que compreendeu a classificação da experiência de uso em três níveis, o desenvolvimento dos critérios de avaliação e a definição das escalas; (3) aplicação do modelo de análise; (4) comparação das ferramentas e à interpretação dos resultados e (5) elaboração das considerações finais.

3.1. Levantamento das Ferramentas Computacionais

Realizou-se uma pesquisa exploratória para mapear ferramentas computacionais com potencial de customização para simulação de desempenho de projetos. As fontes consultadas foram plataformas de divulgação (como sites oficiais, *YouTube* e *LinkedIn*) e a literatura científica. O mapeamento inicial resultou em 13 ferramentas potenciais. Refinou-se a busca com triagem prática baseada na experiência das pesquisadoras, avaliando usabilidade e relevância operacional para o contexto da pesquisa. Em seguida, aplicou-se o critério de elegibilidade científica, selecionando as ferramentas para as quais já existiam análises, aplicações ou validações documentadas em artigos científicos correlatos ao tema, publicados entre 2020 e 2025. Reconhece-se que essa abordagem não esgota o universo de ferramentas existentes, configurando recorte intencional e fundamentado. Desse processo, seis ferramentas foram selecionadas para a análise aprofundada.

3.2. Experiência de Uso

A experiência de uso configura-se como uma variável metodológica relevante, devido à sua possível influência na percepção sobre usabilidade, curva de aprendizado e potencial de customização das ferramentas avaliadas. Reconhece-se a heterogeneidade na familiaridade prévia das pesquisadoras com as seis ferramentas. Portanto, neste estudo, adota-se uma abordagem de transparência, declarando-se o nível de experiência para cada ferramenta e priorizando-se critérios objetivos para a avaliação. A classificação da experiência foi realizada em três níveis, definidos com base no tempo de uso e na profundidade de domínio: Nível 1 - Familiaridade Inicial; Nível 2 - Domínio Operacional; Nível 3 - Domínio Consolidado.

3.3. Critérios de Avaliação

Definiram-se sete critérios de avaliação (Quadro 1), alinhados aos objetivos da pesquisa, os quais foram aplicados como parâmetros objetivos para orientar a coleta e interpretação de dados.

Quadro 1: Especificação dos critérios.

Critérios de de Avaliação		
Critério (C)	Descrição	Tipo de Escala
Demanda de Processamento (C1)	Avaliação dos requisitos (sistema, <i>hardware</i>) e testes práticos para avaliar a acessibilidade e a viabilidade de implantação em configurações computacionais típicas da área de arquitetura.	Escala Ordinal 1 a 5 pontos
Potencial de Customização (C2)	Investigação das possibilidades de estender e personalizar as funcionalidades da ferramenta via <i>plugins</i> ou <i>APIs</i> para criação de estruturas personalizadas com foco no objetivo da pesquisa.	Escala Ordinal 1 a 5 pontos
Interface IFC (C3)	Identificação da presença ou ausência de funcionalidades nativas de importação/exportação do formato IFC.	Escala Binária
Qualidade do Suporte IFC (C4)	Avaliação da qualidade na troca de dados geométricos e propriedades semânticas.	Escala Ordinal 1 a 5 pontos
Material de Suporte (C5)	Análise da disponibilidade e qualidade dos recursos de aprendizagem, suporte, documentação oficial, tutoriais e fóruns.	Escala Ordinal 1 a 5 pontos
Interação Repositório Oficial (C6)	Análise da atividade, atualizações, manutenção, engajamento e resolução de problemas no repositório oficial da ferramenta.	Escala Ordinal 1 a 5 pontos
Custo (C7)	Identificação do modelo de licenciamento (gratuita ou licença comercial).	Escala Binária

Fonte: As autoras (2026).

3.4. Escalas de Avaliação

Destaca-se as escalas de avaliação para a análise comparativa das seis ferramentas selecionadas. A estrutura baseia-se em uma abordagem multicritério, que permite avaliar objetivamente cada ferramenta, alinhado ao objetivo da pesquisa. Foram adotadas duas escalas de mensuração, conforme a natureza de cada critério:

Escala Ordinal (Tipo Likert de 5 pontos): Aplica-se a critérios que admitem gradação de desempenho ou adequação, conforme disposto no Quadro 2.

Quadro 2: Escala para critérios com gradação.

Escala Ordinal (Tipo Likert de 5 pontos)	
1= Totalmente Inadequado/ Nulo	Requisito não atendido
2= Parcialmente Inadequado/ Baixo	Atende de forma limitada, com obstáculos significativos
3= Mínimo Adequado / Satisfatório	Atende ao básico, mas exige adaptação
4= Bem Adequado / Alto	Atende bem e com vantagens, pouco esforço extra
5= Excepcionalmente Adequado / Excelente	Supera as expectativas

Fonte: As autoras (2026).

Escala Binária: Aplica-se a critérios que avaliam a presença ou ausência de funcionalidades específicas, sem gradações intermediárias. Sim = A funcionalidade está presente e funciona; Não = A funcionalidade está ausente ou não possui suporte oficial.

3.5. Avaliação

As seis ferramentas foram avaliadas pela experiência prática de uso e em critérios predefinidos (C1 a C7), com objetivo de se obter uma resposta para cada um deles. Os testes práticos constituíram a base principal da investigação, sendo complementados pela análise da documentação oficial, repositórios e literatura especializada. Os critérios C1, C2, C4, C5 e C6 foram pontuados por meio da Escala Ordinal de 1 a 5. Para Demanda de Processamento (C1), por exemplo, a pontuação 1 indica requisitos de sistema muito elevados, enquanto 5 aponta alta eficiência e acessibilidade. Já os critérios C3 e C7 foram classificados pela escala Binária (Sim/Não), como na avaliação da presença ou da ausência da interface IFC. Dessa forma, integrou-se a percepção prática a uma análise objetiva e fundamentada em dados.

4. Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados da avaliação comparativa das ferramentas em relação aos sete critérios definidos, além do respectivo nível de experiência de uso declarado.

Tabela 1: Matriz de Avaliação das Ferramentas Computacionais

Matriz	Blender + Bonsai	FreeCAD	Ladybug Tools	OpenFOAM	Revit + pyRevit	Rhinoceros + Grasshopper
Experiência de Uso	Nível 2	Nível 1	Nível 3	Nível 1	Nível 3	Nível 3
C1	3	4	4	2	3	3
C2	4	3	4	4	3	4
C3	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não
C4	5	3	2	1	4	2
C5	4	3	5	3	3	5
C6	4	5	5	5	3	4
C7	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Fonte: As autoras (2026).

A Figura 1 apresenta o gráfico das pontuações médias de cada ferramenta:

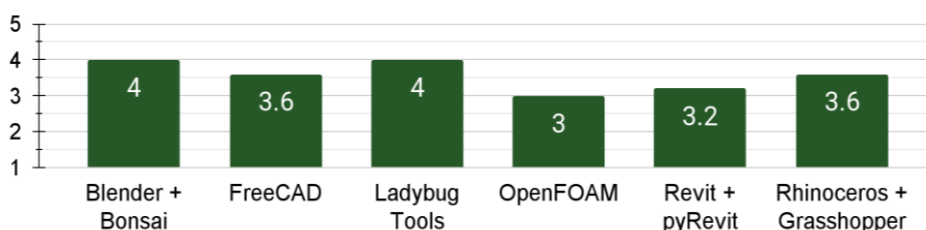


Figura 1: Média dos Critérios da Escala Ordinal. Fonte: As autoras (2026).

As médias foram calculadas com base nas notas atribuídas aos critérios que utilizaram a Escala Ordinal de 1 a 5 pontos (C1, C2, C4, C5 e C6), permitindo uma comparação visual direta do seu desempenho na avaliação realizada.

5. Análise dos Resultados e Discussões

A matriz de avaliação consolidada (Tabela 1) demonstra perfis tecnológicos distintos entre as seis ferramentas analisadas. Este capítulo apresenta análise dos resultados de cada ferramenta considerando os sete critérios estabelecidos.

A combinação *Blender + Bonsai* obteve média geral (4.0), destacando-se pelo suporte IFC excepcional (5/5), sendo uma implementação de referência *buildingSmart* compatível com IFC 4.3. O potencial de customização é alto (4/5) com extensibilidade em *Python* que propicia o desenvolvimento de *scripts* para simulações da NBR 15.575, mas depende da integração com motores externos, como *Radiance* e *EnergyPlus*. Seu repositório é ativo (4/5) e o material de suporte de alta qualidade (4/5), embora a curva de aprendizado exija dedicação do usuário, dada a versatilidade da ferramenta. A demanda de processamento é moderada (3/5), necessitando de *hardware* dedicado em projetos complexos. Por ser gratuita e de código aberto, oferece boa relação custo-benefício para o meio acadêmico e escritórios.

O *FreeCAD*, com média (3.6), também é gratuito e de código aberto, com baixa demanda de processamento (4/5). Oferece customização satisfatória (3/5) via módulos especializados e em *Python*, mas carece de uma interface de programação visual (VPL). O suporte IFC satisfatório (3/5) para trocas geométricas básicas, porém com perda de dados semânticos. Seu repositório se destaca (5/5), enquanto o material de suporte é satisfatório (3/5). Para a NBR 15.575, é mais adequado para modelagem paramétrica e exportação de geometria para processamento externo, sendo necessários avanços significativos para simulação integrada.

O *Ladybug Tools* alcançou média (4.0), consolidando-se como a solução mais madura para simulação paramétrica de desempenho ambiental. Destaca-se pelo material de suporte excelente (5/5) e repositório hiperativo (5/5), refletindo um ecossistema robusto e bem documentado. Seu potencial de customização é alto (4/5) principalmente em ambientes de programação visual como o *Grasshopper*. A demanda de processamento é baixa (4/5) para interface, pois as simulações complexas podem ser terceirizadas para a nuvem pelo *Pollination*. A principal limitação é o suporte IFC variável (2/5), dependente de conversores externos. Embora gratuito, para uso das soluções prontas, depende de ferramentas hospedeiras como o *Rhino* ou *Revit* com custos associados.

O *OpenFOAM* com média (3.0), é especializado em CFD, focado em simulações de ventilação e fluxo de ar. Tem suporte IFC praticamente nulo (1/5), exigindo conversão complexa de geometria. A demanda de processamento é limitada (2/5), pois exige *hardware* especializado principalmente para simulações. Oferece alta customização (4/5) para especialistas que desenvolvem em *C++/Python* e com conhecimento avançado em mecânica dos fluidos. Seu repositório é hiperativo (5/5), enquanto o material de suporte é satisfatório (3/5). Para NBR 15.575, tem potencial de simulação e análises de desempenho térmico.

O *Revit + pyRevit* mantém relevância como padrão de mercado, com média (3.2). Oferece alto suporte IFC (4/5), embora possa precisar de alguns ajustes. O potencial de customização é satisfatório (3/5), ampliado pela estrutura do *pyRevit* para automação em *Python*, porém exige do processamento (2/5). O material de suporte e atividade do repositório são satisfatórios (3/5). A limitação principal é a estrutura proprietária e os custos de licença. Para a NBR 15.575, integra-se a ferramentas como o *Pollination* para análises, mas com custos.

O *Rhinoceros + Grasshopper* com média (3.6), destacando-se pelo excelente material de suporte (5/5) e alto potencial de customização (4/5) por meio de programação visual. A demanda de processamento é satisfatória (3/5), mas o suporte IFC é limitado (2/5), pois depende de extensões de qualidade variável. A integração nativa com *Ladybug Tools* tem alto potencial para simulação paramétrica de desempenho. Oferece licenças permanentes (custo único) e descontos especiais para educação. Sendo uma solução interessante para design paramétrico e desenvolvimento de estruturas personalizadas para NBR 15.575.

A discussão evidencia a ausência de uma solução única e completa, destacando a necessidade de integração entre ferramentas especializadas. Mesmo as mais bem pontuadas, como *Blender + Bonsai* e *Ladybug Tools*, mostram-se insuficientes quando utilizadas de forma isolada.

6. Considerações Finais

Este estudo, ao avaliar seis ferramentas computacionais quanto ao potencial de customização e integração via formato IFC para simulação de desempenho lumínico e térmico da NBR 15.575, demonstrou que a implementação eficiente exige fluxos de trabalho integrados, pois nenhuma delas se apresenta como uma solução completa e pronta. *Ladybug Tools* e *Blender + Bonsai* destacam-se como as opções mais equilibradas, combinando alto potencial de customização, suporte de qualidade, além de gratuitas e *open source* (código aberto). A primeira consolida-se como referência para simulações ambientais paramétricas, enquanto a segunda destaca-se pela excelência na interoperabilidade via IFC.

A viabilidade prática dessa integração demanda estruturação de fluxos BIM centrados no IFC para reduzir retrabalhos e garantir consistência de dados entre modelagem, simulação e análises de desempenho. Ferramentas *open source* ampliam significativamente a acessibilidade, mas demandam dedicação para o aprendizado, dependem de materiais de suporte adequados e requerem integração com motores de simulação externos, como por exemplo, *Radiance* e *Energyplus*. O IFC mantém-se como padrão indispensável para a troca de dados. No entanto, para que atenda plenamente à integração de análises de desempenho sua implementação requer eficiência, especialmente na preservação dos dados e geometria.

Como direcionamentos futuros, recomendam-se: o desenvolvimento de extensões *open source* que integrem diretamente critérios da NBR 15.575 aos processos BIM; definição de especificações IDS (*Information Delivery Specification*) para desempenho lumínico e térmico; e validação prática de fluxos de trabalho integrados em projetos ou modelos de referência, demonstrando sua aplicabilidade e eficiência. A transformação digital na construção civil brasileira demanda, portanto, ferramentas que combinem customização, interoperabilidade

e acessibilidade, fortalecendo a avaliação de desempenho como prática integrada ao processo de projeto.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: 2021**. Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT.

AUTODESK. Interoperabilidade BIM. Autodesk AEC Solutions, c2025. Disponível em: <https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim/interoperability>. Acesso: 22 dez. 2025.

BLENDER FOUNDATION. Blender: the free and open source 3D creation suite. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso: 21 dez. 2025.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. buildingSmart International: driving the digital transformation of the built asset industry. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/>. Acesso: 21 dez. 2025.

DIARA, Filippo. HBIM open source: a review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 11, n. 9, p. 472, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijgi11090472>

FREECAD PROJECT. FreeCAD: your own 3D parametric modeler. Disponível em: <https://www.freecad.org/>. Acesso: 21 dez. 2025.

GARCIA, Marina da Silva; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; FREITAS, Maíra Louise Martins de; VELOSO, Ana Carolina de Oliveira. Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 69–83, 2020. DOI:10.11606/gtp.v15i2.161997

GARLET, Liège; DIAS, Carlos Alexandre; MELO, Ana Paula. Processo automatizado para o enriquecimento de modelos IFC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2025. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7497

GUO, Weihong; LIANG, Sheng; HE, Yiwei; LI, Weiwei; XIONG, Bo; WEN, Hongyan. Combining EnergyPlus and CFD to predict and optimize the passive ventilation mode of medium-sized gymnasium in subtropical regions. **Building and Environment**, v. 207, part. A, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108420>

JI, Yunzhu; XU, Minghao; ZHANG; Tong; HE, Yingdong. Intelligent parametric optimization of building atrium design: A case study for a sustainable and comfortable environment. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4362, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15054362>

LADYBUG TOOLS. Ladybug Tools: making environmental design knowledge and tools freely accessible to every person, project and design process. Disponível em: <https://www.ladybug.tools/>. Acesso: 21 dez. 2025.

LI, Xiaoqian; HAN, Zhen; SUN, Jiaqi; LIU, Gang. Venis: A designer-centric support tool for building performance design at early design stages. **Journal of Building Engineering**, v.63,

part A, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105429>

NICHOLSON, Sinéad; NIKOLOPOULOU, Marialena; RICHARD, Watkins; LÖVE, Monika; RATTI, Carlo. Data driven design for urban street shading: Validation and application of ladybug tools as a design tool for outdoor thermal comfort. **Urban Climate**, v.56, p.10204, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102041>

OPENFOAM FOUNDATION. OpenFOAM: the open source CFD toolbox. Disponível em: <https://www.openfoam.com/>. Acesso: 21 dez. 2025.

PARECE, Sara; COSTA, Tiago; GONÇALVES, Tiago; RODRIGUES, Paulo; RESENDE, Ricardo. Uma ferramenta baseada em BIM para a avaliação expedita do carbono incorporado utilizando o sistema de classificação SECClass. In: 5º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 2024, Portugal. **Anais [...]**. Portugal: [Editora], 2024. p. 223-234. DOI: <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.18>

POLLINATION. Pollination: stop redrawing energy models from scratch. Disponível em: <https://www.pollination.solutions/>. Acesso: 21 dez. 2025.

PYREVIT LABS. pyRevit: RAD tools for Autodesk Revit. Disponível em: <https://www.pyrevitlabs.io/>. Acesso: 21 dez. 2025.

RICHTER; Veronika Elisabeth; TREECK, Christoph Van; FRISCH, Jérôme. Extending an IFC-based Framework to include an Automated CFD-Setup using Pre-Computed Boundary Conditions. In: Proceedings of BauSim Conference 2024: 10th Conference of IBPSA-Germany and Austria. **Anais eletrônicos [...]**. [S. l.: s. n.], p. 72-79, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26868/29761662.2024.10>

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. Rhinoceros 3D: Grasshopper. 2025. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/>. Acesso em: 08 dez. 2025.

SANTOS, Julia dos; ALCÂNTARA, Bárbara; SOUZA, Wesley; SALGADO, Mônica. Utilização do BIM como apoio à simulação para análise do desempenho das edificações: : uma revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.1963>

SILVA, Kevin Mauricio Guedes (Sondotécnica Engenharia). Automação da modelagem e detalhamento de longarinas protendidas com uso do Dynamo. In: CONGRESSO A ERA BIM, 7., 2024, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Sinaenco, 2024. p. 228-241. DOI:10.5281/zenodo.14476788

SILVA, Juliano Lima da; MUSSI, Andréa Quadrado; SILVA, Thaísa Leal da; ZARDO, Paola; RIBEIRO, Lauro André. Desenvolvimento de plug-ins voltados para a análise de requisitos da Norma de Desempenho Brasileira. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 46–64, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.147285>

YANG, Lijun; GAO, Xuexiang; CHEN, Song; LI, Qian Yao; BAI, Shuo. A 3D Parameterized BIM-Modeling Method for Complex Engineering Structures in Building Construction Projects. **Buildings**, v. 14, n. 6, p. 1752, 2024. DOI:<https://doi.org/10.3390/buildings14061752>