

DESENVOLVIMENTO DE PLUG-INS VOLTADOS PARA A ANÁLISE DE REQUISITOS DA NORMA DE DESEMPENHO BRASILEIRA

ARTIGO

Development of plug-ins focused on analyzing requirements of the Brazilian Performance Standard

Juliano Lima da Silva¹, Andréa Quadrado Mussi¹, Thaís Leal da Silva¹, Paola Zardo¹, Lauro André Ribeiro^{1,2}

RESUMO: Entre as potencialidades do *Building Information Modeling* está a tomada de decisões com base em verificações e simulações de um modelo. Contudo, este processo pode tornar-se complexo se as informações não são acessíveis ou se o software BIM utilizado não conta com funcionalidades para manipulá-las. Neste cenário, a programação na engenharia e arquitetura surge como uma maneira de customizar soluções, ultrapassar as limitações de software e consequentemente, ampliar a capacidade de tomada de decisão em etapas cada vez mais preliminares do projeto. No presente trabalho, tem-se como objetivo o desenvolvimento de ferramentas de programação para projetos, por meio de plug-ins voltados para a integração de informações, possibilitando análise e exploração de alternativas em um modelo. Para atingir este objetivo, foram desenvolvidas ferramentas voltadas para verificação de requisitos da Norma de Desempenho em um software BIM. O método utilizado para conduzir a pesquisa é o *Design Science Research*, abordagem construtiva voltada para o desenvolvimento de artefatos vinculados a um tema específico, como um meio de prescrever uma solução para um problema de cunho prático. Como resultado, é apresentada a etapa de construção de artefatos da pesquisa na forma de dois plug-ins: um voltado para a estimativa do desempenho acústico de vedações verticais, e outro para a estimativa da iluminância interna de ambientes. Conclui-se que o processo de criação de ferramentas pelos projetistas possibilita, além de automatizar muitos dos processos de verificação de projeto, a adequação às particularidades de uma variedade de possíveis cenários específicos, podendo tornar a programação de softwares BIM uma maneira de ultrapassar limitações de plataformas e auxiliar na tomada de decisões de projeto em etapas preliminares do processo de desenvolvimento do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: BIM. *Design Science Research*. Programação. Norma de Desempenho. *Dynamo*.

ABSTRACT: Among the potentialities of Building Information Modeling, decision-making based on model verifications and simulations is one to be highlighted. However, this process can become complex if the information is not accessible or if the BIM software used does not have functionalities to manipulate it. In this context, programming in engineering and architecture emerges as a way of customizing solutions, overcoming software limitations and, consequently, improving decision-making capacity during design in preliminary stages. In the present paper, the objective is to develop programming tools for project design, by plug-ins aimed at integrating information, making it possible to analyze and explore alternatives in a model. In order to meet this objective, tools were developed to verify the requirements of the Brazilian Performance Standard in BIM software. The method used to guide the development of the study is Design Science Research, a constructive approach to the development of artifacts linked to a specific theme as a means of prescribing a solution to a practical problem. As a result, the research artifact construction stage is presented by means of two plug-ins: one aimed at estimating the acoustic performance of vertical partition walls, and another for estimating the internal illuminance of rooms. It is concluded that the process of tool creation by designers allows, in addition to automating many of the project verification processes, the adequacy to particularities of a variety of possible specific scenarios, being able to make BIM software programming a way to overcome limitations of platforms and assist design decision making in early stages of the design development process.

KEYWORDS: Auxetics; Computational Design; Form-Finding; Synclastic Shell; 3D-printing.

How to cite this article:

SILVA, K. L.; MUSSI, A. Q.; SILVA, T. L.; ZARDO, P.; RIBEIRO, L. A. Desenvolvimento de plug-ins voltados para a análise de requisitos da norma de desempenho brasileira. *Gestão e Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v.14, n. 2, p.46-64, 2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.147285>



¹ Faculdade Meridional - IMED

² Universidade de Coimbra - INESC

Fonte de financiamento:

PROSUP, CAPES e IMED

Conflito de Interesse:

Declara não haver.

Submetido em: 18/06/2018.

Aceito em: 13/02/2019.

INTRODUÇÃO

Assim como a inovação tecnológica fez com que a maneira como arquitetos trabalhavam em relação ao desenho em papel evoluísse, com *softwares* CAD (*Computer Aided Design*) substituindo atividades manuais e repetitivas, algo semelhante poderá acontecer em relação a evolução dos softwares voltados para projeto arquitetônico. Já que a utilização destes softwares requer uma nova gama de competências de seus profissionais (CELANI et al., 2015).

Neste cenário, a implementação de BIM faz com que profissionais passem a compreender novas possibilidades em seus processos de projeto, deixando de utilizar ferramentas computacionais de desenho 2D apenas para gerar documentos, mas sim para realizar análises e simulações em ambientes 3D, explorando múltiplas alternativas de projeto antes de tomar suas decisões (KEUOUGH; HAUCK, 2017). Segundo Holzer (2015), as consequências destes avanços com o BIM alteram profundamente o papel do arquiteto e engenheiro, pois modificaram a maneira como projetos são pensados, desenvolvidos e compartilhados, aumentando também a responsabilidade e poder de decisão dos profissionais. Para Keough e Hauck (2017), assim como os projetistas do futuro terão um escopo muito maior de alternativas para soluções de projeto, também necessitarão intensificar o uso da computação em seus processos – por meio da otimização, gerenciamento de informações, design generativo e adaptativo.

Nestas situações, conforme a complexidade e a abundância de informações interdisciplinares aumentam e são inseridas em modelos BIM, se faz necessário desenvolver soluções que tratem tais informações de forma adequada e as considerem, efetivamente, no processo de projeto de engenheiros e arquitetos (GARBER, 2009). Assim, surgem novas competências para que estas profissões atuem de maneira ótima. Dentre tais competências, Holzer (2015) destaca o *Scripting* ou Programação como algo que ainda possui um papel que está sendo descoberto na arquitetura. Trata-se de um campo interdisciplinar entre a arquitetura e a tecnologia da informação, destacada por alguns escritórios renomados na área de arquitetura, como Arup, Foster & Partners e Zaha Hadid, que têm investido em contratar programadores, visando desenvolver soluções específicas para concepção projetual (CELANI et al., 2015).

Retomando o fato de a computação estar consideravelmente inserida no cotidiano profissional do projetista, Aish (2003) destaca que a presença de interfaces de programação em *softwares* CAD é primordial para possibilitar o processo de projeto voltado para a exploração de alternativas, em detrimento da mera geração de documentação. Além disso, o uso da programação por projetistas se torna necessário para atingir o completo potencial de uso de suas ferramentas de trabalho, abrindo portas para interações e refinamentos nos modelos. Contudo, o autor aponta um entrave: tais *softwares* por vezes não são criados por arquitetos e sim por profissionais exclusivamente de áreas ligadas à computação ou afins.

Seguindo nesta perspectiva, Ferreira e Leitão (2015) relatam que as interfaces básicas de *softwares* não contemplam os graus de flexibilidade e abstração necessários para atender as demandas específicas dos projetistas, com dificuldades relacionadas à geometria complexa, tarefas repetitivas e exploração de diferentes soluções. Além disto, os *softwares* funcionam como uma caixa preta, dotada de funcionalidades restritas, o que impede que o usuário interaja com a informação em situações de maior complexidade, devido a limitações inerentes e necessidade de inputs muito específicos (AISH; MARCH, 2011).

Com base nestas declarações, identifica-se que: ao passo que os *softwares* comerciais não atendem muitas das demandas específicas dos projetistas, os mesmos ficam dependentes da utilização de funcionalidades pouco flexíveis, o que limita processos de tomada de decisão e exploração do design. Esta situação é agravada quando grandes plataformas desenvolvem funcionalidades exclusivas, as quais não funcionam em conjunto com

softwares de outros desenvolvedores, o que dificulta a interoperabilidade e, portanto, pode agravar as limitações existentes, uma vez que impossibilita emprego de algumas das premissas do BIM nos processos.

Esta situação faz com que os projetistas não consigam utilizar todo o seu potencial para definir parâmetros de projeto, uma vez que suas ferramentas não realizam verificações, simulações e outras operações. Um exemplo de tal problema é a dificuldade de interpretar e integrar informações de normativas e/ou regulamentos nos processos de projeto, mesmo utilizando BIM – onde o fluxo de informação deveria ser facilitado. Isto torna necessária a busca por soluções customizadas e programadas pelos próprios projetistas, que permitam a elaboração de mecanismos para atender suas necessidades de projeto e para criar pontes de interoperabilidade entre os *softwares* que utiliza.

Surge assim, a figura do projetista programador: um arquiteto, engenheiro ou designer, com características interdisciplinares relacionadas ao uso de *softwares* para modelagem de informação, capaz de atuar de forma mais direta sobre suas demandas de projeto através da implementação de códigos de programação e da utilização de ferramentas customizadas, explorando seu potencial de criação de recursos e solução de problemas. Deste modo, torna-se possível a gradativa desagregação e independência do projetista de grandes *softwares* comerciais (SEGHIER et al., 2017), e de *software houses*, as quais possuem soluções limitadas e pouco interativas.

Neste cenário, visando à independência do projetista do futuro perante os processos BIM, é necessário atribuir ao arquiteto ou engenheiro a função de criador de suas soluções. Isto deve ser feito respeitando o progresso e aprendizado acerca de programação, uma vez que estas habilidades representam um paradigma que é encarado como uma barreira de abstração (AISH, 2013b).

Alternativas estão presentes nas ferramentas da era *Design Computation* (AISH, 2013a) na forma de *softwares* que operam utilizando VPL (*Visual Programming Language*). São *softwares* classificados como extensões das grandes plataformas BIM, que permitem a parametrização da informação advinda da *software* de modelagem, possibilitando a criação de geometrias complexas e o gerenciamento de informações do modelo. Exemplos de tais extensões em *softwares* BIM são o Grasshopper para Rhinoceros e Archicad (GRASSHOPPER, 2018), e o Dynamo para Revit (DYNAMO, 2018).

O potencial das ferramentas de programação visual para arquitetura e engenharia estão tanto no *feedback* imediato das operações realizadas – que facilita a exploração de alternativas e decisões; como na customização de fluxos de informação – que possibilita criar complexos procedimentos envolvendo cálculos e propriedades do modelo (DYNAMO, 2018). Isto possibilita que o projetista amplie suas possibilidades de manipulação de informações, usando pacotes de rotinas criadas por si ou por outros membros de comunidades de usuários.

Compreender este fenômeno de criação de ferramentas únicas e de mudança do papel do arquiteto ou engenheiro é de relevância tanto para o cenário profissional, pois envolve um novo paradigma de desenvolvimento de projeto – uma nova maneira de solucionar e tomar decisão nos processos, como para o cenário acadêmico, pois pode impactar a educação e a formação de novos projetistas na era digital.

Para a compreensão do fenômeno, é necessário um posicionamento crítico acerca destas atividades. Como uma maneira de estudar o modo como este processo de criação de ferramentas está se desenvolvendo, e como pode impactar os processos de tomada de decisão nos projetos, foi realizada uma pesquisa de caráter exploratório e construtivo, baseada em uma dissertação de mestrado (SILVA, 2018). Foi utilizado o *Design Science Research*, um método de pesquisa voltado para o uso de artefatos como um meio de operacionalizar prescrições para problemas específicos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Tal método envolve etapas de construção e avaliação dos artefatos, constituídos como ferramentas funcionais que podem ser validadas e estudadas para explorar e gerar avanço no âmbito das teorias (MARCH; SMITH, 1995). No presente estudo, o foco será dado na etapa de construção dos artefatos.

O método possibilita que o material resultante de uma pesquisa de caráter prático gere discussões acerca da experiência, em termos de melhoria de um ambiente ou cenário, buscando um vínculo teórico (HOLMSTRÖM et al., 2009). Assim, na atual pesquisa, tem-se como objetivo desenvolver ferramentas que possibilitem a exploração das funcionalidades de um software BIM, como uma forma de ampliar e agregar informações ao mesmo. Então, visa-se gerar uma contribuição à teoria a partir das reflexões da experiência, emulando o cenário do projetista programador, por meio do desenvolvimento dos artefatos – na forma de *plug-ins* para uma plataforma. A partir dos *plug-ins* desenvolvidos, o fenômeno da adaptação do projetista e da criação de ferramentas de programação pelo mesmo pode ser estudado.

Para possibilitar a criação dos *plug-ins*, foi necessário, por meio de delimitação bibliográfica, definir um tema específico de onde os problemas são extraídos. Para tal, foi escolhido a Norma de Desempenho brasileira. Tal escolha teve como base um estudo preliminar dos autores, a partir do qual foi identificada uma lacuna no desenvolvimento de *plug-ins* para avaliação da performance das edificações, apontando para possíveis áreas de desenvolvimento de ferramentas (SILVA et al., 2017).

A Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais - NBR 15.575/2013 (ABNT, 2013) traz grandes mudanças em relação à tomada de decisões de projeto, pois introduziu uma gama de novas necessidades de conhecimento em relação a materiais e escolhas tecnológicas, estabelecendo padrões mínimos que devem ser atingidos por meio das escolhas de sistemas construtivos. Projetistas precisam se adequar às exigências e com isso especificar soluções apropriadas, o que exige uma organização de dados da edificação e consciência acerca dos processos envolvidos na comprovação do desempenho.

Além disso, a Norma de Desempenho tem se tornado um assunto muito recorrente na indústria da construção, aumentando ainda mais as exigências de projeto e introduzindo complexidade nos processos. A dificuldade de implementação destes conceitos no processo de projeto é uma das motivações para direcionar os esforços na abordagem BIM, cuja lógica processual alicerçada em dados ligados a modelos da construção pode trazer a organização necessária para que uma edificação atenda seus requisitos.

A ligação entre o tema do trabalho e a Norma de Desempenho está relacionada ao fato de que, embora muitas de suas disposições possuam impacto decisivo nas escolhas de projeto, estas possuem uma integração severamente limitada com os softwares atuais, mesmo que estes estejam inseridos nos processos BIM. Assim, torna-se difícil aplicar conceitos como os requisitos da NBR 15.575/2013 se as ferramentas BIM utilizadas por projetistas não possuem quaisquer funcionalidades voltadas à simulação ou processamento de informações de desempenho. O resultado disto é que o atendimento aos requisitos se torna um processo ainda pouco efetivo e sem integração.

Em relação aos requisitos de desempenho abordados, foram consideradas as situações de comprovação de desempenho acústico e lumínico, escolhidas após realização do estudo preliminar, o qual destacou lacunas em *plug-ins* e ferramentas relacionados à estas áreas (SILVA et al., 2017). Para o desempenho acústico, é proposto o desenvolvimento de um plug-in para Revit para estimar o índice de redução sonora (R_w) de paredes de vedação conforme características dos sistemas construtivos. Para desempenho lumínico, é proposto um segundo plug-in, voltado para a estimativa da iluminação interna nos ambientes de edificações, a partir da captura de informações climáticas, considerando as áreas de aberturas em algumas situações de projeto.

Nas seções seguintes deste trabalho são aprofundados os conceitos acerca da programação em softwares BIM, bem como trabalhos relacionados a BIM e Norma de Desempenho, com breve detalhamento dos temas específicos de desempenho acústico e lumínico. Então, o método é apresentado e, a partir do desenvolvimento dos *plug-ins*, demonstra-se a possibilidade de integração de BIM com verificações de desempenho.

REFERENCIAL TEÓRICO

Programação em softwares BIM

Conforme Leitão, Santos e Lopes (2012), programação na arquitetura pode ser entendida como a representação de processos algorítmicos que expressam conceitos ou resolvem problemas de natureza arquitetônica. A programação pode facilitar a criação de formas complexas, cuja concepção seria muito difícil ou impossível utilizando apenas funcionalidades básicas das plataformas (AISH, 2013a). Por outra ótica, o processo de customização de softwares tem um papel importante no projeto, na medida em que possibilita interagir com as funções por trás das interfaces de sistemas CAD, gerando projetos programáveis e adaptáveis para diferentes necessidades (WHITEHEAD, 2003).

Entre as formas de programação do cenário descrito anteriormente destacam-se as extensões de programação visual. Nas VPLs, os programas são formados por componentes ou nodos que se interligam por fios, levando diferentes formas de informação de um nodo a outro, linearmente. Cada nodo contém um código de programação textual interno, que inicialmente não é visível para o usuário. Alternativamente, nas TPLs (*Textual Programming Languages*), as rotinas são compostas por uma sequência de caracteres com significados semânticos e que realizam o encadeamento lógico por meio do texto conhecido como *script* ou código (LEITÃO et al., 2012).

Os softwares de VPL se tornaram uma alternativa muito atrativa para os projetistas, pois possuem uma interface simples, intuitiva, de fácil aprendizado e não requerem inicialmente muito conhecimento acerca de programação (FERREIRA; LEITÃO, 2015). Além destas vantagens, possibilitam ao projetista um *feedback* visual imediato da programação realizada e interatividade para definir e regular parâmetros. Tais motivos levaram as extensões de VPL, como o Grasshopper, a se tornarem muito mais populares que as interfaces de programação textual (LEITÃO; SANTOS; LOPES, 2012).

Na programação de extensões VPL, as relações semânticas entre objetos marcam uma das principais diferenças na interatividade quando é feita uma comparação entre softwares de desenho 2D ou 3D simples e softwares BIM. Tratam-se de regras que definem que tipo de objeto interage com outro no modelo e com quais parâmetros. Nos softwares BIM, a programação deixa de manipular apenas fatores geométricos e passa a gerenciar dados de maneira mais ampla (FERREIRA; LEITÃO, 2015). Nestas situações, BIM revolucionou as extensões que utilizam VPL por meio da inclusão desta interdisciplinaridade, possibilitando a criação de uma variedade de programas a serem desenvolvidos na forma de rotinas que manipulem estas relações semânticas (SEGHER et al., 2017).

BIM também amplia o potencial destas extensões de programação visual, pois permite que parâmetros de materiais oriundos de aspectos como desempenho, custo e produção sejam incorporados nas rotinas (AISH; MARSH, 2011), efetuando análises muito mais complexas do que apenas manipulações de forma presentes em softwares que não estejam inseridos no processo BIM.

Dentre as extensões de VPL que operam no processo BIM está o Dynamo (DYNAMO, 2018), que permite acesso a opções de manipulação da informação de maneira flexível e em etapas cada vez mais iniciais de projeto (HOLZER, 2015). Usuários de Dynamo podem utilizá-lo para criar suas próprias regras de gerenciamento de informações e virtualmente construir diversos utilitários ou ferramentas para alavancar a avaliação do modelo. Rotinas de programação que podem ser editadas, reconfiguradas e reaproveitadas em diversas construções, reduzindo também a dependência a outros softwares enquanto aumenta a interoperabilidade com estes (SEGHER et al., 2017).

Em um esforço para possibilitar a difusão de rotinas do Dynamo para profissionais sem conhecimento de programação, existem ferramentas como Dyno Browser, um plug-in para Revit que busca organizar, gerenciar e executar

rotinas do Dynamo sem que este precise ser aberto no Revit (LOBANOV, 2017). Dyno Browser permite vincular séries de rotinas a botões na própria interface do Revit, o que pode agilizar os fluxos de trabalho por meio de acesso rápido e de fácil uso. Além disso, possibilita configurar, monitorar e coordenar rotinas programadas, possibilitando atuar também na otimização do processamento e correção de erros de programação do Dynamo.

Desempenho das edificações

Conforme Hensen e Lamberts (2011), performance pode ser definida como um conjunto de aspectos relacionados à conforto, desempenho e análise de sistemas construtivos por óticas da temperatura, acústica, iluminação, impacto ambiental, durabilidade, consumo de energia, construtibilidade, manutenção, entre outras. Segundo os autores, o potencial da interpretação destes aspectos está em sua simulação e manipulação, de modo que o projeto possa ser adequado conforme resultados de predições em diferentes cenários.

Tal perspectiva do processo de projeto exige que informações relativas ao comportamento da edificação sejam acionáveis logo nas etapas iniciais. Por vezes, a simulação de tal comportamento só é realizada após a conclusão de etapas de escolha de forma, materiais e soluções técnicas, não sendo de fato integrada no processo de projeto. Esta situação pode, nos processos tradicionais, resultar em modificações próximas à execução dos empreendimentos, onde o custo para definir soluções e atender a performance desejada é muito superior (SCHLUETER; THESELING, 2009).

Papamichael et al. (1996) relatam que, para possibilitar tomar decisões que contemplem a complexa gama de variáveis apresentada no comportamento de uma edificação, se faz necessário inserir a computação ao projeto, para dar suporte às decisões. Para tal, é necessário considerar estratégias ao longo do processo de projeto, onde os projetistas podem avaliar diferentes contextos e simular diferentes soluções para seus problemas e com isso, tomar decisões mais informadas.

Como uma alternativa para direcionar as informações de performance para um ambiente onde estas sejam efetivamente utilizadas ou verificadas em simulações, alguns autores desenvolveram extensões, *plug-ins* ou programas complementares às plataformas computacionais, de modo a possibilitar uma maior integração da etapa de tomada de decisão nos processos. Em tal cenário, *plug-ins* podem aumentar a viabilidade de realizar avaliações de diferentes soluções tecnológicas nas fases iniciais do projeto, possibilitando que projetistas direcionem maior atenção ao desempenho em suas escolhas (JALAEI; JRADE, 2014).

Norma de Desempenho Brasileira e BIM

No Brasil, uma crescente atenção está sendo dada ao comportamento das edificações habitacionais devido à NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013). Isto se deve ao fato de que esta norma estabelece uma série de critérios a serem atendidos pelos envolvidos no processo de projeto e construção. A Norma de Desempenho tem o foco no atendimento às exigências dos usuários, por meio da qualidade de sistemas construtivos e comprovação do desempenho destes. O desempenho pode se enquadrar nos níveis Mínimo, Intermediário ou Superior, de forma independente dos materiais, regras de dimensionamentos ou técnicas construtivas, o que incentiva o desenvolvimento tecnológico do setor, na medida em que permite a descoberta de sistemas inovadores, bem como a melhoria dos sistemas construtivos já consagrados (SOUZA; KERN; TUTIKIAN, 2018).

Embora haja uma lacuna em material bibliográfico que relacione a NBR 15.575 e os conceitos de BIM, alguns estudos voltados para análise das possibilidades de integração foram realizados e serão descritos a seguir. Silva e Arantes (2016) realizaram um estudo buscando identificar possibilidades de automatização do atendimento a requisitos da Norma de

Desempenho por meio da inserção de regras no software *BIM Solibri Model Checker* (SOLIBRI, 2018). De um levantamento de 113 requisitos diretamente relacionados ao projeto, o estudo mostrou que apenas 22 deles (19%) teriam potencial de ser automatizados total ou parcialmente, devido à necessidade de tomada de decisão humana presente em muitos dos requisitos (SILVA; ARANTES, 2016).

Por uma ótica semelhante, Silva Jr. e Mitidiéri Filho (2015) realizaram um levantamento acerca do uso de um software BIM para arquitetura, para fins de identificação e organização dos requisitos. De um total de 93 requisitos considerados pelos autores, 28 (30%) poderiam ser inclusos diretamente nos modelos BIM como parâmetros compartilhados. Isto significa que estes poderiam ser verificados por outras ferramentas. Os autores destacam que colocar especificações de materiais diretamente no modelo BIM poderia facilitar o processo de escolha dos projetistas e auxiliar na geração de documentação consistente.

Com uma abordagem de organização de dados semelhante, e com o intuito de tornar as informações de desempenho organizadas e acessíveis diretamente no modelo BIM, Costa e Ilha (2017) propuseram a criação de uma biblioteca de componentes para instalações hidrossanitárias, contendo parâmetros pertinentes às exigências da Norma de Desempenho. Um dos problemas apontados no estudo é que tanto os repositórios digitais como os próprios fabricantes de tais produtos não disponibilizam informações suficientes em seus catálogos ou bases de dados, o que complica o processo para o projetista que necessita escolher qual solução irá adotar (COSTA; ILHA, 2017).

Nardelli e Oliveira (2013) também constataram que muitos dos parâmetros relacionados ao desempenho de elementos construtivos dificilmente estão presentes nas bibliotecas de elementos BIM, o que também limita o uso da modelagem para fins de simulação e verificação destes aspectos, pois são informações que precisam ser adicionadas manualmente e mesmo assim, não possuem um software ou aplicação inserida no processo BIM que seja específico para utilizá-los efetivamente.

Os autores ressaltam que, algo que atualmente acontece em outros países é a inclusão de parâmetros pontuais nos elementos BIM. Isto é feito pelos próprios fornecedores de materiais, a partir de informações voltadas para campos específicos da indústria local, como por exemplo: parâmetros de classificação de resistência ao fogo e propriedades relacionadas à segurança (NARDELLI; OLIVEIRA, 2013). No Brasil, partindo da premissa de que os fornecedores precisam conhecer e disponibilizar as informações de desempenho, iniciativas estão sendo feitas por alguns fabricantes, que estão realizando um esforço para disponibilizar sua biblioteca de produtos para softwares como o Revit, para que projetistas tenham acesso a algumas informações do comportamento esperado de suas soluções durante a modelagem.

Contudo, a utilidade de muitos dos parâmetros colocados nos componentes ainda precisa ser consolidada por ferramentas que efetivamente os utilizem em cálculos, verificações ou geração de relatórios. Um modelo com informações que jamais serão utilizadas, apenas aumenta o tamanho dos arquivos gerados. É necessário utilizar o processo BIM para colocar estas informações efetivamente em contexto e prepará-las para serem verificadas, simuladas ou documentadas, ou correm o risco de tornarem-se apenas um conjunto de dados avulsos, os quais não compõem o processamento efetivo de informação. Com estas considerações, este trabalho pretende aprimorar esse processo através da criação de *plug-ins*, para realizar o tratamento destas informações em relação aos requisitos de desempenho acústico e lumínico.

Desempenho Acústico

Devido ao aumento nos requisitos de qualidade de construções habitacionais, em relação à amenidade acústica de ambientes e conforto dos habitantes, projetistas necessitam aperfeiçoar os processos de projeto, de modo

a garantir o bem-estar dos usuários. Neste sentido, arquitetos e engenheiros tomam decisões técnicas cruciais relacionadas ao isolamento interno de ambientes para proporcionar uma performance acústica adequada.

Dentre as exigências da Norma de Desempenho está o desempenho acústico de paredes de geminação entre ambientes de unidades autônomas e entre áreas privativas ou comuns nas edificações multifamiliares. O principal parâmetro a ser considerado é o índice de redução sonora entre ambientes, fator que varia conforme materiais empregados nas paredes e as esquadrias instaladas, sendo necessários ensaios de campo e em laboratório para verificação do desempenho em relação ao ruído aéreo de sistemas construtivos (ABNT, 2013).

Alternativas para facilitar e acelerar a predição de desempenho acústico de ambientes internos e seu atendimento às normativas vem sendo estudadas com o uso de softwares de verificação e de simulação (TAKAHASHI, 2016). Neste contexto, *plug-ins* e ferramentas para plataformas BIM emergiram como uma alternativa para manipular e atingir melhorias de projeto de maneira rápida nas fases iniciais de projeto (WU; CLAYTON, 2013).

Nestas situações, as esquadrias possuem um papel considerável no isolamento acústico de paredes, servindo como um elemento de controle de ruído advindo do exterior das edificações (KIM; KIM, 2007). Há uma importância na qualidade dos produtos e da execução da esquadria para assegurar seu desempenho, bem como dos materiais que compõem as camadas da parede em que está instalada, um conjunto que caracteriza sistemas construtivos e suas especificações dimensionais. Neste sentido, é proposto o desenvolvimento de um plug-in para Revit que visa estimar o valor do índice de redução sonora (R_w) de paredes de vedação, considerando as diferentes possibilidades dimensionais e de especificação relacionadas a portas e janelas, nas situações explicitadas na NBR 15.575.

Desempenho Lumínico

A análise do desempenho lumínico está relacionada à criação de projetos voltados à eficiência energética e conforto ambiental, visando proporcionar ao usuário um melhor aproveitamento da iluminação natural durante o dia, sendo complementada pelo uso de iluminação artificial à noite. Os requisitos de desempenho relativos à iluminância precisam ser integrados nas etapas iniciais do projeto arquitetônico, possibilitando a exploração de potenciais como produtividade, conforto, qualidade de vida e até mesmo saúde do usuário da edificação (DAVOODI, 2016).

Recentemente, verifica-se uma evolução nas ferramentas computacionais voltadas à avaliação do desempenho lumínico. Estas ferramentas buscam apresentar informações relevantes aos projetistas para que possam realizar uma tomada de decisão consciente sobre a eficiência energética e conforto lumínico de seus projetos (DAVOODI, 2016), possibilitando analisar uma diversidade de cenários e parâmetros, tais como: materiais empregados, aberturas, posicionamento e orientação solar. O controle sob tais parâmetros permite avaliar alternativas de soluções com redução de erros humanos e agilidade nas simulações (FELIPPE et al., 2015).

Com base na Norma de Desempenho, a necessidade de agregar propriedades de conforto e eficiência energética nas residências é reforçada. Em relação ao desempenho lumínico, a NBR 15.575/2013 estabelece uma série de requisitos que se manifestam na forma de níveis de fator de luz diurna e iluminância. Tais requisitos precisam ser atendidos e comprovados por meio de projetos contando apenas com a iluminação natural disponível. Uma das maneiras de realizar tal comprovação é por meio de simulações que levem em consideração o tipo de ambiente a ser analisado, para datas e horários específicos. Além disso, deve-se levar em conta fatores como a orientação da edificação, informações climáticas, entre outras (ABNT, 2013).

Estes fatores relacionam-se com as propriedades dos sistemas construtivos definidos pelo projetista, desde a escolha de esquadrias até o

dimensionamento de ambientes, compondo um conjunto de informações que apresenta uma diversidade de possíveis soluções tecnológicas a serem incorporadas no ambiente de projeto. Neste sentido é proposto um segundo plug-in para Revit, voltado para a estimativa de iluminâncias internas nos ambientes de edificações, considerando as diversas variáveis e possíveis situações de projeto.

Após as definições acerca das temáticas específicas e seus objetivos, se faz necessário detalhar o método utilizado e como serão desenvolvidas as ferramentas, conforme será descrito no capítulo seguinte.

MÉTODO

Design Science Research é um método voltado para a produção de conhecimento válido e confiável a partir da projeção de artefatos, os quais atuam como um meio para desenvolver tecnologia para resolução de problemas, estendendo limites humanos e organizacionais por meio de desenvolvimentos inovadores (HEVNER et al., 2004; LUKKA, 2003). No âmbito do *Design Science Research*, a partir do princípio de que os problemas de profissionais possuem natureza única e específica, o ator praticante deve ser capaz de projetar seus próprios sistemas e intervenções, com base em sua própria experiência, criatividade e entendimento do cenário em que atua (VAN AKEN, 2004).

Segundo Holmström, Ketokivi e Hameri (2009), a abordagem de pesquisa no âmbito do Design Science tem caráter construtivo, e pode ser imediatamente relevante do ponto de vista prático, em virtude de seu foco na criação de soluções inovadoras voltadas para especificidades. Contudo, o desafio está em tornar tal conhecimento relevante do ponto de vista teórico, por meio da exploração de suas contribuições para o cenário acadêmico. Os autores ressaltam que, embora soluções práticas advindas da pesquisa possam ter resultados impressionantes e louváveis quando auxiliam empresas ou profissionais a economizar capital e melhorar seus processos internos, o vínculo com o conhecimento já estabelecido não pode ser abandonado. Sob esta perspectiva, a pesquisa propriamente dita não deve ser apenas uma consultoria ou produto comercial, e sim uma forma de produzir conhecimento: “contribuições teóricas não são mensuradas em dólares, são mensuradas em termos da visão inovadora e compreensão que oferecem” (tradução nossa, HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

Para Lukka (2003), as abordagens construtivas possuem o foco na resolução de problemas por meio da construção de modelos, diagramas, planos e organização – aparatos voltados para a prescrição de soluções para problemas explícitos. Como possíveis exemplos de artefatos resultantes de uma pesquisa construtiva é possível citar os softwares, ferramentas e sistemas de informação (HEVNER et al., 2004), bem como algoritmos matemáticos, inteligência artificial e até mesmo produtos comerciais (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993). Contudo, é necessário que tais artefatos tenham forte relação com conhecimento teórico da área onde estão inseridos e potencial de contribuição acadêmica (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

March e Smith (1995) apontam que os produtos do *Design Science Research* podem ser classificados em construtos, modelos, métodos ou instanciações, sendo a definição do último a realização do artefato em seu ambiente, operacionalizando os construtos, modelos e métodos. As instanciações também demonstram a viabilidade e efetividade das outras classes de artefatos por meio da aplicação prática e instrumental destes, bem como na viabilidade dos processos empregados na construção do artefato (HEVNER et al., 2004; MARCH; SMITH, 1995). Isto tem como resultado ferramentas funcionais que podem ser futuramente avaliadas e estudadas para o avanço no âmbito das teorias (MARCH; SMITH, 1995). Para Lacerda et al. (2013), “as instanciações podem se referir a um determinado artefato ou à articulação de diversos artefatos para a produção de um resultado em um contexto específico”. Neste trabalho, entende-se que o desenvolvimento dos

plug-ins são o meio de emular o cenário inicialmente descrito – do projetista que programa suas próprias ferramentas, em um contexto específico – o da Norma de Desempenho.

Em relação às etapas da pesquisa, pela perspectiva de March e Smith (1995), *Design Science Research* pode ser dividido em duas macro etapas: (1) Construção, onde se desenvolve os artefatos para demonstrar a viabilidade de atuação deste como uma solução ao problema proposto (o artefato funciona?); e (2) Avaliação, onde o progresso alcançado deve ser mensurado a partir da verificação de como artefato se comporta em seu ambiente ou contexto (quão bem o artefato funciona?).

A partir das considerações de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), foram estabelecidas etapas detalhadas para o estudo, conforme demonstrado na Figura 1. As etapas iniciam com a evidência de uma situação problemática e a descrição de um cenário, conforme apresentado na introdução. Então, são elencadas possíveis soluções para problemas específicos como uma maneira de avaliar e explicitar como ele pode ocorrer. Na sequência, é realizado o projeto, desenvolvimento e posterior avaliação dos artefatos. Por fim, é feita uma reflexão acerca da experiência por meio da explicitação das aprendizagens e generalização dos artefatos. Seguindo esta lógica e, conforme pontuado na introdução, o presente trabalho terá o foco nas etapas que partem da proposição até o desenvolvimento dos artefatos, apresentando também, nas conclusões, algumas considerações relativas à etapa de explicitação das aprendizagens e generalização.



Figura 1: Etapas do método

Fonte: adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

Com base nos tipos de artefatos, alinhado com as considerações de March e Smith (1995), as instanciações por vezes podem preceder a completa articulação do artefato principal – que pode vir na forma de Construtos, Modelos e/ou Métodos, pois são uma maneira de operacionalizar tais classes de artefatos. Por uma perspectiva semelhante, Lukka (2003) defende que o material empírico resultante de uma pesquisa construtiva tem potencial de interação com as teorias em seus diversos níveis – que pode ir desde a ilustração ou teste de alternativas até o refinamento ou criação de novas proposições.

Por fim, artefatos gerados para responder a um problema são únicos e específicos em seu contexto isolado, contudo, as origens do problema abordado possuem raízes mais amplas. No universo de problemas a serem solucionados, existem características semelhantes entre eles, que permitem a organização de tais similaridades e a generalização de soluções em contextos diferentes,

mas relacionados (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). Kasanen, Lukka e Siitonen (1993) também destacam tal conceito, dando importância ao fato de que o material da pesquisa deve ter um grau de generalização e ser passivo de reaplicação em cenários ou organizações de mesmo tipo. Após a resolução de casos específicos, o pesquisador pode gerar conhecimentos que podem ser transferidos a estes domínios similares com base na reflexão sobre o aprendizado e análise dos casos (VAN AKEN, 2004), propagando uma contribuição teórica não apenas específica ao caso estudado.

Assim, interpreta-se que a experiência de desenvolvimento de artefatos na forma de ferramentas voltadas para um tema específico – a Norma de Desempenho, é uma maneira de emular o cenário inicialmente descrito, do projetista que programa suas próprias ferramentas para ultrapassar limitações das plataformas. Podendo assim, ao final do trabalho, gerar uma discussão acerca dos fenômenos por meio das conclusões sobre a experiência.

Construção das ferramentas

Neste tópico serão apontadas as definições práticas de desenvolvimento dos artefatos propostos. Em relação à plataforma e ferramentas nas quais foram programados os plug-ins, foi escolhido o software BIM de arquitetura Autodesk Revit. Foi utilizada a extensão de programação visual Dynamo para criação das rotinas de programação, com o auxílio da extensão Dyno Browser para criação de interfaces. Com isso, foi necessário definir critérios de projeto que envolvam a verificação de requisitos da Norma de Desempenho nas áreas de acústica e iluminação, que utilizem os potenciais de programação oferecidos pelas extensões VPL.

Desta forma, situações de projeto que facilmente podem ser resolvidas no próprio Revit, por cálculos simples, por planilhas no Excel ou que já possuam um software próprio foram descartadas. Buscou-se situações em que os plug-ins realizem tarefas que dificilmente possam ser realizadas utilizando apenas funções básicas do Revit, e que utilizem a complexidade de dados de famílias. Assim, o funcionamento geral desejado das ferramentas projetadas baseia-se no uso da modelagem de arquitetura para extração de informações geométricas e geração de parâmetros de desempenho de forma automatizada. Tais dados são manipulados internamente por meio da extensão Dynamo e seus pacotes de funções, na forma das rotinas de programação desenvolvidas.

As informações são então relacionadas a dados de referência da Norma de Desempenho, como tabelas de critérios Mínimo, Intermediário e Superior, ou condições a serem satisfeitas. A partir da inserção e comparação das informações do modelo com os referenciais é possível customizar novos processos de verificação de um modelo BIM por meio de estimativas de desempenho.

Ainda, é desejável que existam funcionalidades interativas, para usuários programadores ou não, para possibilitar auxiliar nos processos de escolha de soluções tecnológicas de sistemas construtivos enquanto o projetista realiza a modelagem de arquitetura – possibilitando ter *feedback* acerca do desempenho acústico e lumínico da edificação já nas etapas iniciais de projeto. Tal processo é possível por meio de uma interface de fácil uso, de modo que projetistas com conhecimento acerca da NBR 15.575 possam usar os plug-ins para melhorar seus processos de projeto. A intermediação entre as rotinas de programação e a inserção de inputs pelo usuário é então dada no organizador de rotinas Dyno Browser.

A partir de delimitação e levantamento bibliográfico em relação às temáticas específicas, os plug-ins propostos são: (1) Desempenho acústico: estimativa do desempenho acústico de vedações verticais entre ambientes; e (2) Desempenho lumínico: estimativa de níveis de iluminância natural no interior de ambientes.

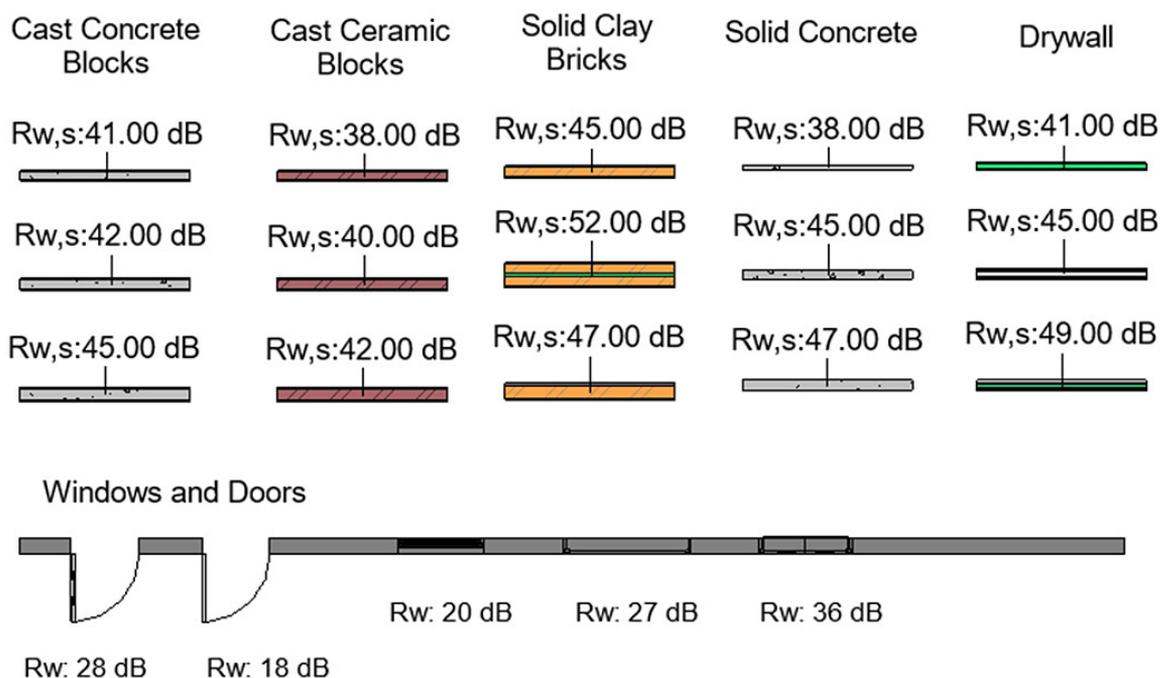
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Plug-in para desempenho acústico de vedações verticais

Os resultados do desenvolvimento das ferramentas podem ser percebidos diretamente por sua aplicação em elementos do Revit, em modelos de teste. Para o plug-in de desempenho acústico, inicialmente foram definidas algumas famílias de sistemas de parede e esquadria, abrangendo uma diversidade de materiais e opções pré-configuradas (Figura 2). Inicialmente, foram configurados alguns materiais genéricos, que podem ser expandidos para incluir informações específicas de fabricantes. Os valores do índice de redução sonora (R_w) de cada elemento isolado foram então configurados por meio de um parâmetro compartilhado no Revit, o que permite acessar tais informações com programação no Dynamo.

Figura 2: Customização de sistemas construtivos de vedações e esquadrias no Revit

Fonte: Autores (2018).



Devido ao fato de que a Norma de Desempenho avalia o sistema construtivo como um conjunto composto pela parede e suas respectivas esquadrias, foi necessário desenvolver uma série de rotinas no Dynamo. Foram programadas funcionalidades que capturam e manipulam a informação de famílias de paredes e esquadrias, de modo a calcular o índice de redução sonora ponderado de cada sistema. Isto é feito detectando quais esquadrias pertencem a cada parede no modelo, verificando as áreas de cada uma delas, e aplicando uma fórmula que calcula o valor ponderado, que então é apresentado ao usuário por meio de outro parâmetro compartilhado no Revit. Isto permite automatizar o processo de cálculo e verificação de sistemas construtivos pois possibilita que o projetista explore alternativas de parede e esquadria que atendam o desempenho almejado, manipulando as áreas de aberturas ou a escolha dos materiais da parede ou da esquadria – uma vez que o desempenho das esquadrias pode influenciar significativamente no desempenho do sistema e, portanto, deve ser verificado e explorado.

Além disso, por meio da programação de rotinas para manipulação de filtros de vista no Revit, foi possível configurar uma escala de cores que

remeta aos níveis de requisitos de desempenho Mínimo, Intermediário e Superior da norma, facilitando a avaliação do desempenho com base no que foi modelado. Na Figura 3, são apresentados alguns modelos de parede e esquadria de diversos materiais e seus respectivos valores de desempenho R_w , evidenciados por elementos de marcadores de texto no Revit, que apresentam os valores calculados em cada instância. Conforme o índice de redução sonora ponderado é recalculado pela inserção de novos elementos, as paredes que possuem esquadria têm seu valor de desempenho reduzido ou aumentado. Então, por meio de uma rotina adicional é possível representar os valores resultantes deste parâmetro, convertidos em uma escala de cores configurável conforme a situação desejada, conforme demonstrado na Figura 4. Isto permite visualizar, de forma intuitiva e em tempo real, o comportamento dos sistemas construtivos empregados em cada situação, conforme mudanças são realizadas em quaisquer elementos dos sistemas de parede e esquadria.

Figura 3: Cálculo do parâmetro índice de redução sonora ponderado (R_w)

Fonte: Autores (2018).

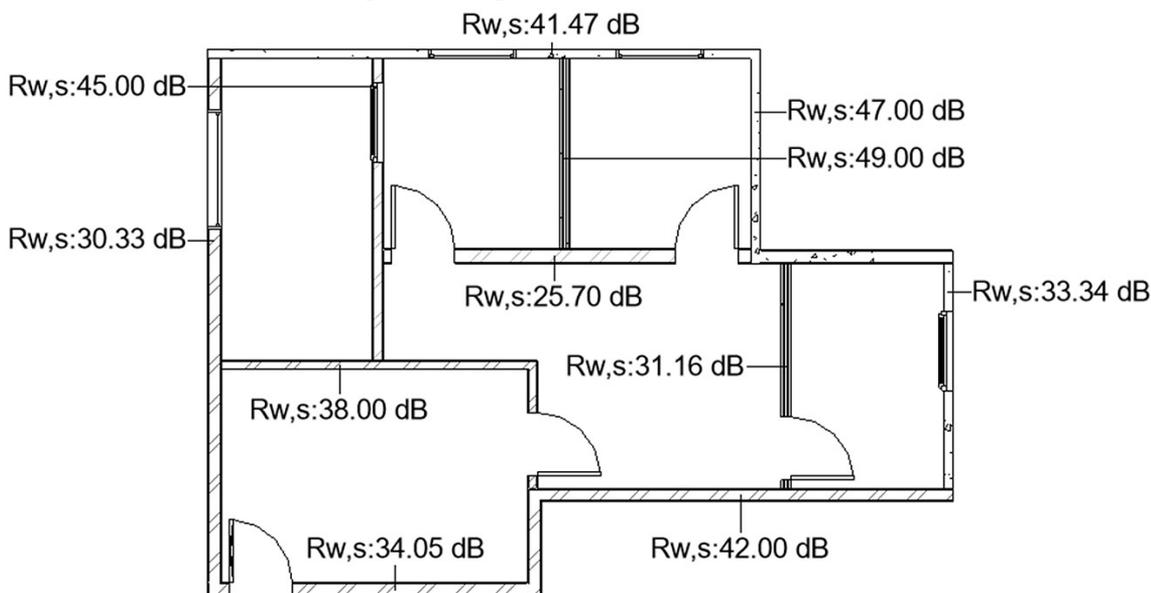
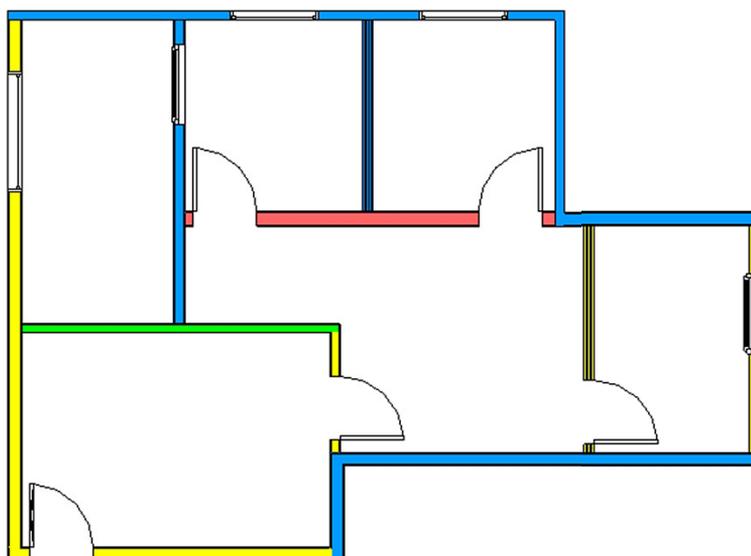


Figura 4: Verificação do índice de redução sonora ponderado (R_w) conforme níveis de desempenho

Fonte: Autores (2018).

Legenda:

- menor que 30dB
- 30-35dB
- 35-40dB
- maior que 40dB



O potencial de uso do plug-in está na possibilidade de auxiliar o projetista no processo de tomada de decisão e atendimento à performance acústica de seus projetos, pois pode facilitar a compreensão do impacto de diferentes escolhas de materiais de paredes e esquadrias durante o projeto diretamente no Revit, atuando como uma alternativa complementar aos métodos tradicionais de análise de performance. Isto demonstra uma das maneiras como o projetista pode ultrapassar limitações das funções básicas da plataforma através do uso da programação – criando uma função para customizar e ampliar as possibilidades existentes em um modelo BIM.

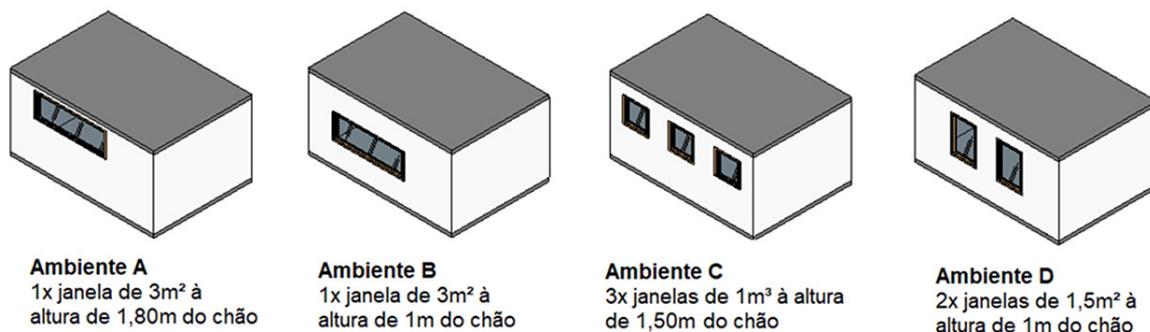
Plug-in para desempenho lumínico natural de ambientes internos

As funcionalidades do plug-in para desempenho lumínico foram programadas utilizando os pacotes de programação Ladybug e Honeybee para Dynamo, possibilitando que o usuário insira informações relativas a informações climáticas por meio de um arquivo .epw, bem como a localização e orientação da edificação, período de análise e ambientes a serem verificados.

Para demonstrar o funcionamento do plug-in, foram criados alguns ambientes no Revit, com dimensões de área 24m^2 ($6\text{m} \times 4\text{m}$), pé direito de 3m , fachada de aberturas apontada para o norte, e com o arquivo climático da cidade de Passo Fundo/RS. Foram adicionadas algumas configurações de posicionamento de janelas, para avaliar a influência deste parâmetro na estimativa do desempenho lumínico (Figura 5).

Figura 5: Modelos 3D dos ambientes considerados para análise de iluminâncias internas

Fonte: Autores (2018).



A Norma de Desempenho estipula que o período de análise deve ser feito nos dias 23 de abril e 23 de outubro, às 9h30min e às 15h30min de cada dia, em um grid à altura de $0,75\text{m}$ do chão. Assim, foi programada uma função que cria um grid de componentes genéricos do Revit em toda a área dos ambientes selecionados. Em seguida, por meio de funções do Ladybug e Honeybee, é calculada a iluminância por *Ray-tracing* em cada ponto, e os respectivos componentes genéricos são preenchidos por uma escala de cores correspondente ao valor encontrado (Figura 6). O valor apresentado abaixo de cada ambiente na figura corresponde à iluminância no centro deste, conforme disposto na Norma de Desempenho, para diferentes configurações de aberturas.

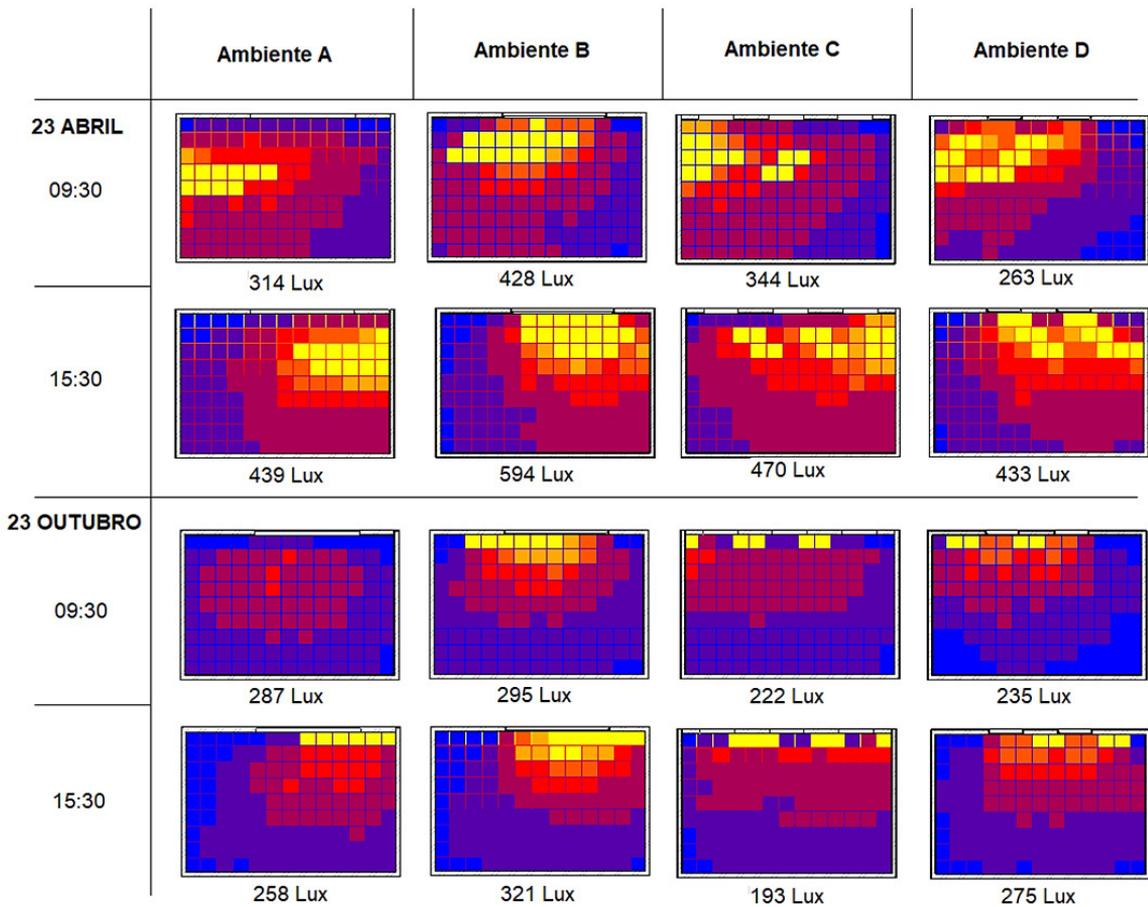


Figura 6: Resultados da análise para os ambientes na visualização planta baixa

Fonte: Autores (2018).

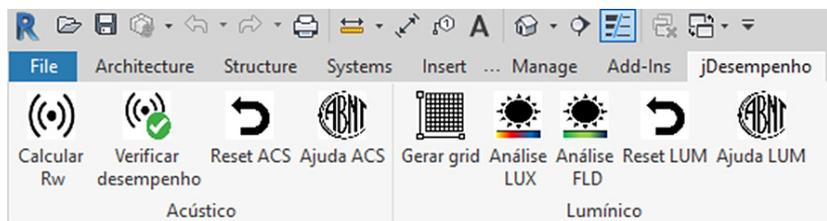
Esta abordagem permite ao projetista obter informações que dificilmente teria se não utilizasse um software específico, possibilitando a customização de um processo voltado para avaliar o desempenho lumínico conforme a norma em seus projetos. A ferramenta desenvolvida torna possível obter *feedback* visual acerca da efetividade das aberturas diretamente no Revit, conforme são exploradas alternativas. Por outra ótica, também possibilita a geração de documentação de desempenho, para fins de comprovação ou comparação de alternativas, por meio da apresentação dos resultados das simulações.

Desenvolvimento de interface

Para facilitar o uso do plug-in e aumentar sua interatividade, deu-se atenção à possibilidade de publicação da ferramenta e eventual uso por projetistas. Portanto, uma interface foi programada no Dynamo por meio de pacotes de componentes. Foram configurados ícones na extensão Dyno Browser para que as rotinas sejam apresentadas no Revit como botões em uma aba ao lado das funções básicas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Interface das ferramentas no Revit

Fonte: Autores (2018).



A aba apresenta as funções de cálculo, verificações e aplicação de filtros de cores de forma automatizada, não necessitando que o Dynamo seja aberto e sua programação interna seja exposta, o que permite que as ferramentas desenvolvidas possam ser instaladas e utilizadas futuramente por projetistas que não possuem conhecimento sobre programação. Além disso, botões de “Reset” e Ajuda” foram programados. Os botões “Reset” possibilitam voltar etapas no processo de estimativa de cada desempenho, e os botões “Ajuda” possibilitam consultar informações referenciais da norma, apresentando, por meio de uma janela pop-up, tabelas e equações relativas aos requisitos a serem avaliados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou parte de uma pesquisa de mestrado (SILVA, 2018) conduzida a partir do método *Design Science Research*, apresentando resultados referentes à etapa de Construção dos Artefatos, onde ocorre a criação de ferramentas como um meio de operacionalizar a pesquisa. Inicialmente, foi apresentado o cenário a ser estudado e a problematização, a partir dos conceitos relacionados ao uso da programação pelos projetistas. Foram apresentadas as limitações inerentes das grandes plataformas, e a necessidade de adaptação como maneira de conquistar, gradativamente, a independência por meio de ferramentas próprias.

Além disso, foi apresentado o contexto da Norma de Desempenho, com foco nos temas específicos escolhidos para o desenvolvimento de artefatos. Neste sentido, foram propostas e programadas ferramentas na forma de plug-ins para o software Revit, voltadas para a verificação de desempenho acústico de vedações verticais e para a estimativa de níveis de iluminação natural no interior dos ambientes. Com base na experiência de programação das ferramentas, foi possível romper algumas das barreiras de abstração das plataformas e avaliar os requisitos estipulados em relação à integração de conceitos da Norma de Desempenho em um software BIM. Assim, como principais resultados tem-se a construção dos plug-ins e apresentação de suas funcionalidades, representando a emulação da situação do projetista programador. Isto possibilitou, na prática, analisar como este processo é possível e como está sendo facilitado com o uso das extensões de programação visual, que permitem que abordagens semelhantes sejam aplicadas em diversas outras temáticas.

O desenvolvimento das ferramentas para atendimento aos requisitos, embora desafiador, possibilitou passar pelos processos de aprendizado e reflexão de um projetista, o qual buscou resolver problemas específicos e, inicialmente, inacessíveis pelas funções básicas das ferramentas disponíveis. O processo envolveu, dentre outros aspectos: a colaboração com outros programadores por meio de fóruns e repositórios online; a disponibilidade de material e documentação sobre funções do Dynamo e Revit; e a disponibilidade de tempo dedicado para experimentação e aplicação do conhecimento adquirido no desenvolvimento dos plug-ins. O emprego da programação permitiu conhecer o contexto dos requisitos os quais se buscou automatizar: desde a maneira como são calculadas as variáveis até o sequenciamento lógico necessário para transformá-las em subsídios para tomada de decisões.

Conforme o delineamento metodológico, após a construção dos artefatos, é necessário refletir sobre a aplicabilidade do que foi feito em outros cenários semelhantes. A partir do que foi delimitado pelo tema específico, busca-se compreender se existem características que tornam possível a identificação e reaplicação de similaridades conceituais em outros cenários. As ferramentas podem variar desde a simples automatização de tarefas braçais como numeração, criação e sequenciamento de elementos, até a definição de mecanismos inteiros na forma de conjuntos de regras complexas.

Desta forma, assim como foram desenvolvidas ferramentas para auxiliar na exploração e tomada de decisão perante os requisitos de desempenho

acústico e lumínico da Norma de Desempenho Brasileira, poderiam ter sido programadas funcionalidades voltadas para, por exemplo, requisitos de acessibilidade, resistência ao fogo, conforto térmico e impacto ambiental. Por outra ótica, também poderiam ter sido desenvolvidas ferramentas para elucidar o atendimento de requisitos de uma certificação ambiental, o cumprimento de uma legislação municipal como código de obras, o dimensionamento condicionado de elementos estruturais, e diversas outras aplicações. É possível ao projetista e/ou pesquisador, desenvolver uma vasta gama de ferramentas com variados graus de sofisticação, desde que os parâmetros envolvidos estejam disponíveis ou possam ser capturados pelos algoritmos de programação,

Outro ponto de aplicação desta abordagem é a criação de pontes de interoperabilidade entre softwares, por meio da adequação de parâmetros para facilitar fluxos de trabalho. Isto permite que o projetista ultrapasse as funções “exclusivas” de fornecedores, criando sua própria maneira de exportar e importar dados dos modelos de diversos softwares. A integração desta programação com BIM se torna útil quando amplia o escopo de alternativas do projetista e possibilita estratégias que vão além da forma, para visualizar situações de projeto que são inicialmente inacessíveis.

De modo geral, estas considerações significam que, o projetista com capacidade de programar seus próprios recursos pode desenvolver habilidades compatíveis com as suas novas responsabilidades na era digital e o coloca ao centro dos processos de informação. Assim, pode não somente automatizar tarefas, mas também integrar informações para aprimorar ou até mesmo criar novos processos durante o projeto, utilizando efetivamente o potencial de controle do BIM para integrar, compartilhar e monitorar o atendimento de regras em uma edificação. Desta forma, programar as próprias ferramentas, embora ainda seja uma prática pouco difundida, pode se tornar uma competência de grande importância para o futuro da profissão, quando se considera que os processos de projeto contam com cada vez mais requisitos e particularidades que dificilmente são atendidos por grandes desenvolvedores.

Contribuições adicionais voltadas para a viabilização deste cenário também são propostas na forma de diretrizes para o desenvolvimento de plug-ins em software BIM, envolvendo uma série de etapas para que a situação do projetista programador possa ocorrer (SILVA, 2018). Dentre as etapas estão a definição do software BIM a ser utilizado; a identificação do problema que necessita ser programado; obtenção do conhecimento de programação necessário para possibilitar uma implementação inicial; o escopo e projeto dos plug-ins, bem como suas métricas e comportamento desejado; metodologia de avaliação em ambiente controlado e com especialistas; desenvolvimento de interface; ponderações sobre a aplicabilidade da solução desenvolvida no cenário acadêmico e profissional, entre outras etapas.

Para estudos futuros, pretende-se consolidar as etapas subsequentes do método, submetendo os artefatos construídos a procedimentos de avaliação por usuários programadores e não programadores, de modo a apontar melhorias qualitativas nas funcionalidades, possibilitando compreender como se dá o processo de aprimoramento das ferramentas e, eventualmente, seus impactos nos processos cognitivos dos projetistas que as desenvolvem e usam.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores deste trabalho agradecem ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares (PROSUP), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Faculdade Meridional (IMED) pelo auxílio financeiro na forma de bolsas que possibilitaram o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- AISH, R. Extensible Computational Design Tools for Exploratory Architecture. In: B. KOLAREVIC (Org.); **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. p.338–347. New York: Taylor & Francis Group, 2003.
- AISH, R. First Build Your Tools. **Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design**, p. 36–49, 2013.
- AISH, R. DesignScript: a learning environment for Design Computation. In: **Design Modelling Symposium**, Berlim, 2013b.
- AISH, R.; MARSH, A. An Integrated Approach to Algorithmic Design and Environmental Analysis. **Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design**, p. 149–155, 2011.
- VAN AKEN, J. E. Management research on the basis of the design paradigm: The quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.
- CELANI, G.; SEDREZ, M.; LENZ, D.; MACE-DO, A. The Future of the Architects's Employment: To Which Extent Can Architectural Design be Computerised? In: G. Celani; D. M. Sperling; J. M. S. Franco (Orgs.), **Computer-Aided Architectural Design. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment. 16th International Conference**, CAAD Futures 2015, São Paulo, Brasil, p.195–212, 2015.
- COSTA, C. H. DE A.; ILHA, M. S. DE O. Componentes BIM de sistemas prediais hidráulicos e sanitários baseados em critérios de desempenho. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 2, p. 157–174, 2017.
- DAVOODI, A. Lighting Simulation for a more value-driven building design process. **Department of Civil Engineering and Lighting Science**, Jönköping University, 2016.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement. **Springer International Publishing**, 2015.
- DYNAMO. Dynamo BIM: **Open source graphical programming for design**. Disponível em: <<http://dynamobim.org/>>. Acesso em: 05/05/2018.
- FELIPPE, A. R.; FONSECA, R. W. DA; MORAES, L. N.; PEREIRA, F. O. R. Modelagem paramétrica para simulação do desempenho da iluminação natural e termo-energético da edificação. **Anais do SIGraDI 2015**, Florianópolis, Brasil, p.398–404, 2015.
- FERREIRA, B.; LEITÃO, A. Generative Design for Building Information Modeling. Proceedings of the 33rd eCAADe **Conference**, Vienna, Austria, v.1, p.635–644, 2015.
- GARBER, R. Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modeling on Contemporary Design Practice. In: R. GARBER (Org.), **Closing the Gap: Information Models in Contemporary Design Practice**, John Wiley & Sons, p.6–13, 2009.
- GRASSHOPPER. Grasshopper - **Algorithmic Modeling for Rhino**. 2018. Disponível em: <<http://www.grasshopper3d.com/>>. Acesso em: 05/05/2018.
- HENSEN, J.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. Routledge, 2011.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.
- HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.
- HOLZER, D. BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age. **International Journal of Architectural Computing**, v. 13, n. 1, p. 65–82, 2015.
- JALAEI, F.; JRADE, A. An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects. **Journal of Construction Engineering**, v. 2014, p. 1–21, 2014.
- KASANEN, A.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243–264, 1993.
- KEOUGH, I.; HAUCK, A. From Pencils to Partners: The Next Role of Computation in Building Design. In: R. Garber (Org.), **Workflows: Expanding Architecture's Territory in the Design and Delivery of Buildings**. p.74–81, 2017.

KHAN, M. E. Different Approaches to Black Box Testing Technique for Finding Errors. **International Journal of Software Engineering & Applications**, v. 2, n. 4, p. 31-40, 2011.

KIM, M. J.; KIM, H. G. Field measurements of façade sound insulation in residential buildings with balcony windows. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 1026-1035, 2007.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR., J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LEITÃO, A.; SANTOS, L.; LOPES, J. Programming Languages for Generative Design: A Comparative Study. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n. 1, p. 139-162, 2012.

LOBANOV, A. **DynoBrowser**. Disponível em: <<http://prorubim.com/en/tools/dyno/>>. Acesso em: 05/05/2018.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In: L. Ojala; O.-P. Hilmola (Orgs.); Case Study Research in Logistics. **Turku School of Economics and Business Administration**, Series B1, p.83-101, 2003.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems** 15, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

NARDELLI, E. S.; OLIVEIRA, J. T. BIM e Desempenho no Programa Minha Casa Minha Vida PMCMV. **Proceedings of SIGraDi 2013**, Valparaíso, Chile, p.312-316, 2013.

PAPAMICHAEL, K.; LAPORTA, J.; CHAUVET, H.; et al. The Building Design Advisor. **Proceedings of the ACADIA 1996 Conference**, Tuscon, United States, p. 1-17, 1996.

SCHLUETER, A.; THESSELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153-163, 2009.

SEGHIER, T. E.; WAH, L. Y.; AHMAD, M. H.; SAMUEL, W. O. Building Envelope Thermal Performance Assessment Using Visual Programming and BIM, based on ETTV requirement of Green Mark and GreenRE. **International Journal Of Built Environment And Sustainability**, v. 4, n. 3, p. 227-235, 2017.

SILVA, F.; ARANTES, E. Proposta de verificação automática dos requisitos de projetos pelo uso de ferramentas de análise BIM aplicados a Norma de Desempenho. **XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo, Brasil,

p.5039-5052, 2016.

SILVA, J. L. BIM e Design Science Research: plug-ins de desempenho como ferramentas para customização do processo de projeto em arquitetura. 2018. 235 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - **Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, Faculdade Meridional IMED, Passo Fundo, 2018.

SILVA, J. L.; MUSSI, A. Q.; RIBEIRO, L. A.; SILVA, T. L. BIM Software Plug-ins: An Alternative to Optimize Design Processes from the Perspective of Performance and Sustainability. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 11, n. 3, p. 249-264, 2017.

SILVA JÚNIOR, M. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. Requisitos de desempenho aplicados em projetos de arquitetura com o uso de BIM. **Revista Técnica**, v. 24, n. 33, p. 43-47, 2015.

SOLIBRI. **Solibri Model Checker**. Disponível em: <<https://www.solibri.com/products/solibri-model-checker/>>. Acesso em: 05/05/2018.

SOUZA, J. L. P. DE; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. Análise quantitativa da Norma de Desempenho (NBR No 15.575/2013) e principais desafios da implementação do nível superior em edificação residencial de multipavimentos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 1, p. 127-144, 2018.

TAKAHASHI, V. F. DE M. Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação, 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, **Arquitetura e Urbanismo**, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

WHITEHEAD, H. Laws of Form New York: Taylor & Francis, 2003. p. 116-148. In: B. Kolarevic (Org.). Architecture in the digital age: design and manufacturing, **New York: Taylor & Francis Group**, p.116-148, 2003..

WU, C.; CLAYTON, M. J. BIM-Based Acoustic Simulation Framework. **CIB W78 International Conference**, Beijing, China, p.99-108, 2013.

Juliano Lima da Silva
juliano_lima_silva@hotmail.com
Andréa Quadrado Mussi
Thaísa Leal da Silva
Paola Zardo
Lauro André Ribeiro