



# GESTÃO E TECNOLOGIA DE PROJETOS

Design Management and Technology

2020; 15 (2) - Fluxo Contínuo

© Gestão e Tecnologia de Projetos

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento

### Periodicidade

Semestral

### Tiragem

Revista eletrônica



### Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo [IAU-USP]

Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 - Centro

13566-590, São Carlos - SP, Brasil

Telefone: +55 16 3373-9311

Fax: +55 16 3373-9310

www.iau.usp.br

### Ficha Catalográfica

Gestão e Tecnologia de Projetos / Universidade de São Paulo.  
Instituto de Arquitetura e Urbanismo. - v. 15, n. 2 (2020) - .  
- São Carlos: USP, 2020 -

Semestral

ISSN 1981-1543

1. Processos e tecnologias de projetos - Periódicos.  
Arquitetura. I. Universidade de São Paulo. Instituto de  
Arquitetura e Urbanismo.

### Apoio

Programa de Apoio às Publicações Científicas Periódicas da USP - SiBI USP

### Bases de Indexação e Divulgação

DOAJ DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

latindex



.periodicos.

### Produção e Assessoria Editorial

Marcio Presente

### Diagramação e layout



- 4-5 EDITORIAL**  
Sheila W. Ornstein, Márcio M. Fabricio
- 6-19 ALTA TECNOLOGIA E REÚSO DE MATERIAIS DESCARTADOS: DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL DECORATIVO PARA A MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES**  
HIGH TECHNOLOGY AND REUSE OF WASTE MATERIALS: DEVELOPING A DECORATIVE PANEL FOR IMPROVEMENT OF THERMAL PERFORMANCE  
Maikol Yoshie Yabuki, Caio Gomide Otoni, Maria Gabriela Caffarena Celani
- 20-32 OPERACIONALIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO POR MEIO DO ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO EM MODELOS BIM DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**  
OPERATIONALIZATION OF DESIGN PARAMETERS THROUGH SEMANTIC ENRICHMENT IN BIM MODELS OF SOCIAL HOUSING  
Giovanna Tomczinski Novellini Brígite, Regina Coeli Ruschel
- 33-51 COMO VOCÊ MORA: SISTEMA INTERATIVO DE AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO EM MEIOS DIGITAIS**  
HOW DO YOU LIVE: POST-OCCUPANCY EVALUATION INTERACTIVE SYSTEM IN DIGITAL MEDIA  
Simone Barbosa Villa, Dominique Cunha Bruno, Ana Luísa Trevisan dos Santos, Camila Ribeiro Leão
- 52-68 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS DESTINADAS À ORIENTAÇÃO ESPACIAL, IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS E GUIAMENTO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**  
ASSISTIVE TECHNOLOGIES FOR PERCEPTION AND SPACE ORIENTATION OF PEOPLE WITH VISUAL DISABILITY  
Bianca Maria Vasconcelos, Bruno de Sousa Teti, Amanda de Moraes Alves Figueira, Lorena Maria da Silva Gonçalves
- 69-83 INTEGRANDO SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROCESSO DE PROJETO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DUAS PLATAFORMAS COMPUTACIONAIS**  
INTEGRATING DAYLIGHT SIMULATION ON DESIGN PROCESS: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TWO COMPUTATIONAL PLATFORMS  
Marina da Silva Garcia, Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Máira Louise Martins, Ana Carolina de Oliveira Veloso
- 84-97 LÓGICA ALGORÍTMICA-PARAMÉTRICA E URBANISMO: UMA REVISÃO TEÓRICA E DE MODELOS COMPUTACIONAIS PARA PROJETOS URBANOS**  
ALGORITHMIC-PARAMETRIC LOGIC AND URBANISM: A THEORETICAL AND A COMPUTATIONAL MODEL REVIEW FOR URBAN DESIGN  
Fernando Lima, Frederico Ribeiro Costa, Ashiley Rosa
- 98-112 DIRETRIZES PARA PROJETO DE AMBIENTE CONSTRUÍDO INCLUSIVO (PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA): REVISÃO SISTEMÁTICA**  
DESIGN GUIDELINES FOR INCLUSIVE BUILT ENVIRONMENT (HEARING IMPAIRED PEOPLE): SYSTEMATIC REVIEW  
Bianca Maria Vasconcelos, Vanessa Santana Oliveira

## Editorial Volume 15 Número 2 2020

É com satisfação que os editores da Gestão & Tecnologia de Projetos apresentam a segunda edição de 2020.

Esta edição da GTP, contempla um conjunto de artigos com destaque para as interfaces entre arquitetura, urbanismo, engenharia e design, os procedimentos das Revisões Sistemáticas de Literatura, as simulações e modelagens computacionais e os ensaios tecnológicos, com diversos desdobramentos atuais e futuros possíveis em termos de pesquisa e inovação.

Esta cobertura de temas de largo espectro é próprio das linhas de pesquisa abrangidas pela Revista e evidenciam, cada vez, mais a relevância das temáticas interdisciplinares.

O artigo, “Alta Tecnologia e Reúso de materiais descartados: desenvolvimento de um painel decorativo para a melhoria do desempenho térmico em edificações”, de *M.Y. Yabuki, C. Otoni, M.G. C. Celani*, é destacada a expressiva geração de resíduos sólidos que são devolvidos a natureza, sem tratamento ou reutilização. E nesta mesma direção, destaca também a importância das cooperativas de reciclagem para a seleção de materiais reciclados e sua reinserção no ciclo produtivo da construção civil. Para tanto, os autores adotam as premissas do Design Science Research, com características interdisciplinares para a criação de um artefato produzido com materiais descartados, na forma de um componente arquitetônico e ornamental de acabamento. Neste experimento, adotou-se o polietileno para o desenvolvimento de placas de acabamento especificadas para forros. Na modulação do painel foram utilizados modelos paramétricos digitais mediante o uso de impressora 3D. Como resultado, o plástico mostrou-se útil para a reciclagem e o artefato decorrente com potencial para redução de consumo energético associados a incrementos de conforto térmico, atributos esses que poderão agregar valor na sua fabricação.

Em sequência, o artigo “Operacionalização da aplicação de parâmetros de projeto através do Enriquecimento Semântico de Modelagem de Informação de Construção no estágio de concepção social”, de *G.T.N. Brígite, R. C. Ruschel* destacam a importância da utilização do BIM na concepção de projetos através do Enriquecimento Semântico para o caso da Habitação Social. Para tanto, as autoras partem da linguagem de padrões definidas há décadas atrás por Alexander et al. (1977) e desenvolvem algoritmos de parâmetros de projeto por meio de programação visual em BIM. São adotados 74 parâmetros de projeto (baseados em Barros, 2008) nas escalas da urbanidade e da habitabilidade. Para a chamada algoritmização de cada um desses parâmetros, são identificadas as variáveis como atributos para se atingir a modelagem BIM e explicadas as rotinas de automação. As autoras constataram a relevância do Enriquecimento Semântico de BIM para a avaliação de projeto em suas etapas iniciais (concepção), particularmente no caso do programa de necessidades das Habitações Sociais, otimizando, desta feita, as tomadas de decisão nas etapas preliminares de projeto.

O terceiro artigo desta edição, “Tecnologias assistivas destinadas a orientação espacial, identificação de obstáculos e guiamento de pessoas com deficiência visual”, de *B. M. Vasconcelos, B. de S. Teti, A. de M. A. Figueira e L.M. das S. Gonçalves*, tem como objetivo central a Revisão Sistemática da Literatura a partir de procedimentos metodológicos do PRISMA, utilizando, com muita acuracidade, palavras-chave e descritores booleanos para a seleção de artigos nacionais e internacionais, especialmente a partir de 2009 e explora o uso de tecnologias assistivas com vistas a ambientes externos e internos aos edifícios. O estudo abrange também tecnologias apoiadas em dispositivos como smart phones, tablets e computadores. A pesquisa aponta, ao final o potencial das tecnologias assistivas para a redução, de modo seguro, de percursos realizados por pessoas com deficiência visual, no caso de ambientes externos. Porém enfatiza que as limitações impostas pelo sinal de GPS e de GIS em ambientes internos, impede, até o momento, a integração plena dessas tecnologias assistivas, reduzindo, deste modo, a sua eficácia.



O trabalho, “Integrando simulações de iluminação natural no processo de projeto: análises comparativas entre duas plataformas computacionais, de *M. S. Garcia, R.V.G. de Souza, M.L.M. de Freitas e A.C. de O. Veloso*, parte de consistente Revisão Sistemática da Literatura sobre plataformas computacionais (simulações) existentes que visam integrar a iluminação natural com o projeto, especialmente com o uso do BIM. Nesta perspectiva, foram comparadas as plataformas computacionais Insight 360 e DIVA, tendo Belo Horizonte como estudo de caso. Na comparação foram adotados critérios de modelagem como geometria, localização, propriedades óticas dos materiais e outros. O artigo conclui pela importância da predição da iluminação natural para as áreas de conforto e de eficiência energética, buscando sempre a integração com o BIM. Por outro lado, expõe as vantagens e as desvantagens das duas plataformas no caso do processo de projeto de arquitetura e a necessidade de realização de medições in situ, para validação dos resultados apresentados.

O artigo, “Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos”, *F. Lima, F.R.Costa e A. Rosa* exploram, a partir de uma ampla revisão bibliográfica, as potencialidades e as limitações sobre o uso de modelos computacionais para a definição de cenários relativos a projetos urbanos. Para tanto, apresentam diversas ferramentas e finalizam com uma análise comparativa entre modelos e concluem pela necessidade de ampliação dos estudos científicos sobre essas modelagens com vistas a apoiar as decisões dos planejadores urbanos.

O sétimo artigo desta edição, “Como você mora: sistema interativo de avaliação pós-ocupação em meios digitais” de autoria de *S. B. Villa, D. C. Bruno, A. L. Trevisan e C. R. Leão* utilizam a avaliação pós-ocupação para discutir e aprimorar a qualidade da moradia. O trabalho faz parte de uma pesquisa ampla: “[COMO VOCÊ MORA] Sistema interativo de APO da qualidade do habitar em meios digitais” e o artigo avalia o desempenho do aplicativo CVM em testes realizados na cidade de Uberlândia, MG e utiliza como método a “Verbalização de Procedimentos”.

No oitavo artigo, “Diretrizes para projeto de ambiente construído inclusivo (pessoas com deficiência auditiva) : revisão sistemática”, *B.M. Vasconcelos e V.S.Oliveira*, são adotados os procedimentos do PRISMA para a revisão sistemática da literatura. Foi possível evidenciar que no contexto do Desenho Universal, existem poucos estudos voltados a diretrizes de projeto com vistas a autonomia de pessoas com deficiência auditiva. Assim, as autoras buscaram definir, a partir dos preceitos do *DeafSpace*, diretrizes de acessibilidade específicas para pessoas com deficiência auditiva, tais como alcance sensorial, acústica e interferências eletromagnéticas, luz e cor, espaço e proximidade, mobilidade e proximidade e outras. Ao fim, as autoras indicam a necessidade de validação futura das diretrizes elencadas por meio de um experimento num ambiente construído adaptado.

Desejamos a todos uma ótima leitura!

Sheila W. Ornstein

Márcio M. Fabricio

Editores da Revista *Gestão & Tecnologia de Projetos*

# ALTA TECNOLOGIA E REÚSO DE MATERIAIS DESCARTADOS: DESENVOLVIMENTO DE UM PAINEL DECORATIVO PARA A MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

ARTIGO

High technology and reuse of waste materials: developing a decorative panel for improvement of thermal performance

Maikol Yoshie Yabuki<sup>1</sup>, Caio Gomide Otoni<sup>1</sup>, Maria Gabriela Caffarena Celani<sup>1</sup>

**RESUMO:** O século XXI expressa um intenso avanço tecnológico aplicado nos mais diversos equipamentos gradualmente mais acessíveis à sociedade. Ao mesmo tempo, para atender a essa demanda, os recursos naturais são consumidos exponencialmente, gerando uma enorme quantidade de resíduos com destinação nem sempre adequada. Os principais agentes ligados à tentativa de redução desse impacto ambiental negativo por meio da reutilização de materiais são as cooperativas de reciclagem, responsáveis pela seleção dos materiais descartados e reintrodução no sistema produtivo. Através da Design Science Research, a pesquisa visa a criação de um artefato utilizando materiais descartados a fim de reintroduzi-los na cadeia produtiva sob a forma de elementos arquitetônicos de acabamento. Pela elevada representação nos materiais descartados, baixo índice de reaproveitamento e potencial de reconformação a quente, no estado fundido, o termoplástico poliestireno foi selecionado como matéria prima para o desenvolvimento de placas de acabamento para o teto (forro). Como maneira de agregar ainda mais valor ao produto, a constituição dos módulos do painel foi realizada a partir de moldes projetados com o uso de modelos paramétricos digitais e produzidos com o uso de impressora 3D. Além disso, o mesmo foi utilizado não apenas como acabamento estético, mas também como sistema de macroencapsulamento para um material de mudança de fase (*phase change material*), que contribui para o desempenho energético e o conforto térmico no ambiente em que é instalado. A pesquisa, de caráter interdisciplinar, envolveu pesquisadores das áreas de design, arquitetura, ciência dos materiais e conforto ambiental. O protótipo desenvolvido demonstra a possibilidade de se agregar valor a materiais descartados por meio de novas tecnologias de design, fabricação e materiais, e ainda contribui para a redução do gasto de energia, tanto na reciclagem do próprio plástico como na diminuição da temperatura do ambiente, apontando para possíveis desdobramentos de produção por cooperativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fabricação digital; Sistemas CAD/CAM; Sustentabilidade ambiental; Upcycling; Ornamento; Conforto térmico.

**ABSTRACT:** The 21st century expresses an intense technological advance applied in the most diverse equipment gradually more accessible to society. At the same time, to meet this demand, natural resources are consumed exponentially, generating a huge amount of waste with destination not always adequate. The main agents linked to the attempt to reduce this negative environmental impact through the reuse of materials are recycling cooperatives, responsible for the selection of discarded materials and reintroduction into the production system. Through Design Science Research, the research aims to create an artifact using waste materials to reintroduce them into the production chain as architectural finishing elements. Due to its high occurrence in the discarded materials, low reuse rate, and potential of being processed in the molten state, polystyrene was selected as a raw material for the development of ceiling finishing boards. As a way to add even more value to the product, the panel modules were constituted from molds designed using digital parametric models and produced using a 3D printer. In addition, it has not only been used as an aesthetic finish, but also as a macroencapsulation system for a *phase change material*, which contributes to energy performance and thermal comfort in the environment in which it is installed. The interdisciplinary research involved researchers from the areas of design, architecture, materials science, and environmental comfort. The developed prototype demonstrates the possibility of adding value to discarded materials through new technologies of design, manufacture, and materials science. It also contributes to the reduction of energy expenditure, both in the recycling of the plastic itself and in the reduction of the temperature of the material, pointing towards possible consequences of production by cooperatives.

**KEYWORDS:** Digital manufacturing; CAD/CAM systems; Sustainability; Upcycling; Ornament; Thermal comfort.

## How to cite this article:

YABUKI, M. Y.; OTONI, C. G.; CELANI, M. G. C. Alta tecnologia e reúso de materiais descartados desenvolvimento de um painel decorativo para a melhoria do desempenho térmico em edificações. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v15, n2, p.6-19, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.155158>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

**Fonte de Financiamento:**

CAPES

**Conflito de Interesse:**

Declara não haver.

**Submetido em:** 23/02/2019

**Aceito em:** 08/01/2020



## INTRODUÇÃO

O século XXI expressa um acelerado processo de subsequentes avanços tecnológicos e aumento na disponibilidade de equipamentos que permitem incorporar essas inovações no mercado. Estas novas tecnologias provocam grandes alterações na sociedade de maneira geral, incluindo a arquitetura, onde não só alteram os modos como os projetos são desenvolvidos, mas também os processos de fabricação ou construção de elementos arquitetônicos e até mesmo de edificações completas.

Um dos resultados dessa difusão massiva de sistemas CAD/CAM (*computer-aided design/computer-aided manufacturing*) na arquitetura é a possibilidade de geração de texturas e padronagens com uma facilidade sem precedente. A partir do uso de computadores, geometrias complexas tornam-se possíveis e equipamentos com controle numérico computacional (CNC) como impressoras 3D, cortadoras a *laser*, fresadoras e tornos simplificam a fabricação de complicados elementos ornamentais, propiciando o retorno de seu uso na arquitetura contemporânea.

Outra característica da contemporaneidade é o progressivo aumento na quantidade de resíduos gerados pela população, resultado da intensa e desordenada utilização dos recursos naturais. Segundo o relatório publicado no ano de 2010 pelo Programa da Organização das Nações Unidas (ONU) para o Meio ambiente - PNUMA, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de lixo são gerados por ano no mundo, com um crescimento previsto para 2,2 bilhões de toneladas em 2025. Por outro lado, vem surgindo uma intensificação da preocupação sobre a relação do homem com o meio ambiente e com sua sobrevivência no planeta Terra.

A busca pelo equilíbrio na relação da humanidade com o meio em que está inserida ao longo do tempo pode ser entendida como sustentabilidade ambiental, a qual envolve a habilidade de suprir suas necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras de também suprirem as suas. Desta forma, um importante aspecto da sustentabilidade ambiental é a reutilização de materiais para conservação da matéria prima e energia empregada em sua produção, precedendo o sistema de reciclagem por evitar o reprocessamento, poupando gastos econômicos e energéticos, além de reduzir seu impacto ambiental.

Os principais agentes ligados a este processo são as cooperativas de reciclagem, que realizam a coleta seletiva dos materiais descartados e os inserem novamente no ciclo produtivo. Entre esses dois processos, há a oportunidade de intervenção dos próprios agentes de cooperativas sobre a reutilização dos resíduos sólidos urbanos com a possibilidade de gerar uma fonte alternativa de renda. Pelo empoderamento desses trabalhadores, pode-se tentar amenizar sua marginalização e coibir o estigma do reúso de materiais descartados.

Os produtos fabricados com materiais reutilizados ou reciclados são, em geral, artesanais, de baixa qualidade e frágeis. Dessa forma, existe a necessidade de incorporação de diversas funções e qualidades a esses artefatos para que a população se sinta atraída pela sua utilização. Com relação à arquitetura, dois importantes valores que podem ser agregados são a estética e o desempenho ambiental. Enquanto a utilização de *phase change materials* como sistema passivo de controle de temperaturas internas pode reduzir a energia gasta com o condicionamento artificial das edificações, a incorporação de qualidades estéticas torna os elementos arquitetônicos de acabamento mais agradáveis, agregando valor ao trabalho dos cooperados e possibilita uma fonte de renda alternativa.

## OBJETIVO

Aproximando a sustentabilidade de um sistema completo de pensamento, envolvendo consciência, meio ambiente, economia e sociedade, esta

pesquisa procura novas possibilidades de aplicação da alta tecnologia no conceito da economia circular. Dessa forma, busca desenvolver um artefato através da *Design Science Research* como metodologia de pesquisa utilizando sistemas CAD/CAM e equipamentos CNC em materiais plásticos descartados, a fim de reintroduzi-los na cadeia produtiva sob a forma de elementos arquitetônicos de acabamento. Sua produção visa aumentar a sustentabilidade no meio ambiente construído por meio do aumento da vida útil dos materiais empregados e auxiliar na redução do consumo de energia das edificações pelo controle passivo de temperaturas internas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O levantamento de informações como base de conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho configura a alta tecnologia dos sistemas CAD/CAM e equipamentos CNC como tema central, orbitando em três grandes temas envolvidos: a reinterpretção do ornamento na arquitetura contemporânea, a sustentabilidade socioambiental, principalmente relacionada a resíduos sólidos urbanos, e o conforto térmico, por meio do controle passivo de temperaturas internas.

## SISTEMAS CAD/CAM E ARQUITETURA HIGH-LOW

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos e o aumento da disponibilidade de equipamentos no mercado têm impactado o campo da arquitetura e da construção civil, abrindo novas oportunidades para a prática e para a produção arquitetônica. O Brasil já apresenta um significativo parque de equipamentos CNC. Desse modo, o custo e a disponibilidade dos equipamentos não podem mais ser considerados fatores limitantes para a incorporação dessas técnicas nos processos de projeto e construção de edificações (SILVA et al., 2009). Para Kolarevic (2003), essas tecnologias desafiam não só a prática projetual, mas também o modo como os edifícios estão sendo fabricados e construídos.

Consonante a essas iniciativas tecnológicas, surgiram, nos últimos anos, espaços abertos à comunidade equipados com ferramentas eletrônicas, *softwares* e equipamentos CNC; os Fab Labs (*fabrication laboratories*), vinculados à rede de laboratórios de fabricação digital do Massachusetts Institute of Technology (MIT), que se estende por mais de 100 países, com mais de 1.200 laboratórios pelo mundo, e os *Makerspaces*, com uma definição mais aberta de ambientes colaborativos para explorar e compartilhar o uso de ferramentas e equipamentos, inclusive computacionais e de alta tecnologia.

Segundo Save de Beurecueil e Lee (2015), o conceito *high-tech*, ou alta tecnologia, em *design*, é definido como toda a geração de forma ou componente arquitetônico alcançada com o uso de ferramentas computacionais e com a fabricação digital, enquanto a *low-tech*, ou baixa tecnologia, caracteriza uma produção arquitetônica com base em processos locais manuais, não industrializados ou com uma tecnologia muito simples, e muitas vezes com o reuso de materiais. Dessa forma, os autores consideram que o conceito *high-low tech* na arquitetura estimula o reaproveitamento de materiais e componentes existentes na geração de formas arquitetônicas originais, além de servirem à fabricação digital de modelos e componentes construídos propriamente ditos.

## O ORNAMENTO NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

O uso de computadores torna possível a proposição de geometrias complexas e os equipamentos CNC simplificam a fabricação de complicados ele-

mentos ornamentais, viabilizando o retorno de seu uso na arquitetura contemporânea de diversas maneiras. Segundo Jones (2001), o ornamento tem sido um elemento do projeto arquitetônico desde os tempos pré-históricos e seus conceitos de padrões decorativos foram regularmente inspirados pelas formas naturais e aplicados na arquitetura para mostrar o domínio do Homem sobre a natureza. O Estudo de Jones, publicado pela primeira vez em 1856, foi e continua sendo um dos principais inventários de arte ornamental ao longo da História e dos diversos povos que os desenvolveram.

No começo do século XX, devido ao processo de industrialização e sua influência nas mudanças culturais, o ornamento perdeu muito valor, principalmente na arquitetura. De acordo com Loveridge e Strehlke (2006), a ênfase do movimento moderno na forma sem adornos, combinada com o estabelecimento do *international style* e a substituição do trabalho à mão pela produção em massa, ocasionou uma sistemática eliminação do ornamento na arquitetura. Nesse contexto, o manifesto de Adolf Loos (2006), publicado pela primeira vez em 1913 com o título “Ornamento e Crime”, marca uma mudança de paradigma com relação à aplicação de elementos decorativos, naquele momento considerados supérfluos, sobre as superfícies do edifício.

Ainda para Loveridge e Strehlke (2006), a redução do ornamento na arquitetura pode ser diretamente atribuída à intensificação do uso de máquinas nos processos de fabricação. Paradoxalmente, o retorno ao ornamento pode ser possível exatamente pelo uso de tecnologias CAD/CAM. Diferentes processos têm sido desenvolvidos para criar componentes usando diferentes tipos de fontes de informações e entrada de dados, mas, de qualquer modo, o método de trabalho foca sempre no ciclo completo de produção: da geração da geometria digital até a fabricação. A principal vantagem de usar sistemas CAD/CAM é a possibilidade de gerar e fabricar inúmeras variações como resultado final.

Ao explorar esses novos limites e seguir o pensamento de Loveridge e Strehlke (2006) de que a customização em massa e a personalização na arquitetura podem atingir a grande escala, mas pode ser mais efetivo desenvolver inicialmente uma escala menor, esta pesquisa propõe a produção de elementos arquitetônicos de acabamento sem limitar-se a fatores estilísticos de ornamentos na arquitetura. Ao contrário da “falta de personalidade da arquitetura moderna”, segundo Picon (2013), desenvolve-se o ornamento contemporâneo que este autor considera como uma aproximação altamente pessoal com o mundo, chegando a compará-lo com o uso de tatuagens e *piercings*, que, embora atualmente sejam uma característica das massas, objetivam afirmar a identidade e visão única de cada um.

## SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

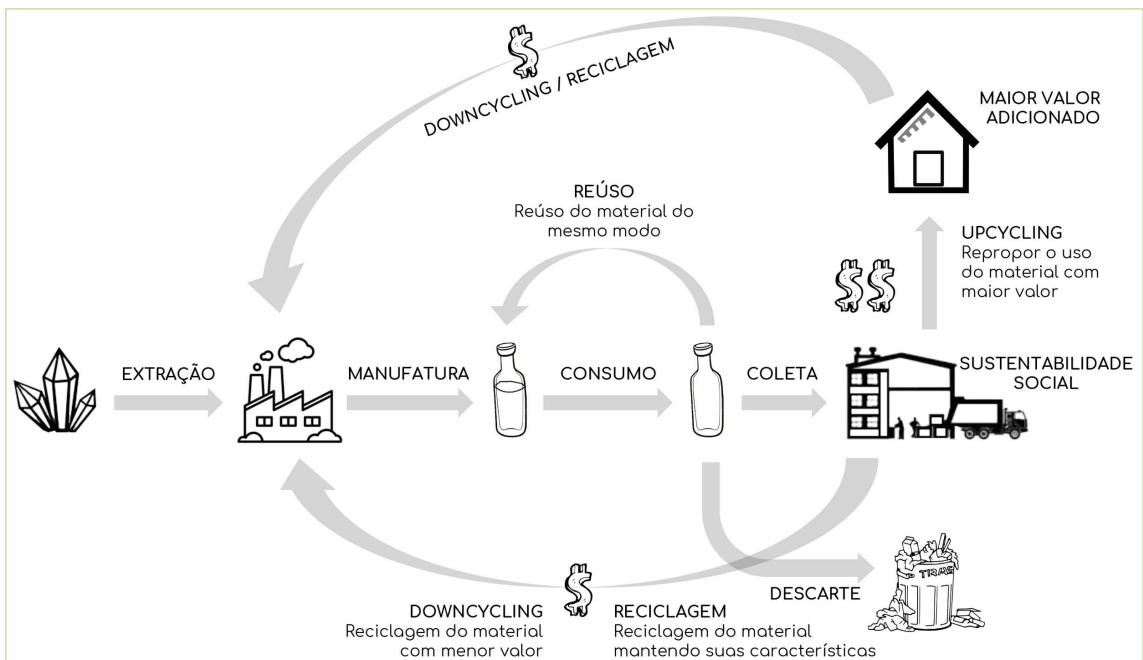
O relatório elaborado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, em 2017, afirma que são coletadas 214,8 mil toneladas de resíduos sólidos por dia em 91,2% do total de domicílios no país. Complementando a informação, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística - IBGE, em 2008, indica que 31,9% do total de lixo gerado pela população é composto de material reciclável.

O potencial de reaproveitamento desses materiais não chega a ser explorado pelos 70,4% de municípios brasileiros que possuem alguma iniciativa de coleta seletiva, pois ainda há baixos índices de recuperação de materiais, como apenas 8,2% do plástico produzido pela indústria. Segundo relatório da ISWA - *International Solid Waste Association*, estima-se que entre 4,8 e 12,7 milhões de toneladas de resíduos de plástico foram lançados no meio marinho a partir de populações costeiras em 2010. Estima-se que mais 1,2 a 2,4 milhões de toneladas de plástico atingem os oceanos a cada ano a partir de fontes interiores através de rios. O impacto ambiental deste resíduo é enorme sobre a vida marinha, chegando às impressionantes imagens da quantidade de plástico retirada do estômago de aves ou tartarugas mortas.

Além do lançamento em meio marinho, os resíduos gerados pela população possuem diversos destinos possíveis, sendo os principais: aterros sanitários, incineração, reuso e reciclagem. Como tema de estudo, a reciclagem abrange três conceitos de acordo com as características finais do produto resultante: *recycling*, *downcycling* e *upcycling*. O termo reciclagem é mais comumente usado para se referir aos processos de *recycling* e *downcycling*; no primeiro caso, os materiais mantêm suas características físico-químicas depois de processados, enquanto no segundo caso, perdem qualidade após serem submetidos ao reprocessamento. McDonough e Braungart (2002) reafirmaram o termo usado pelo ambientalista e empresário alemão Reine Pilz, que utiliza *upcycling* para designar o objetivo de evitar o desperdício de materiais potencialmente úteis, reduzindo o consumo de novas matérias-primas e energia. Isto torna a prática ainda mais positiva, do ponto de vista ecológico, do que a própria reciclagem.

**Figura 1:** Processo de reciclagem, downcycling e upcycling

**Fonte:** elaborado pelos autores



De acordo com relatório do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea (2010), os principais agentes ligados ao processo de reciclagem são, de maneira geral, pessoas inseridas em jornadas informais de trabalho, com baixa escolaridade, e que convivem em um ambiente de múltiplas precariedades, dificultando a consolidação de um empreendimento cooperativo. As organizações que conseguem ultrapassar estas barreiras iniciais para a formação do empreendimento, muitas vezes com o apoio técnico e financeiro de entidades de fomento ou poder público, tendem a inserir-se de maneira mais vantajosa na cadeia de valor da reciclagem.

Dessa forma, os objetivos desta pesquisa se concentram em estabelecer meios para o beneficiamento de materiais descartados para além da possibilidade de gerar uma fonte alternativa de renda a esses trabalhadores, capacitando-os em novas tecnologias, aumentando sua consciência ambiental e estabelecendo um meio de reconhecimento, valorização social e redução da marginalização dessa população.

## DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Segundo Borges (2008), o conceito de desempenho na construção civil está, há muitos anos, associado ao comportamento no uso de edificações, dentro de determinadas condições. O edifício é um produto que deve apresentar determinadas



características que o capacite a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso. Assim, ele é considerado “bem-comportado” quando atende aos requisitos para o qual foi projetado. Ainda para o autor, do ponto de vista técnico, o conceito de desempenho não se aplica apenas a sistemas, mas também a elementos e componentes. O edifício é percebido como um grande sistema constituído de sistemas, elementos e componentes que interagem entre si, cada um com uma função determinada para a obtenção do desempenho global e de cada parte.

A partir da utilização de aparelhos mecânicos e elétricos para condicionar artificialmente os espaços por meio de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, o entorno dos edifícios deixou de ser o principal moderador dos ambientes internos e os projetistas reduziram sua responsabilidade sobre a climatização natural e eficiência energética. Com a atual e crescente preocupação ambiental, há uma busca por alternativas que solucionem essa dependência por meio de estratégias passivas de climatização que reduzam o consumo energético na oferta de conforto térmico aos usuários.

Para Gonçalves e Graça (2004), os sistemas passivos se referem a dispositivos construtivos integrados nos edifícios, cujo objetivo é o de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural. Os autores consideram que a massa térmica desempenha um papel estabilizador das condições interiores, atenuando a amplitude térmica dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, sendo que também será mais difícil aquecer (nos climas quentes) ou resfriar (nos climas frios) o edifício, sendo necessário um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo muito do tipo de edifício e localização do mesmo. Nos climas quentes, durante o período diurno, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência direta da radiação solar e, durante o período noturno, devolve-o ao espaço.

Um dos dispositivos que podem ser integrados ao edifício para aumentar a massa térmica de elementos construtivos são os materiais de mudança de fase, mais conhecidos por seu nome em inglês, *phase change materials* - PCMs. Esta tecnologia promissora, que recebeu atenção considerável ao longo da última década, utiliza o princípio de armazenamento térmico por calor latente ou latent heat thermal storage (LHTS) para absorver energia em grandes quantidades quando há um excedente e liberá-la quando há um déficit. Para Kalnaes e Jelle (2015), o uso correto de PCMs pode reduzir o pico de aquecimento e reduzir o uso de energia gasto em equipamentos técnicos para aquecimento e resfriamento. Um benefício adicional é sua capacidade de manter o ambiente interno mais confortável devido a menores flutuações de temperatura.

Os PCMs utilizam o calor latente da mudança de fase para controlar as temperaturas dentro de uma faixa específica. Quando a temperatura sobe acima de um certo ponto, o material atravessa o processo endotérmico de fusão, com a consequente absorção de altas quantidades de energia. No processo inverso, mediante redução da temperatura, o material solidifica-se, liberando também altas quantidades de calor. A energia usada na transição física do PCM, sendo suas temperaturas de fusão e cristalização podem ser ajustadas para próximas à temperatura ambiente desejada, levará a um clima interno mais estável e confortável, além de reduzir as cargas de resfriamento e aquecimento (Baetens et al., 2010).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Goldratt (1986), “[...] o conhecimento que nos rodeia não é um objetivo a ser alcançado por si só. Ele deve ser perseguido, acredito, para tornar o nosso mundo um lugar melhor e a vida mais gratificante [...]”. No sentido contrário dessa ideia, Dresch et al. (2015) apresentam o levantamento da revista *The Economist* de agosto de 2007, que revela que os periódicos acadêmicos publicam mais de 20.000 artigos por ano. A maior parte da pesquisa é altamente quantitativa, orientada a hipóteses e esotérica. Segundo os autores, como resultado disso, é quase que universalmente não lida pelos gestores do mundo real.

A necessidade de ser relevante para os profissionais não dispensa a pesquisa da necessidade de ser reconhecida pela comunidade acadêmica, garantindo,

assim, o avanço do conhecimento, segundo Daft e Lewin (2008). O rigor é outro predicado que deve estar presente desde a sua condução até a apresentação dos resultados (VAN AKEN, 2005; HATCHUEL, 2009). A maior precisão metodológica auxilia a assegurar a validade da pesquisa e o reconhecimento com boa condução e confiabilidade.

Um possível esclarecimento para a distância encontrada entre o meio acadêmico (teoria) e organizações (prática) pode ser encontrado nos métodos utilizados para o desenvolvimento de pesquisas em ciências naturais e artificiais. Apesar de ambas serem consideradas ciências baseadas em fatos empíricos, elas são essencialmente diferentes. Segundo Simon (1996), a ciência natural se refere a um conjunto de conhecimentos sobre uma classe de objetos e/ou fenômenos (características, comportamentos e interações). Nesse sentido, é tarefa das disciplinas científicas naturais pesquisarem e ensinarem como as coisas são e como elas funcionam. No entanto, para Dresch et al. (2015), não basta compreender profundamente um fenômeno (o fenômeno em si, seus antecedentes, suas consequências, seus mediadores). Precisamos desenvolver conhecimentos sobre como intervir em determinada situação e gerar os resultados desejados.

Dessa forma, Simon (1996) levanta a possibilidade de estudos sobre o universo artificial, definindo que as ciências do artificial se ocupam da concepção de artefatos que realizem objetivos. O autor salienta a necessidade de criar uma ciência (i.e., um corpo de conhecimento rigoroso e validado) que se dedique à proposição de artefatos com propriedades desejadas, ou seja, uma ciência de projeto ou *Design Science*. A missão principal da *Design Science* é, portanto, desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefatos (VAN AKEN, 2004).

No que diz respeito aos métodos de pesquisa, podemos conceituá-los como um conjunto de passos reconhecidos pela comunidade acadêmica e utilizados pelos pesquisadores para a construção do conhecimento científico (ANDERY et al., 2004). Dessa forma, a *Design Science Research* é um método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição. Como método de pesquisa orientado à solução de problemas, a *Design Science Research* busca, a partir do entendimento do problema, construir e avaliar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis (DRESCH et al., 2015).

Considerando a condução da metodologia *Design Science Research* de diversos autores, esta pesquisa segue o método proposto por Dresch et al. (2015).

## IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A alta tecnologia de sistemas CAD/CAM e equipamentos CNC tem seu desenvolvimento voltado principalmente para a criação de novos sistemas e produtos com um nível de consciência modesto a respeito da procedência de sua matéria prima ou da destinação final com o término de sua vida útil. A partir da grande quantidade de resíduos sólidos gerada por dia no Brasil e do grande potencial para sua reintrodução no ciclo produtivo, verifica-se uma possibilidade de pensar a sustentabilidade como um sistema completo de pensamento.

Dessa forma, a questão de pesquisa se formaliza em torno das possibilidades de aplicação de alta tecnologia na reintrodução de materiais descartados na cadeira produtiva, incorporando aspectos estéticos e de conforto térmico para o desenvolvimento de um elemento arquitetônico de acabamento.

## CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

Além das informações levantadas na fundamentação teórica, também há necessidade de considerar as dificuldades limitantes para o desenvolvimento do artefato em cada um dos temas envolvidos na pesquisa.



Com relação aos avanços tecnológicos, há necessidade de desenvolver uma solução de baixa complexidade para capacitação, principalmente, de agentes ligados às cooperativas de reciclagem. Apesar da grande quantidade de resíduos plásticos coletados no Brasil, é preciso investigar quais tipos do material podem ser submetidos a sistemas CAD/CAM. As questões estéticas envolvem diversos fatores culturais. Dessa forma, o desenvolvimento do elemento arquitetônico de acabamento deve ser adaptável a diferentes estilos e personalizações para maior aceitação no mercado. A incorporação de PCM deve considerar uma solução alternativa de baixo custo frente ao elevado valor dos produtos encontrados no mercado que utilizam esses materiais, e que seja proveniente, preferencialmente, de fontes renováveis.

Além das características levantadas acima, o elemento arquitetônico de acabamento a ser desenvolvido deve considerar características como funcionalidade, durabilidade, estabilidade, estanqueidade e atendimento às normas brasileiras, principalmente de resistência ao fogo.

## IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS COMO SOLUÇÃO

A pesquisa buscou iniciativas de aplicação de alta tecnologia em materiais descartados que possam relacionar-se com o desenvolvimento do artefato. A partir da busca por referências projetuais, o quadro abaixo apresenta os principais resultados e suas características conceituais e práticas.

**Figura 2:** Iniciativas de aplicação de alta tecnologia em materiais descartados

**Fonte:** elaborado pelos autores.

PROPOSTA	AUTORES	ANO	LOCAL	TIPOLOGIA	LIGAÇÃO ACADÊMICA	MATERIAIS REUTILIZADOS	FERRAMENTAS CAD UTILIZADAS PARA DESIGN	FERRAMENTAS CAM UTILIZADAS PARA FABRICAÇÃO
JUNK	Alunos do Georgia Institute of Technology	2011	Atlanta - USA	Arquitetura efêmera	Georgia Institute of Technology	Garrafas plásticas de refrigerante / elásticos / anéis de acrílico	Modelagem tridimensional / desenho bidimensional	CNC - fresadora para corte dos anéis de acrílico
RECYCLED TOY FURNITURE	Greg Lynn	2008	Los Angeles - USA para Bienal de Veneza	Mobiliário / instalação artística	---	Brinquedos infantis plásticos	Digitalização 3D por laser / Modelagem tridimensional	Braço robótico de 6 eixos para cortar peças
JUGAAD	Sanjeev Shankar	2008	Nova Delhi - Índia	Arquitetura efêmera	Goethe Institute / German Technical Cooperation (GTZ)	Latas de óleo metálicas	Modelagem tridimensional	---
REPURPOSED POLITICAL PLY	Jason Griffiths / alunos da Arizona State University	2009	Tempe - USA	Arquitetura efêmera	Arizona State University	Posteres de campanhas políticas	Modelagem tridimensional / planificação de volumes (Rhinceros)	CNC - fresadora para corte e frisos de dobras nos painéis
PLAYSCAPE	Cameron Acheson / Bill Batey / Courtney Mathias / Jamie	2010	Alabama - USA	Arquitetura efêmera	Auburn University	Galões galvanizados	Modelagem tridimensional / desenho bidimensional	---
WATER BRANCH HOUSE	Kengo Kuma	2008	New York - USA	Arquitetura efêmera	---	Tanques plásticos	Modelagem tridimensional / desenho bidimensional	---
GRINDSHELL STRUCTURE	Ayodh Vasant Kamath	2015	Pennsylvania - USA	Arquitetura efêmera	University of Pennsylvania	Tapumes de madeira recuperados	Modelagem tridimensional / Scripts Rhinceros	CNC - fresadora para corte das peças de madeira
PERPETUAL PLASTIC PROJECT	Better Future Factory	2012	Rotterdam - Holanda	Filamento impressoras 3D	---	Plástico descartável	Repositórios de modelos 3D para impressão	Impressora 3D

De acordo com as referências projetuais identificadas, pode-se verificar que boa parte dos processos criativos são destinados a arquiteturas efêmeras ou instalações artísticas. Assim, questões como estabilidade (dos materiais empregados) e durabilidade não são consideradas como fatores essenciais em seu desenvolvimento. A maioria das iniciativas possui relação com o meio acadêmico, demonstrando um interesse de pesquisa, mas que não necessariamente

alcançam o mercado produtivo. Grande parte dos exemplos são recentes, dos últimos dez anos, o que pode ser a causa dessa ausência de ligação com o mercado. Os materiais empregados são bastante diversos e quase todos os projetos utilizam sistemas CAD na fase de projeto. Contudo, a produção não acompanha essa tendência; a manufatura assistida por computador não é empregada ou utilizada apenas em etapas ou partes do *design*, o que mostra uma dificuldade na conciliação dos materiais descartados com equipamentos CNC.

## PROPOSIÇÃO DOS ARTEFATOS

A fase prática da pesquisa foi iniciada com visitas às duas cooperativas de reciclagem na cidade de Rio Claro - SP: Cooperviva e Novo Tempo. Ambas organizações possuem apoio da Prefeitura Municipal para organização e regularização dos espaços ocupados e coleta seletiva do município. Os materiais coletados seguem a tendência apresentada no panorama de resíduos sólidos apresentado pela ABRELPE com destaque para embalagens plásticas, papel/papelão e metais (em menor quantidade). Os plásticos mais recorrentes neste ambiente foram coletados para a pesquisa: polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), poli(tereftalato de etileno) (PET) e poliestireno (PS).

Os principais meios de transformação aos quais estes materiais podem ser submetidos foram investigados através de visitas a diversos *maker spaces* e laboratórios de fabricação digital. Dentre os aparelhos disponíveis, destaca-se a termoformadora a vácuo, por ser um dispositivo que exige um menor nível de conhecimento técnico para operação, baixo custo e indicação para o trabalho com materiais termoplásticos. Apesar deste não ser um equipamento de controle numérico, ele é comumente utilizado em conjunto com moldes produzidos por equipamentos de fabricação digital. A tecnologia da moldagem por termoformação a vácuo consiste no aquecimento de uma prancha plástica até que ela sofra amolecimento e, a partir daí, seja forçada contra um molde por meio de pressão negativa.

Os moldes a serem utilizados no equipamento podem ser desenhados parametricamente por sistemas CAD (*3DS Max*, *Rhinoceros*, *Grasshopper*) para atender a diferentes estilos ou preferências dos usuários, e produzidos por equipamentos CNC como impressoras 3D ou fresadoras. Dessa forma, o processo de produção consegue envolver diversas frentes de trabalho em sistemas CAD/CAM.

Após a definição do material e meio de transformação, foram realizados diversos testes com os tipos de plásticos coletados para verificar qual deles apresenta melhor resposta à termomoldagem a vácuo. Pela boa estabilidade depois de aquecido, boa transferência da forma do molde para o material e baixo tempo de aquecimento, o PS foi o polímero com maior potencial para o desenvolvimento do artefato.

A termomoldagem a vácuo permite a configuração de pequenos módulos que podem compor placas de maiores dimensões pela justaposição destas peças em diferentes combinações. Dessa forma, verificou-se a possibilidade de usar telas aramadas para suporte dos elementos e, assim, configurá-los como placas de forro ou painéis decorativos internos. Contudo, em uma possível aplicação na vertical, seria difícil garantir a estanqueidade do material líquido dentro das cápsulas.

A partir da proposição do material que conterá o PCM e de suporte para os módulos, também foram avaliadas as possibilidades de utilização de diferentes materiais como PCM em substituição às opções existentes no mercado com custo elevado. Para isso, participaram como parceiros desta pesquisa o Prof. Dr. Watson Loh e o Dr. Caio Otoni, do Instituto de Química da UNICAMP; a Profa. Dra. Sabine Hoffmann, do Department of Built Environment da Technische Universität Kaiserslautern (Alemanha); e a Profa. Dra. Lucila Labaki, do Departamento de Conforto Ambiental e Física Aplicada da UNICAMP.

A seleção do PCM iniciou-se pelo levantamento das informações climáticas da cidade de Campinas - SP para definir as características necessárias a seu me-

lhor funcionamento. Dessa forma, definiu-se que o PCM deveria ter uma temperatura de mudança de estado em torno dos 28 °C. A primeira opção foi uma parafina específica para este ponto de fusão/solidificação. Apesar de possuírem baixa toxicidade, as parafinas merecem atenção em função da carga de fogo em caso de incêndio, além de serem obtidas majoritariamente de fontes naturais não renováveis.

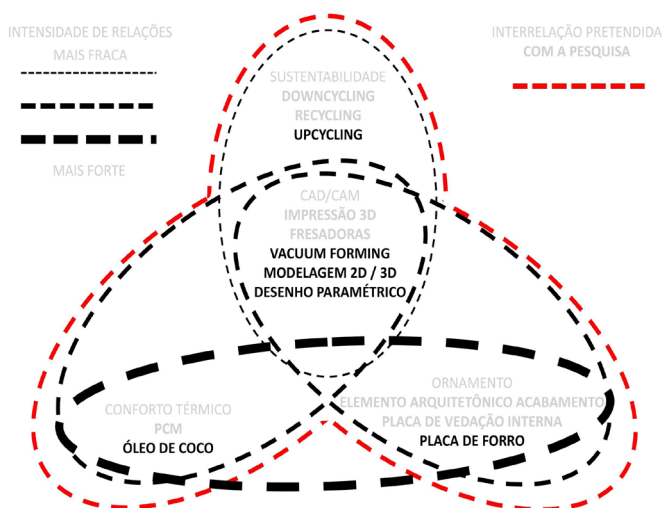
Um material orgânico, comumente usado no Brasil para outros fins, chamou atenção por ter um ponto de fusão bastante próximo do necessário, entre 26 e 28 °C: o óleo de coco. Também chamado de azeite ou manteiga de coco, é um óleo vegetal composto por aproximadamente 90% de ácidos graxos extraídos pela prensagem da polpa do fruto. Embora essa aplicação seja praticamente desconhecida no Brasil, o potencial do óleo de coco como PCM tem sido amplamente explorado para o armazenamento de energia térmica (calor latente) em edifícios, segundo Saleel et al. (2018). Para o mesmo autor, as características que comprovam seu potencial são as propriedades termofísicas com uma mudança de fase dentro da variação de temperatura de conforto (24-27 °C), baixo custo pela oferta abundante do material, estabilidade em temperaturas altas pelo seu alto ponto de fumaça (temperatura a qual, sob determinadas condições, o material começa a produzir uma fumaça claramente visível), alto ponto de ebulição, segurança, baixa reatividade, e rápida cristalização.

Também foram verificados os elementos presentes no mercado que utilizam PCM como meio passivo de controle térmico. Verifica-se uma grande quantidade de materiais que começaram a incorporar PCM em suas composições. Apesar disso, o preço elevado dos produtos finais ocasiona uma baixa utilização no mercado. Também foram investigados revestimentos decorativos para paredes e tetos em relevo, produzidos em PS, disponíveis no mercado. Verificou-se a existência de painéis de revestimento 3D fabricados por modelagem bidimensional, tridimensional e termomoldados a vácuo.

Esses produtos são fabricados no modelo da economia linear e vendidos em grandes lojas de materiais de acabamento e comércio eletrônico. A produção de um artefato personalizado, fabricado com materiais alternativos que possam oferecer uma solução mais sustentável em todos os seus aspectos, parece, portanto, ser bastante inovadora e com bom potencial de sucesso.

## PROJETO DO ARTEFATO

A partir das proposições levantadas na etapa anterior, o projeto do artefato define os principais meios que serão considerados em cada um dos temas envolvidos para o desenvolvimento da pesquisa.



**Figura 3:** Infográfico de interrelação entre temas da pesquisa

**Fonte:** elaborado pelos autores

A Figura 3 evidencia que a relação mais forte é entre os elementos arquitetônicos de acabamento e o PCM, pela grande quantidade de produtos já encontrados no mercado. A relação entre os elementos arquitetônicos de acabamento com sistemas CAD/CAM já apresenta produtos no mercado como os revestimentos 3D fabricados em larga escala industrial através de termomoldagem, mas trata-se de uma solução cuja forma de produção não possui valor agregado. Por meio de trabalhos acadêmicos, pode-se perceber que a utilização de *vacuum forming* para contenção de PCM em painéis já foi estudada de maneira embrionária. A relação mais fraca encontrada, que receberá maior atenção no desenvolvimento deste projeto, é o *upcycling* de materiais descartados utilizando sistemas CAD/CAM. Apesar de já serem encontradas iniciativas nesse sentido, o foco é voltado principalmente para arquiteturas efêmeras e instalações artísticas, sem fins comerciais na arquitetura.

Outras informações que podem ser verificadas no infográfico são os destaques com letras em negrito sobre as definições do que serão considerados dentro de cada um dos temas. O **UPCYCLING** de materiais descartados utilizando **DESENHO PARAMÉTRICO** para **MODELAGEM 2D / 3D** e produção em **VACUUM FORMING** de **PLACAS DE FORRO** incorporando **ÓLEO DE COCO** como *phase change material*.

## DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

A partir das definições de projeto, pode-se elaborar uma sequência de atividades para o desenvolvimento do artefato desde a matéria prima até sua produção final.

Inicialmente ocorre a coleta de material descartado. Pelos resultados positivos com o PS, o material foi selecionado para dar prosseguimento à pesquisa, mas a reduzida espessura da maioria dos objetos em PS encontrados entre os materiais para reciclagem é um fator a ser analisado com maior atenção pois, apesar de favorecer as trocas térmicas, essa espessura reduzida pode comprometer a durabilidade do artefato. O processo tem continuidade com a limpeza dos objetos coletados e posterior planificação por meio de cortes.

Concomitantemente, há algumas atividades relativas ao desenvolvimento do molde para a termomoldagem. Sua modelagem é realizada por desenho paramétrico utilizando algoritmos computacionais (Grasshopper), possibilitando sua adaptação a diferentes usuários e características. Os parâmetros a serem considerados no algoritmo computacional relacionam-se às dimensões e formato da base para se adaptar a diferentes telas aramadas comerciais, quantidade e formato das aletas a serem instaladas no módulo, e altura das aletas para controle do volume de PCM em seu interior.

Após o projeto do molde, por meio de parâmetros, gera-se uma instanciação do modelo a ser produzido com as características selecionadas. Com auxílio computacional de impressoras 3D ou fresadoras CNC, os moldes são produzidos.

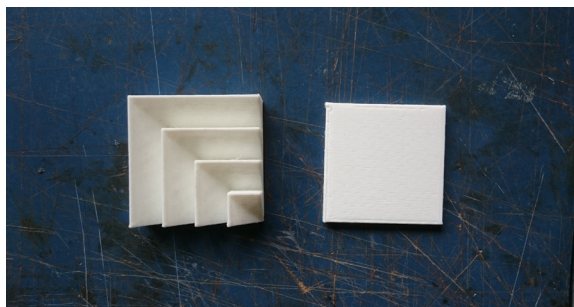
Voltando ao fluxo principal de desenvolvimento, com o material plástico limpo, planificado e o molde gerado, moldam-se as cápsulas que conterão PCM por meio da termomoldagem a vácuo. As cápsulas modulares são armazenadas e, posteriormente, encaixadas em uma base de tela aramada.

O óleo de coco a ser colocado nos módulos é aquecido acima de sua temperatura de fusão para facilitar o preenchimento. Com as cápsulas preenchidas, o painel é selado com uma prancha plana composta por adesivo plástico. Assim, o produto encontra-se pronto para instalação na forma de painéis que podem ser atirantados à laje ou estrutura do telhado, por meio de suportes presos na tela aramada do artefato. Em caso de posterior desuso do painel, ele poderá ser descartado com a separação de seus materiais compo-

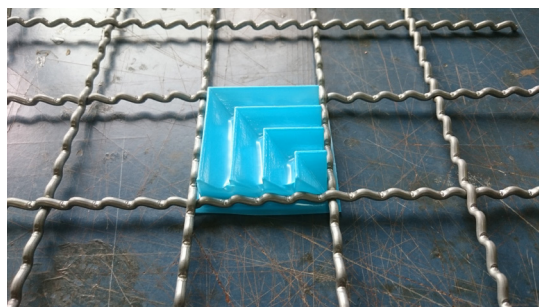
nentes, que serão encaminhados novamente às cooperativas de reciclagem.

Durante o desenvolvimento do artefato foram produzidos protótipos para verificação de resultados preliminares. Um modelo do molde foi desenvolvido em 3DS Max considerando aletas verticais inclinadas para aumentar a superfície de contato do módulo com o ar ambiente e seu desenho foi pensado de maneira a possibilitar uma composição com os demais módulos laterais. As dimensões foram baseadas no maior espaçamento encontrado em telas aramadas comerciais: vãos quadrados com 5 cm de aresta. O dimensionamento é compatível com os materiais de pequenas dimensões (copos e pratos descartáveis) usualmente encontrados em cooperativas de reciclagem.

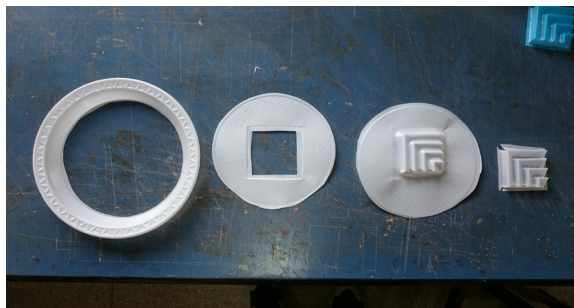
Os módulos são encaixados nos vãos da tela aramada de padrão comercial para a composição do painel a ser preenchido com óleo de coco e, posteriormente, submetido a testes de comportamento ambiental.



**Figura 4:** Molde fabricado em impressora 3D  
**Fonte:** elaborado pelos autores



**Figura 6:** Encaixe do módulo na tela aramada de suporte  
**Fonte:** elaborado pelos autores



**Figura 5:** Processo de planificação por corte e resultado da termomoldagem  
**Fonte:** elaborado pelos autores

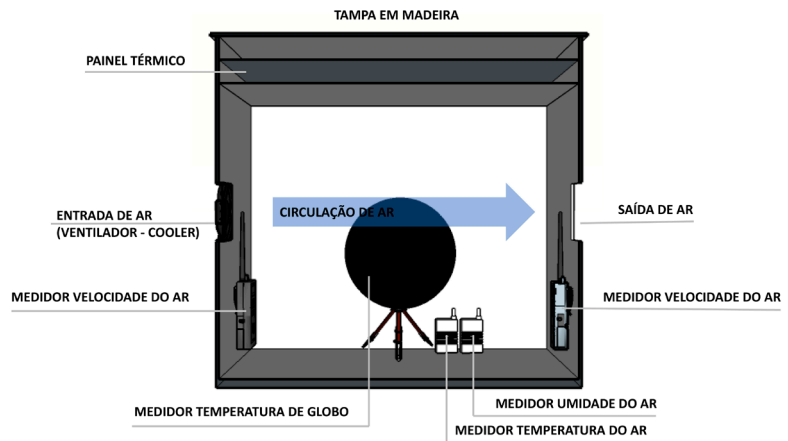


**Figura 7:** Composição dos módulos na tela de suporte  
**Fonte:** elaborado pelos autores

## AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Os modelos produzidos são testados de duas maneiras: por simulação computacional e por testes físicos. As simulações computacionais são realizadas em plugins de avaliação de comportamento térmico, no Grasshopper. Para o teste físico, duas câmaras foram produzidas em MDF, como simulações de ambientes reais. As caixas são produzidas em compensado de madeira com 5 mm de espessura, acabamento na cor branca e dimensões de 0,625x0,560x0,600 m<sup>3</sup>. Os fundos das caixas, que não são expostos ao sol, possuem espessura de 15 mm e foram pintados na cor preta. Também existem aberturas de 120x120 mm<sup>2</sup> nas laterais de menor dimensão com a instalação de ventiladores em um dos lados, e de uma tela no outro para simulação de corrente de ar constante pelo ambiente. O painel de PCM desenvolvido foi fixado na tampa de uma das câmaras com uma distância de 50 mm da mesma, enquanto a outra, sem nenhum dispositivo de controle ambiental que possa interferir em suas condições climáticas, serve de controle.





**Figura 8:** Corte esquemático da câmara de testes físicos com o painel

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Por possuírem pequenas dimensões, os módulos do painel não foram escalados na mesma proporção da maquete. Dessa forma, os resultados encontrados não serão proporcionais às condições reais diretamente, mas deverão passar por correções de cálculo para consideração.

## CONCLUSÕES

Conceituando a sustentabilidade como um sistema abrangente de pensamento, a pesquisa multidisciplinar buscou conhecimento para capacitar os agentes de cooperativas de reciclagem na incorporação de alta tecnologia com aspectos estéticos e de conforto ambiental em materiais descartados que passam desvalorizados cotidianamente em suas mãos.

Dessa maneira, foram levantados os principais materiais descartados e coletados que possam passar por um processo de reintrodução na cadeia produtiva que envolva sistemas CAD/CAM de baixa complexidade para que pessoas com pouco conhecimento técnico consigam executá-lo. A etapa de programação para o desenho paramétrico, como a fase menos acessível no desenvolvimento do artefato, apresenta, como resultado, uma interface simples objetivando apenas a geração de moldes a serem utilizados na termomoldagem a vácuo. Assim, a utilização de materiais comuns descartados, equipamentos CNC menos complexos e elementos construtivos complementares já existentes no mercado podem aproximar o artefato criado das pessoas interessadas.

O desenvolvimento da pesquisa nas etapas descritas pela metodologia de *Design Science Research* pode contribuir para a disseminação de sua utilização na criação de artefatos e por meio da reintrodução de resíduos sólidos na cadeia produtiva, busca-se ampliar as possibilidades de utilização de ferramentas CAD/CAM nos campos do *design*, da arquitetura e da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama>>. Acesso em 25 de out. de 2017.

ANDERY, M. A. et al. **Para compreen-**

**der a ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: EDUC, 2004.

BAETENS, R.; JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A. Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 9, p. 1361-1368, 2010.

- DAFT, R. L.; LEWIN, A. Y. Rigor and relevance in organization studies: idea migration and academic journal evolution. **Organization Science**, v. 19, n. 1, p. 177-183, 2008.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J.A.V. **Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- GOLDRATT, E. M.; COX, R. E. **A meta**. São Paulo: IMAM, 1986.
- GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M. **Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal**. [s.l.] DGGE/IP-3E, 2004.
- HATCHUEL, A. A foundationalist perspective for management research: a European trend and experience. **Management Decision**, v. 47, n. 9, p. 1458-1475, 2009.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de saneamento básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>>. Acesso em 19 de abr. de 2018.
- IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**. Brasília: Ipea, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/tTVr>>. Acesso em 20 de nov. de 2018.
- ISWA - INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Waste and Climate Change - ISWA White Paper**. USA: ISWA, 2009. Disponível em: <[https://www.iswa.org/fileadmin/user\\_upload/\\_temp\\_/WEB\\_ISWA\\_White\\_paper.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/_temp_/WEB_ISWA_White_paper.pdf)>. Acesso em 28 de nov. de 2017.
- JONES, O. **The grammar of ornament: illustrated by examples from various styles of ornament**. New York: Dorling Kindersley Pub, 2001.
- KALNÆS, S. E.; JELLE, B. P. Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. **Energy and Buildings**, v. 94, p. 150-176, 2015.
- KOLAREVIC, B. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. Oxon: Taylor & Francis Group, 2003, 314p.
- LOOS, Adolf. **Ornamento e Crime**. Lisboa: Cotovia, 2006
- LOVERIDGE, R.; STREHLKE, K. The Digital Ornament Using CAAD/CAAM Technologies. **International Journal of Architectural Computing**, v. 4, n. 1, p. 33-49, 2006.
- MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. 1st ed. New York: North Point Press, 2002.
- MONTEIRO, L. M. Arquitetura da adaptação. in: SOARES, J. C.; BODE, K (Orgs.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.
- PICON, A. **Ornament: the politics of architecture and subjectivity**. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, A John Wiley and Sons Ltd, Publication, 2013.
- SALEEL, C. A.; MUJEEBU, M. A.; ALGARNI, S. Coconut oil as phase change material to maintain thermal comfort in passenger vehicles: An experimental analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 136, n. 2, p. 629-636, 2019.
- SAVE DE BEAURECUEIL, A.; LEE, F. Arquitetura generativa high-low: princípios e aplicações. In: GONÇALVES, J.C.S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2015, cap. 12.
- SILVA, N. F.; BRIDGES, A. H.; LIMA, E. M.; MORAIS, H. R. A.; JUNIOR, F. A. S. **A indústria da construção civil está pronta para a fabricação digital e a customização em massa?** Uma pesquisa sobre um caso Brasileiro. Sigradi, Sao Paulo, nov. 2009.
- SIMON, Herbert A. **The Sciences of the Artificial**. 3ª ed., Massachusetts: MIT Press, 1996.
- VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.
- VAN AKEN, J. E. Management research as a design science: articulating the research products of mode 2 knowledge production in management. **British Journal of Management**, v. 16, n. 1, p. 19-36, 2005.
- VOLUME de resíduos urbanos crescerá de 1,3 bilhão de toneladas para 2,2 bilhões até 2025, diz PNUMA. **Nações Unidas do Brasil**, São Paulo, 06 de nov. de 2012. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/volume-de-residuos-urbanos-crescera-de-13-bilhao-de-toneladas-para-22-bilhoes-ate-2025-diz-pnuma>>. Acesso em: 15 de out. de 2017

# OPERACIONALIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO POR MEIO DO ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO EM MODELOS BIM DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

ARTIGO

Operationalization of design parameters through semantic enrichment in BIM models of social housing

Giovanna Tomczinski Novellini Brígite<sup>1</sup>, Regina Coeli Ruschel<sup>2</sup>

**RESUMO:** O uso da Modelagem de Informação da Construção (BIM) tem transformado o setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação. Entretanto, a exploração de alternativas de projeto continua um desafio, desperdiçando o enorme impacto que a tecnologia possui no auxílio à tomada de decisões qualificadas no início da projeção. A investigação na fase de concepção decorre da necessidade de integração à todas as etapas de projeto, permitindo que as informações geométricas ou não, sejam gerenciadas desde o início, fomentando um projeto integralizado. Tendo em consideração que BIM admite estas novas abordagens, examina-se a oportunidade e potencialidade de renovar a aplicabilidade de parâmetros de projeto (Alexander et al., 1977), assistindo a elaboração de algoritmos capazes de legitimar respostas aos problemas projetuais ainda no início do processo, podendo ser evidenciada no âmbito de projetos habitacionais de interesse social (HIS). Neste sentido, este artigo discute o uso combinado de ferramentas de autoria de modelos e de ferramentas baseadas em linguagem de programação visual no auxílio à etapa de concepção através do Enriquecimento Semântico em BIM. Esta metodologia provou ser viável no auxílio à tomada de decisão no processo de projeto de HIS. Os métodos aplicados no desenvolvimento desta metodologia podem ser reproduzidos com o propósito de qualificar outras tipologias de edifício.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem de Informação da Construção (BIM); Patterns; Linguagem de Programação Visual (VPL); Concepção Arquitetônica; HIS

**ABSTRACT:** ABSTRACT The use of Building Information Modeling (BIM) has transformed the Architecture, Engineering, Construction and Operation industry. However, the exploration of design alternatives continues as one of its biggest challenges, wasting the enormous impact that technology has on the subsidy decisions still taken at the design stage. The investigation of research in the design stage comes from the need to think it integrated to all the phases of the project, thus enabling the management of the information, geometric or not, from the beginning of the process, promoting an integrated project. Considering that BIM is able to support these new approaches, we examine opportunity and potential of renewing the applicability of renewing the application of patterns (Alexander et al., 1977), supporting the construction of algorithms capable of authenticating new solutions in the design of projects that can be validated in the context of the project of social housing (HIS). In this sense, this article discusses the combined use of model authoring tools and visual programming language based tools to aid in the design stage through Semantic Enrichment of BIM. This methodology proved to be applicable and of great potential to support the HIS design process. The methods used for the elaboration of this methodology can be replicated in order to qualify other types of building.

**KEY WORDS:** Semantic Enrichment of BIM (SEBIM); Patterns; Visual Programming Language (VPL); Architectural Design; Social Housing

<sup>1</sup> Centro Universitário Facens

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas

## How to cite this article:

BRÍGITE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. Operacionalização de parâmetros de projeto por meio do enriquecimento semântico em modelos BIM de habitação de interesse social. *Gestão e Tecnologia de Projetos* São Carlos, v15, n2, p.20-32, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.159857>

## Fonte de Financiamento:

Não declarada

**Agência de Fomento:** Não declarado

**Conflito de Interesse:** Não declarado

**Submetido em:** 10/07/2019

**Aceito em:** 05/05/2020





## INTRODUÇÃO

Embora muitas ferramentas tenham suas potencialidades reconhecidas e evidenciadas por diversos autores nacionais e internacionais, tanto em CAAD como em BIM (EASTMAN *et al.* 2014; JANSSEN, P. *et al.* 2017), ainda é escassa a aplicação de meios digitais como suporte à etapa criativa em escritórios nacionais, sendo identificadas somente algumas iniciativas despontando timidamente.

Além disso, verifica-se que a maior parte das pesquisas e publicações nacionais relacionadas a BIM invocam estágios posteriores à concepção, concentrando-se em áreas de gestão, execução e operação, negligenciando o gerenciamento das informações na totalidade do processo de projeto (BOSCH, *et al.*, 2015; KASSEM, *et al.*, 2015; KOUTAMANIS, 2017).

Este cenário contrapõe-se à relevância que a etapa de concepção do projeto arquitetônico apresenta, visto que é neste estágio em que se imputa aos projetistas a ciência das consequências de todas as decisões projetuais, dado que o encadeamento das definições inerentes à esta etapa tem uma forte interferência na qualidade espacial da edificação.

Esta prática desconsidera e desvaloriza o gerenciamento de informações fundamentais à concepção do projeto, conferindo destaque à subjetividade das propostas, isto é, parte das informações identificadas no estágio de análise, e que precedem e determinam a síntese, perdem-se no decorrer do processo, ao passo que as soluções desta etapa podem ser expressas através de referências e tipos (KOUTAMANIS, 2017).

Koutamanis (2017) revela que o maior impacto está no conjunto de informações ausentes de geometria. Sacks *et al.* (2019) enfatizam que grande parte da semântica está contida em dados internos dos sistemas BIM, e que desse modo, sistemas genéricos de revisão de modelos não conseguem acessar, visto que exigem explicitamente definições de parâmetros, conexões, agregações e outras estruturas topológicas. Nesta circunstância, foi proposto um processo denominado Enriquecimento Semântico (ESBIM) capaz de adicionar aos modelos BIM dados inexistentes à uma aplicação ou requisito específicos (BELSKY *et al.*, 2016).

O ESBIM favorece a avaliação da capacidade de soluções projetuais em alcançar seus propósitos práticos e sociais durante a fase de Avaliação Pré-Construção (APC), termo sugerido por Rappl e Medrano (2017). Os autores ilustram a APC como sendo uma avaliação de um projeto com vista às premissas estabelecidas no programa de necessidades, através da qual é possível verificar se o projeto atende aos requisitos dos clientes, orientações para a qualidade, custos, normas e outras exigências; e também o relatório ambiental, no qual se examina a probabilidade de impacto do projeto sobre o ambiente (VOORDT; WEGEN, 2013).

Assim sendo, BIM pode ter um impacto fundamental no início do projeto provendo suporte à implementação de soluções fundamentadas em dados indispensáveis, sejam eles geométricos ou não, permitindo além do armazenamento e gerenciamento de conhecimentos da edificação, reunir e organizar todas as informações relevantes contribuindo com a variação e o desenvolvimento de novas soluções de projeto, mesmo na ausência de geometria (EASTMAN *et al.*, 2014; KOUTAMANIS, 2017).

A sistematização de problemas do projeto arquitetônico apresentada por Alexander *et al.* (1977), direcionou a estruturação de algoritmos no intuito de investigar ou legitimar as propostas para HIS através de soluções BIM. Neste contexto, revisitar Alexander corrobora com as vertentes apresentadas por Daves e Ostwald (2017) para o futuro da linguagem de parâmetros de projeto:

*“The identification and organisation of these criticisms suggests three possible directions for the future of pattern languages. The first is to consider A*

*Pattern Language as a historical artefact worthy of further exploration. The second investigates the concept of pattern languages including whether or not they can be rigorously tested and whether they are practical design methodologies, the third is to develop new pattern languages without the restrictions of Alexander's ontological and epistemological positions.” (DAVES; OSTWALD, 2017).*

Desta forma, objetiva-se investigar de que modo BIM pode ser inserido no estágio inicial do projeto para incorporar princípios qualitativos na avaliação pré-construção de diversas propostas projetuais, proporcionando um apoio real à tomada de decisão. Aplica-se esta proposição no contexto de soluções projetuais para conjuntos HIS, motivando a incorporação do conhecimento referente à relação ser humano–ambiente ao BIM. Destacam-se neste artigo: (i) a triagem de parâmetros de projeto, provenientes de Alexander *et al.* (1977), apropriados para a elaboração de algoritmos; e (ii) a algoritmização de parâmetros de projeto através de Programação Visual em BIM.

## **PARÂMETROS DE PROJETO EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Alexander (1979) propicia a teoria e orientações para prática da linguagem, introduzindo o trabalho de Alexander *et al.* (1977) como uma das possíveis linguagens de parâmetros pretendida. Ainda assim, seria imprescindível interpretá-la conforme o contexto social, temporal e regional do projeto em questão. Como ressalta Alexander *et al.* (1977) é essencial que o projetista inicie o processo de projeto embasado pelas especificidades do contexto. Os autores argumentam ainda sobre a potencialidade de relações entre os parâmetros projetuais em seus diferentes níveis de conexão.

Tendo em vista a advertência de Salingrados (2000) de não considerar Alexander *et al.* (1977) meramente com um catálogo de parâmetros, e por não ser o objetivo desta pesquisa criar ou identificar novos parâmetros, remete-se à tese de doutorado de Barros (2008) para a triagem de parâmetros de projeto provenientes da reflexão e prática do processo projetual baseado em Alexander e seus colaboradores.

Na estruturação metodológica de sua pesquisa, Barros identifica os parâmetros projetuais associados à duas escalas: implantação e habitação, provenientes da investigação de soluções projetuais premiadas da habitação coletiva paulista entre 1980 a 2005, documentadas em periódicos nacionais.

O trabalho de Barros contribui na reflexão do exercício projetual enaltecendo o vínculo entre conceitos humanizadores e a qualidade espacial do projeto de habitação coletiva.

Os 74 parâmetros de projeto selecionados pela pesquisadora, a partir dos 253 descritos em Alexander *et al.* (1977), estabelecem um método projetual composto por quatro grupos: (1) originais identificados nos projetos, (2) Novos identificados nos projetos, (3) originais incorporados aos novos parâmetros, (4) originais acrescentados à estratégia. A coleção resultante estrutura-se e apresenta-se em duas escalas: Senso de Habitabilidade (45) e Senso de Urbanidade (37).

## **PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO PARA AVALIAÇÃO DE MODELOS BIM**

A metodologia aplicada no presente trabalho consiste na aplicação de três métodos (Fig.1) dentro do contexto de *Design Science Research* (HEVNER; *et al* 2004; VAISHNAVI; KUECHLER, 2005) visando o desenvolvimento desejado. O primeiro é um método de triagem dos parâmetros de projeto apropriados para a elaboração de algoritmos em BIM. O segundo método estabelece a algoritmização dos parâmetros de projeto. Por fim, apresenta-se um método de associação do algoritmo ao Modelo de Informação.

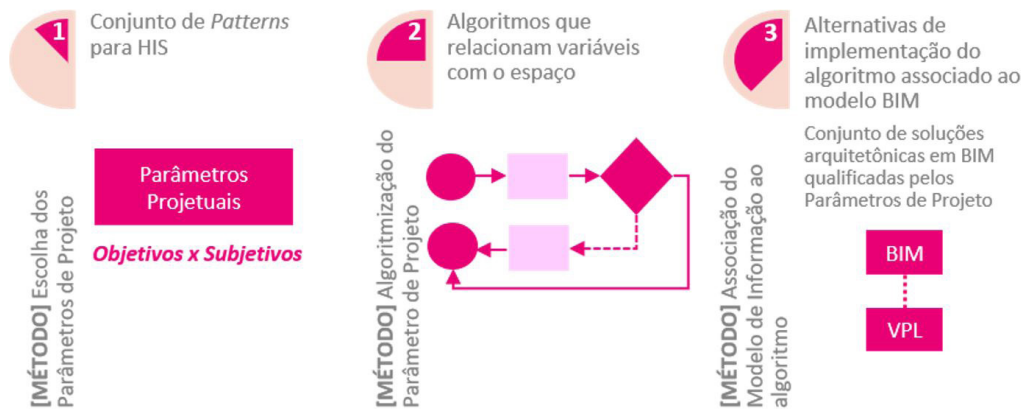


Figura 1: Metodologia

Fonte: Autores

Contribuíram na elaboração dos métodos expostos neste trabalho os modelos teóricos sugeridos por Godoi (2018), Solihin e Eastman (2015), Chen *et al.* (2011) e Seghier *et al.* (2017). O primeiro apoia a definição das variáveis que compõem cada algoritmo; o segundo apoia a identificação das categorias de algoritmização, o terceiro compreende a conexão dos objetos à BIM; por fim, o modelo proposto por Seghier *et al.* (2017), orienta a extração automática e gestão dos dados do modelo BIM.

Ao examinar o trabalho de Alberti, *De re aedificatoria* (1485), Godoi (2018) propõe uma estratégia para a definição de variáveis que compõem cada algoritmo mediante uma leitura analítica ordenada da seguinte maneira: (1) Identificação dos parágrafos/ frases que contêm os parâmetros; (2) Explicação gráfica da ligação entre os parâmetros; (3) Descrição das sentenças matemáticas, identificando os tipos de parâmetros envolvidos e suas conexões.

Assim sendo, este modelo é caracterizado pela transposição de parâmetros de projeto em algoritmos. No entanto, fez-se necessário neste trabalho o acréscimo de três etapas: duas preliminares, (1) para a Classificação dos parâmetros de projeto quanto ao nível de detalhamento e (2) Identificação das categorias de automatização, através do modelo apresentado por Solihin e Eastman (2015), e uma posterior, (3) de associação do algoritmo ao BIM, modelo proposto por Chen *et al.* (2011).

Solihin e Eastman (2015) categorizam as regras de verificação em quatro classes: (i) regras baseadas em dados explícitos, (ii) regras baseadas em valores derivados, (iii) regras que necessitam de dados estruturados e (iv) regras que requerem a prova de uma solução específica. São automatizáveis as três primeiras classes de regras. Aplica-se esta lógica aos parâmetros de projeto para avaliar o potencial de algoritmização.

Chen *et al.* (2011) abrangem em seu modelo a atribuição de diferentes tipos de informação aos objetos BIM, dados necessários à gestão, construção e planejamento. Os autores investigam diferentes processos discretos de classificação da informação executados no contexto da construção, como por exemplo a caracterização de elementos, materiais, dimensões, tipos de serviço, escalas diferentes de gerenciamento. As classificações regulam a estrutura dos atributos de um objeto BIM: dados geométricos, contenção hierárquica, e conteúdo de construção (CHEN *et al.*, 2011), aplicados no intuito de expor as propriedades fundamentais na elaboração de componentes. Para este trabalho, adapta-se o modelo sugerido pelos autores quanto aos atributos da seguinte forma: (A) classificação do objeto, (B) dados geométricos do objeto e (C) informação da construção.

A proposta de Seghier *et al.* (2017), para extrair automaticamente as informações do modelo BIM, foi elaborada para apoiar o projetista durante a etapa inicial do projeto de construções sustentáveis. Por intermédio destes

estudos os autores buscam remediar a carência de ferramentas e fluxos de trabalho que garantam um retorno em tempo real na etapa de concepção. A proposta apresentada pelos autores vem ao encontro dos interesses expostos neste trabalho, porém, distinguem-se quanto ao objeto de avaliação, no primeiro voltado à sustentabilidade das edificações e, neste, a ênfase está na relação humano-ambiente.

O fluxo de trabalho proposto por Seghier *et al.* (2017), para a avaliação do projeto, fundamenta-se na cooperação entre ferramentas BIM e de Linguagem de Programação Visual (VPL). De modo que as informações são extraídas do modelo 3D BIM e gerenciados através das ferramentas Revit, Excel e Dynamo, como pretende-se neste trabalho.

## IMPLEMENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE MODELOS BIM

A investigação sobre os 74 parâmetros de projeto, organizados e apresentados por Raquel Barros (2008), permitiu classificá-los não apenas de acordo com nível de detalhamento do modelo (LoD), dentro as escalas de aplicação: Senso de Urbanidade e Senso de Habitabilidade, como também quanto às categorias de automatização, se explícita (objetivo) ou implícita (subjetivo) e geométrica ou informacional. Com base nessa classificação 35 parâmetros de projeto foram parametrizados, no LoD 200 (BRÍGITTE; RUSCHEL, 2018).

O Quadro 1 apresenta os 35 parâmetros de projeto, classificados quanto ao Senso de Urbanidade ou Habitabilidade dispostos em ordem alfabética (em sua tradução) e seguidos da numeração adotada na publicação original.

**Quadro 1:** Parâmetros de projeto parametrizáveis dentro da escala de aplicação

**Fonte:** Brígite (2019)

SENSO DE URBANIDADE (16)	SENSO DE HABITABILIDADE (23)
Ambientes semiabertos ao longo dos limites (166)	Aberturas naturais (221)
Arcadas (119)	Ambiência para refeições (182)
Caminhos e lugares	Ambiente junto à janela (180)
Edifícios conectados (108)	Balcão iluminado (199)
Entrelaçamento de edificação e lugar (168)	Circulação com contraste (135)
Escadas abertas (158)	Escada com passagem visível (133)
Estacionamento Camuflado (97)	Gradiente de intimidade (127)
Estacionamentos pequenos (103)	Janelas salientes para a rua (164)
Unidades ao redor do pátio (N1)*	Lareira (181)
Unidades em fita* (38)	Layout da cobertura (209)
Orientação solar para o espaço externo* (105)	Unidades ao redor do pátio (N1)*
Praças pequenas (61)	Mais de uma orientação para unidades agregadas (N2)
Recuo frontal nulo (122)	Estratégias para privacidade (N3)
Ruas permeáveis (51)	Nicho para dormir (188)
Unidades em fita (38)	Nichos infantis (203)
Vistas* (192)	Orientação solar para o espaço externo* (105)
	Parede semiaberta (193)
	Posição e luz (128)
	Unidades em fita* (38)
	Varanda utilizável (167)
	Variação de pé-direito (190)
	Vistas* (192)
	Zonas de piso (233)

A proposta de algoritmização parte da identificação do parâmetro de projeto por meio de seu nome e, a seguir, da frase com a solução proposta. Nesta, evidenciam-se as frases/parágrafos com as variáveis identificadas. A seguir descreve-se a sentença matemática decorrente do algoritmo apresentado através das linguagens matemáticas apresentadas por Bianconi (2002): (1) proposicional, inserindo-se as conjunções “e” ( $\wedge$ ), “ou” ( $\vee$ ) e a relação de implicação: que pode ser descrita por  $\Rightarrow$  ou ainda, se A, então B; e a (2) quantificação, fazendo uso dos operadores da matemática básica (+, =, n, etc.).

Para cada um dos 35 parâmetros de projeto apontados obtêm-se, a partir do fluxo estabelecido para o algoritmo, a identificação das variáveis como atributos sob três pontos de vista: (A) classificação do objeto, (B) dados geométricos do objeto e (C) informação da construção por meio do sistema proposto pela ABNT NBR 15965-Sistema de classificação da informação da construção. Esta classificação permite apontar eventuais laços de dependência mútua entre os parâmetros de projeto, em outras palavras, uma eventual variação de uma variável/atributo específicos, tendo por base um determinado parâmetro de projeto, afeta de alguma maneira a aplicação de outro (BRÍGITTE; RUSCHEL, 2018).

Com a identificação dos 35 parâmetros de projeto com automatização possível, previamente descritos, notou-se que a escala de aplicação proposta por Barros (2008) apresentava quatro conjuntos distintos (Quadro 3), associados às características de composição do modelo BIM.

TIPOS DE AGRUPAMENTO	DESCRIÇÃO
1. Independente: Urbanidade	Contemplam questões ao exterior da edificação.
2. Posição da Unidade de Construção	Contemplam questões vinculadas apenas à posição da edificação.
3. Organização da Unidade Habitacional	Contemplam questões da estrutura, organização e layout da edificação.
4. Independente: Habitat	Contemplam questões pontuais de ambientes internos da edificação.

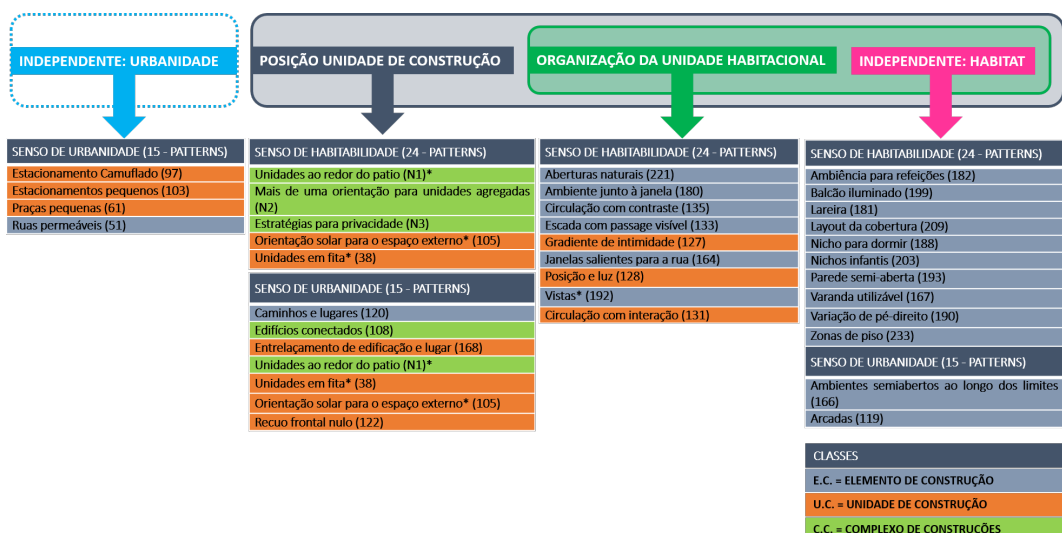
**Quadro 3:** Tipos de Agrupamento

Fonte: Brigitte (2019)

Torna-se possível, com base nesse novo conjunto, compor uma relação hierárquica, além de identificar as classes de objetos: elemento de construção (EC), unidade de construção (UC) ou complexo de construções (CC) de cada parâmetro de projeto (Fig. 2).

**Figura 2:** Escala de Agrupamento dos parâmetros de projeto e identificação das classes de objeto

Fonte: Brigitte (2019)



Durante a etapa de investigação da influência de alternativas de modelagem BIM, na avaliação dos indicadores de projeto, foi selecionado um parâmetro de projeto constante em cada grupo:

GRUPO 1: Ruas permeáveis (51-green streets)

GRUPO 2: Orientação solar para espaço externo (105-south facing outdoors)

GRUPO 3: Gradiente de intimidade (127-intimacy gradient)

GRUPO 4: Zonas de pisos (233-floor surface)

A seguir, encontra-se detalhada a aplicação da metodologia proposta aplicada ao parâmetro de projeto Ruas permeáveis (51-green streets).

**Método 1. Triagem dos parâmetros de projeto apropriados para a algoritmização**

Dentre os 74 parâmetros listados por Barros (2008) foi realizada a análise apresentada na Figura 3, considera-se passível de parametrização a categoria de recomendação explícita que envolva dados informacionais ou geométricos.

PARÂMETRO	SE	ENTÃO	ESCALA DE APLICAÇÃO	NÍVEL DE DETALHAMENTO	RECOMENDAÇÃO EXPLÍCITA	RECOMENDAÇÃO IMPLÍCITA	ESPECIFICAÇÃO MÉTRICA/FORMA/ORIENTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PARAMETRIZÁVEL
			SENSE URBANIDADE	LOD	OBJETIVO	SUBJETIVO	GEOMÉTRICO	INFORMACIONAL	
RUAS PERMEÁVEIS	Ruas locais podem ajudar a combater a destruição do microclima resultante da impermeabilidade e do efeito térmico de pavimentos em concreto ou asfalto, bem como combater o excesso de velocidade dos carros.	Ruas locais podem ser gramadas e/ou revestidas com elementos que não impermeabilizem totalmente o solo.	1	200	1	0	0	1	1

Figura 3: Parâmetro de projeto: Ruas Permeáveis

Legenda: 0 = não, 1 = sim.

Fonte: Autores

**Método 2. Algoritmização de parâmetros de projeto**

Expõem-se a seguir uma sugestão de algoritmização do parâmetro de projeto Ruas permeáveis (51-green streets):

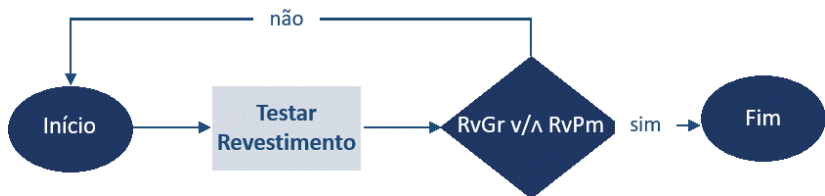
O parâmetro de projeto Ruas Permeáveis de senso de urbanidade admite que “Ruas locais sejam gramadas e/ou revestidas com uso de elementos que não impermeabilizem completamente o solo.” (grifo nosso). A expressão matemática equivalente é a Equação (1) representada no algoritmo da Figura 4.

$$Vlc \Rightarrow RvGr \vee / \wedge RvPm \tag{1}$$

Onde: Vlc= Vias locais; RvGr = Revestimento em grama; RvPm = Revestimento permeável.

Figura 4: Algoritmo (ruas permeáveis)

Fonte: Brígite (2019)





### Método 3. Associação do algoritmo ao modelo de informação

A Figura 5 exemplifica a agregação dos algoritmos ao modelo BIM que permitiram a análise das alternativas de implementação.

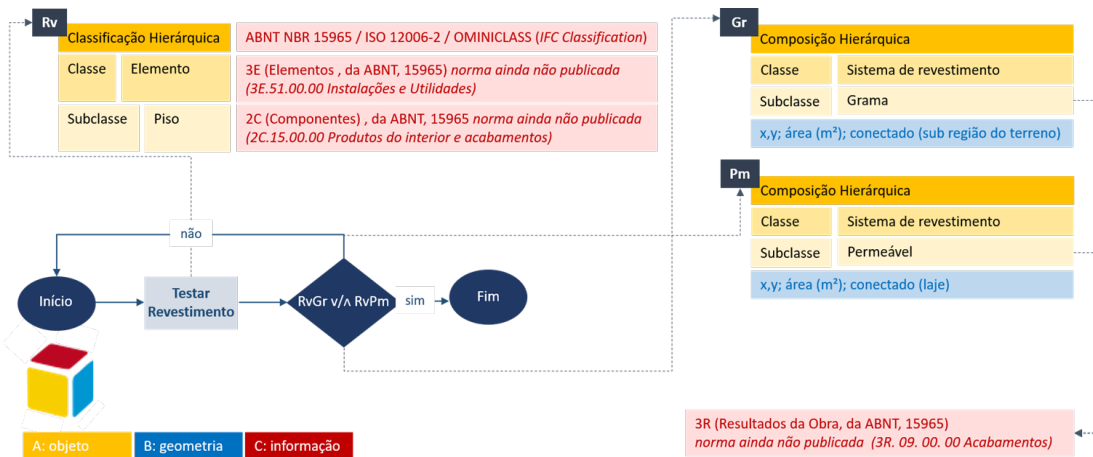


Figura 5: Associação ao modelo BIM (ruas permeáveis)

Fonte: Brigitte (2019)

Por meio desta associação verifica-se que os dados a serem analisados estão diretamente conectados às características dos materiais aplicados. Dessa maneira, a Figura 6 sugere duas práticas distintas para a análise do material atribuído e sua característica de permeabilidade. O Modelo A representa a análise da característica permeabilidade, considerando o material de revestimento, no componente BIM tipificado como piso, permitindo análises diretas da especificação vinculada ao objeto. Chegando ao Modelo B, foi determinada a característica de permeabilidade distribuída em 5 gradientes, durante o processo de modelagem da sub-região, por não ser possível a leitura direta da permeabilidade do material aplicado.

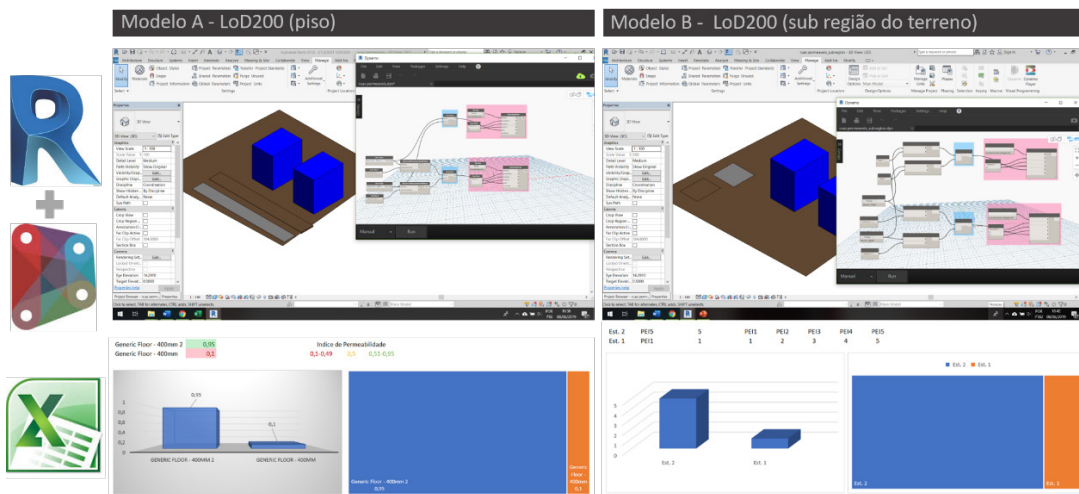


Figura 6: Ruas Permeáveis: rotina de gerenciamento da informação

Fonte: Brigitte (2019)

Verifica-se que o modelo BIM, indispensável para esta avaliação, pode expressar um dos dados de entrada como segue: Modelo A, a criação de componentes tipificados: pisos; Modelo B, a delimitação das sub-regiões no terreno e posterior definição dos respectivos parâmetros vinculados à permeabilidade específica daquela área.

Embora as duas aplicações apresentem respostas apropriadas à análise, elucubra-se como indicador mais adequado os dados originados a partir do Modelo A, por levar em consideração verdadeiramente a propriedade de permeabilidade dos materiais, ainda que este demande um modelo mais detalhado. A restrição detectada no Modelo B advém da obrigatoriedade de fornecer as informações necessárias durante o processo de modelagem, enquanto no Modelo A esse atributo é proveniente das características do material.

Os recursos nativos do Dynamo foram empregados na distinção entre as categorias do modelo BIM, piso (modelo A) e sub-região (modelo B), a partir das quais, as informações para a avaliação foram extraídas.

O Quadro 4 apresenta o resumo das análises alternativas de implementação em BIM de um parâmetro de projeto por grupo, indicando em negrito a alternativa considerada mais apropriada. A Figura 7 ilustra sua aplicação no processo de projeto, permitindo o retorno da qualificação pelos parâmetros de projeto através de um painel visual. A centralização dos indicadores e suas métricas constituem um recurso para auxiliar o projetista na tomada de decisões.

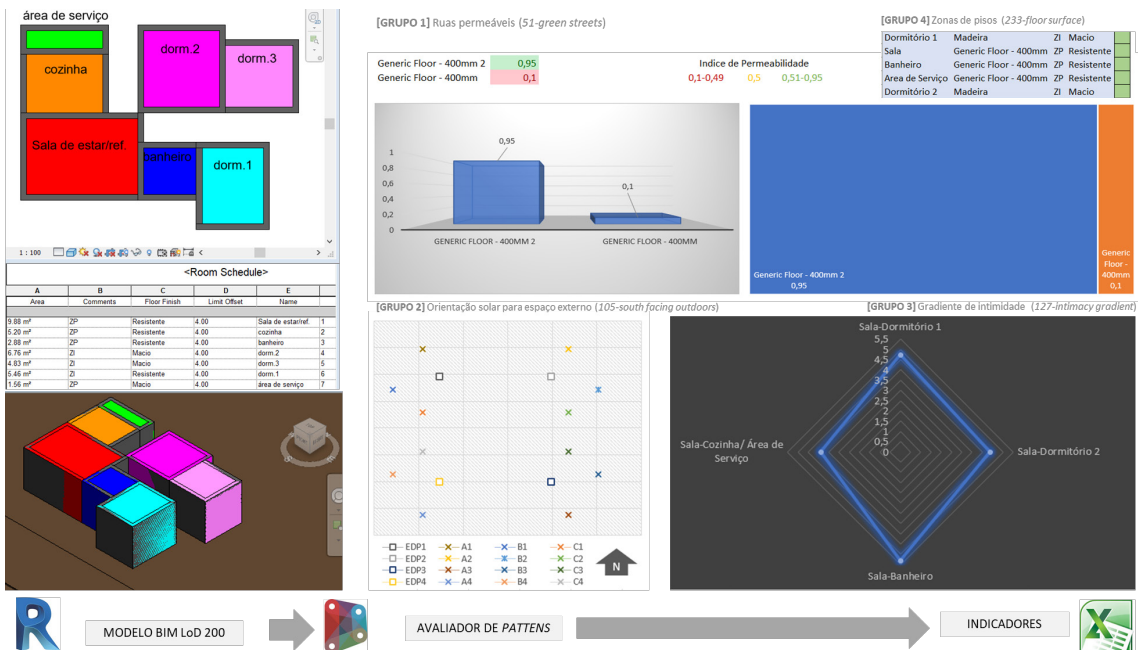
**Quadro 4:** Resumo das implementações

Fonte: Autores

TIPOS DE AGRUPAMENTO	Parâmetro	Implementação	
		Modelo A	Modelo B
1.Independente: Urbanidade	Ruas permeáveis (51-green streets)	Leitura direta do material componente BIM tipificado piso	Atribuída a característica durante a modelagem sub-região
2. Posição da Unidade de Construção	Orientação solar para espaço externo (105-south facing outdoors)	Posição do centro da room (sala) em relação ao centro de gravidade (c.g.) do elemento de massa (espaço externo)	a distância entre dois centros de gravidade, room, o do espaço externo e o da edificação
3. Organização da Unidade Habitacional	Gradiente de intimidade (127intimacy gradient)	Distância entre c.g. room	Distância entre componente BIM tipificado portas
4. Independente: Habitat	Zonas de pisos (233.floor surface)	parâmetros associados à criação de rooms	vinculados ao objeto BIM tipificado, piso

**Figura 7:** Implementação no processo de projeto: planta e vista isométrica do projeto (a esquerda) e painel visual resumindo os qualificadores (a direita).

Fonte: Autores





O painel visual apresenta graficamente a leitura dos qualificadores obtidos para este projeto. O Grupo 1 apresenta, através do gráfico “mapa de árvore”, a relação entre a permeabilidade dos pisos aplicados, enquanto o indicador do Grupo 2 apresenta as variações da orientação do espaço externo com relação à orientação solar. Através do gráfico radar, indicador do Grupo 3, analisa-se os vetores entre os centros de gravidade (c.g.) dos compartimentos, tendo como ponto inicial o c.g. da Sala de estar/refeições (Sala de estar/ref.), ou seja, quanto maior o distanciamento da área central do gráfico mais íntimo é o compartimento. Por fim, a análise do Grupo 4, é indicada através da última coluna da planilha, as cores verdes indicam que a especificação dos pisos está de acordo com o uso destinado ao ambiente. Quanto está premissa não é atendida, as células indicam a cor vermelha.

## **DISCUSSÃO: APLICABILIDADE DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO**

O processo de operacionalização da aplicação de parâmetros de projeto em modelos BIM, proposto neste trabalho, apoia-se fundamentalmente na implementação de três métodos embasados em modelos teóricos identificados na literatura: Godoi (2018); Solihin e Eastman (2015); Chen *et al.* (2011) e por Seghier *et al.* (2017).

A partir da literatura específica de parâmetros de projeto em projetos de habitação, onde Barros (2008) apresenta 75 parâmetros, foram identificados os 35 parâmetros de projeto aplicáveis à algoritmização, dentre os 41 que se inserem no LoD 200. Quatro tiveram a operacionalização em BIM avaliada e aplicada a um projeto.

Revisitar e trazer a pauta questões levantadas por correntes de pensamentos como o *Design Methods* (1960) e o *Design Thinking* (1969) faz-se proeminente de frente à contínua associação da homogeneização dos projetos de HIS descontextualizados socialmente, regionalmente e até mesmo das reais necessidades dos usuários, mostrando-se cada vez mais distantes de garantir a mínima qualidade aos projetos.

Sob outra perspectiva, resgatar estratégias projetuais, ou até mesmo as soluções propostas por Alexander, possibilita reforçar estudos e reflexões atuais de projeto propostas por pesquisadores da qualidade ambiental, como Barros e Kowaltowski (2013); Oliveira e Sousa e Moreira (2013) e Voordt e Wegen (2013), quanto à relação ambiente-comportamento humano, principalmente pertinentes à qualidade e diversidade socioambiental, além do mais, corroborar nas vertentes propostas por Daves e Ostwald (2017) para o futuro de *A Pattern Language*.

Ao longo desta formulação, deparou-se com um agravante desfavorável: a flexibilidade de alternativas para a programação dos algoritmos. O impacto entre as alternativas de programação em BIM não está no cálculo do qualificador, mas modelagem de componentes ou propriedades requeridas, podendo dificultar ou facilitar o processo. Contudo, o auxílio proporcionado pelo processo de algoritmização de aspectos fundamentados na relação ser humano-ambiente para validar propostas projetuais, buscando ligar, de forma sistemática, o comportamento humano a elementos arquitetônicos, pode ser extremamente benéfico no auxílio ao processo de projeto, expressando-se como uma área relevante a ser explorada.

Fundamenta-se na proposição de que uma solução de projeto estabelece a integração entre parâmetros, por consequência, torna-se indispensável considerar os aspectos qualitativos além dos quantitativos. Nesta perspectiva, o reconhecimento dos parâmetros e algoritmos associados à relação ser humano-ambiente nos permitirá elaborar sínteses e avaliações mais dinâmicas, capazes de retroalimentar o processo de projeto, orientando-o às decisões mais qualificadas para a solução de problemas sem que, no entanto, negligencie-se essas condições.

A aplicação de parâmetros de projeto em ambiente computacional, ou parâmetros qualitativos, vinculados ao modelo de informação possibilitam a gestão das informações, independente da geometria, favorecendo a integralização a partir da concepção do processo de projeto, promovendo a aplicação da tecnologia no subsídio de decisões qualificadas tomadas nos estágios iniciais.

O ESBIM é indispensável para avaliações projetuais em relação às especificações do programa de necessidades; do próprio programa de necessidades, das diretrizes de qualidade, com o orçamento, normas e outras exigências; ou ainda, através de relatório ambiental (VOORDT; WEGEN, 2013).

O método de algoritmização apresentado abre caminho para a elaboração de algoritmos voltados não apenas à HIS, como também a outras tipologias de edifício, a partir de dados que podem ser comparados e verificados entre as publicações como as de Alexander, *et al* (1977), Barros (2008), Oliveira e Sousa & Moreira (2013). Além disso, permite que processos participativos possam servir de estruturas iniciais ao desenvolvimento de novos algoritmos, auxiliando na elaboração de edificações ou transformações na cidade alicerçadas no urbanismo *bottom-up*.

O desenvolvimento e prática das rotinas demonstrou, apesar das limitações e restrição do universo do projeto de HIS, a possibilidade de aplicação em projetos da gestão destas informações para APC, objetivando auxiliar o projetista a escolher o melhor resultado através da sobreposição dos indicadores de parâmetros de projeto aplicáveis à algoritmização.

Ademais, este estudo permitiu verificar, no mínimo, duas formas de implementar a mesma avaliação. Na qual o nível de detalhamento do modelo é menor, apresenta também menor potencial de precisão, inferindo-se, assim, que o nível de detalhamento tem influência no indicador, quando calculado em BIM.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como propósito apresentar os aspectos para implementação de parâmetros de projeto em ambiente computacional, como subsídio de decisões qualificadas tomadas ainda na fase de concepção, através de modelos BIM.

A metodologia proposta volta-se para o estágio inicial de projeto, pensando na integralidade do processo, tornando possível gerir informações relevantes, geométricas ou não, desde a concepção, motivando uma real integração.

A despeito da complexidade da implementação simultânea dos métodos criados, esta pode contribuir positivamente no desenvolvimento de novos projetos, possibilitando a inserção de dados qualitativos aos modelos de informação, o rápido retorno, e o auxílio à tomada de decisão. Reforçando a ideia de que informações do programa de necessidade podem ser integradas em um único banco de dados, neste caso, o modelo, com amplas possibilidades de otimização e retroalimentação (KOUTAMANIS, 2017).

Esta metodologia mostrou-se aplicável e de grande potencial de suporte ao processo de projeto de HIS. Os métodos utilizados para desenvolver esta metodologia podem ser replicados em outras tipologias de edifício, a fim de melhorar a qualidade final do projeto. Como este não foi o objetivo deste trabalho, propõem-se que outras pesquisas possam atuar nesta direção.

A implementação dos parâmetros de projeto, neste trabalho, foi realizada através da combinação entre ferramentas de autoria BIM, programação visual e o editor de planilhas Excel, entretanto, sugere-se que também possa ser feito através da associação de propriedades às quais estejam associadas diretamente ao algoritmo, ou seja, como valores resultantes do cálculo e não através da leitura de valores atribuídos.

Como seguimento para o desenvolvimento deste trabalho vislumbra-se uma solução capaz de apoiar a decisão projetual frente às inúmeras derivações de sistemas generativos através de algoritmos classificadores, aproximando BIM à aplicação de IA. Apesar do universo restrito deste trabalho, esta formulação permitirá, em breve, gerar e analisar um conjunto cada vez maior de alternativas projetuais, capazes de explorar diferentes funções de valor, ainda em estágios iniciais do projeto arquitetônico.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A Pattern Language**. New York: Oxford Univ., 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2012). **NBR 15965**: Um sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro: ABNT.
- BARROS, R. R. M. P. **Habitação coletiva: a inclusão de conceitos humanizadores no processo de projeto**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2008. p.189 Tese (Doutorado). ) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.
- BARROS, R.; KOWALTOWSKI, D. Do projeto urbano ao detalhe construtivo “A Pattern Language” finalmente traduzida. **Resenhas online**, v. 12, p. 137, 2013.
- BELSKY, M.; SACKS, R.; BRILAKIS, I. A Semantic Enrichment Engine for Building Information Modelling. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, p. 261-274.
- BIANCONI, R. A linguagem matemática. Classnotes, **IME-USP**, 2002. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~bianconi/recursos/lo.pdf>. Acesso em: 18 de mai.de2018.
- BOSCH, A.; VOLKER, L.; KOUTAMANIS, A. BIM in the operations stage: bottlenecks and implications for owners. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 331-343, 2015.
- BRÍGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. “Identification of applicable patterns to algorithmization in BIM to explore solutions in the design stage of Social Housing”, p. 68-73 . In: . São Paulo: Blucher, 2018.
- ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/sigra-di2018-1466
- BRÍGITTE, G. T. N. **Parâmetros de projeto, BIM e aprendizado de máquina no suporte à decisão projetual**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2019. p.161 Tese (Doutorado). – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2019.
- CHEN, Y. J., FENG, C. W., WANG, Y. R., WU, H. M. Using bim model and genetic algorithms to optimize the crew assignment for construction project planning, **International Journal of Technology**, 2, 3, 179-188. 2011.
- DAWES, Michael J.; OSTWALD, Michael J. Christopher Alexander’s A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response. **City, Territory and Architecture**, v. 4, n. 1, p. 17, 2017.
- EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- GODOI, G. **Procedimentos algorítmicos**: o método albertiano. In: CELANI, M. G. C.; SEDREZ. (Organizadores). **Arquitetura Contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. p. 29 a 40.
- 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.
- JANSSEN, P. et al. Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio. Proceedings of the 22nd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (**CAADRIA**) p.633-643, 2017. Disponível em: < [http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017\\_055.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_055.pdf) >. Acesso em: 03 01. 2019.
- KASSEM, Mohamad et al. BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 261-277, 2015.
- KOUTAMANIS, Alexander. Briefing and Building Information Modelling:

Potential for integration. **International Journal of Architectural Computing**, v. 15, n. 2, p. 119-133, 2017.

OLIVEIRA E SOUSA, M. N. P.; MOREIRA, D. C. Aplicação da linguagem de padrões à avaliação de projetos de biblioteca pública. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 7-25, jul./dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80946>

RAPPL, K.; MEDRANO, L. S. Modelos de avaliação pré-construção em empreendimentos habitacionais de interesse social: uma revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 286-300, dez. 2017. ISSN 1980-6809. doi: <https://doi.org/10.20396/parc.v8i4.8650238>.

SACKS, R. et al. Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM: State of the Art and Research Framework. In: **Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019. p. 353-360.

SALINGAROS, N. Scientific basis for creating architectural forms. **Journal of Architectural and Planning Research**, Chicago, v. 15, n. 4, p.283-294, Winter

2000.

SEGHIER, Taki Eddine et al. Building envelope thermal performance assessment using visual programming and BIM, based on ETVV requirement of Green Mark and GreenRE. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, v. 4, n. 3, 2017.

SIMON, H. The Sciences of the Artificial. Cambridge: The MIT Press, 1969.

SOLIHIN, W., EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in construction**, 53, 69-82, 2015.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems**. 2005 .Disponível em: <[http:// desrist.org/design-research-in-information-systems](http://desrist.org/design-research-in-information-systems)>. Acesso em: 14 fev. 2017.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field- Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>

VOORDT, T. J. M. V. D.; WEGEN, H. B. R. V. **Arquitetura sob o olhar do usuário**: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

# COMO VOCÊ MORA: SISTEMA INTERATIVO DE AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO EM MEIOS DIGITAIS

HOW DO YOU LIVE: Post-Occupancy Evaluation Interactive System in Digital Media

Simone Barbosa Villa<sup>1</sup>, Dominique Cunha Bruno<sup>1</sup>, Ana Luísa Trevisan dos Santos<sup>1</sup>,  
Camila Ribeiro Leão<sup>1</sup>

**RESUMO:** A relevância da avaliação pós-ocupação para a produção de habitações com maior qualidade já é muito consolidada em pesquisas na área da construção civil. A pesquisa “[COMO VOCÊ MORA?] Sistema interativo de APO da qualidade do habitar em meios digitais. ETAPA 2\_ testes e ajustes no banco de dados” trata-se de um Projeto de Inovação Tecnológica desenvolvido pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design, que consiste no desenvolvimento de um aplicativo interativo intitulado “COMO VOCÊ MORA” e em um banco de dados de gerenciamento de avaliações pós-ocupação (APOs), o “SISTEMA APO DIGITAL”. Trata-se de instrumentos que respaldam a identificação da qualidade de habitações e cuja viabilidade pode ser testada em estudos de caso, fundamentando sua replicação futura em território nacional. Estes instrumentos substituem os questionários tradicionais em papel e buscam o aprimoramento da experiência do usuário, no objetivo de tornar o processo da APO mais eficiente ampliando a qualidade dos dados obtidos, através do uso de interfaces gráficas projetadas para dispositivos móveis. O presente artigo irá tratar de uma análise do desempenho do aplicativo CVM em testes realizados na cidade de Uberlândia, MG. Nessa etapa, o método utilizado para o pré-teste e para a aplicação foram respectivamente o “Think Aloud” ou “Verbalização de Procedimentos”, e a definição de estudos de caso. Como resultado verificou-se que o sistema de avaliação CVM, no que diz respeito a novos formatos das avaliações pós-ocupação, oferece uma conotação mais interativa e permite um alcance maior, podendo impactar direta e positivamente na área de Pesquisa em Habitação.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia. - Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design

**Palavras-chave:** Avaliação Pós-Occupação, Inovação Tecnológica, Habitação, Qualidade espacial e ambiental, Interação homem-computador.

**Abstract:** The relevance of Post-Occupancy Evaluation for production of higher quality housing is already well established in research in the construction field. The research “[HOW DO YOU LIVE: POST -OCCUPANCY EVALUATION INTERACTIVE SYSTEM ON HOUSING QUALITY IN DIGITAL MEDIA]” is a Technology Innovation Project developed by the FACOM and FAUeD, which consists of developing an interactive app entitled “HOW DO YOU LIVE” and a Post-Occupancy Evaluation (POEs) management database, the “POEDIGITAL SYSTEM”. Together, the two products aim to identify the quality of housing investigated and which viability can be tested in case studies, substantiating their future replication in the national territory. The work, based on technological innovation, replaces traditional paper questionnaires and seeks to improve the user experience in order to make the POE process more efficient by increasing the quality of data obtained through the use of graphical interfaces designed for mobile devices. This article will deal with an analysis of application performance in tests conducted in the city of Uberlândia, MG. At this stage, the method used for pretesting and application were respectively “Think Aloud” and the definition of case studies. As a result, it was found that the app evaluation system, with regard to new formats of post-occupancy evaluation, offers a more interactive connotation and allows a wider reach, and may directly and positively impact the area of housing research.

**Keywords:** Post-Occupancy Evaluation, Technological Innovation, Spatial and Environmental Quality, Housing.

**Fonte de Financiamento:**  
CNPq-MCTI Nº 22/2014; CNPq – PIBIT e PROGRAD/DIREN/UFU.  
Agência de Fomento: FAPEMIG, CNPQ, UFU).  
**Conflito de Interesse:**  
Declaro não haver conflito de interesse.  
**Submetido em:** 22/11/2019  
**Aceito em:** 30/01/2020

## How to cite this article:

VILLA, S. B.; BRUNO, D. C.; SANTOS, A. L. T.; LEÃO, C. R. Como você mora: Sistema interativo de avaliação pós-ocupação em meios digitais. *Gestão e Tecnologia de Projetos*. São Carlos, 2020, 15(2) p.33-51. <http://dx.doi.org/10.11606/gtpp.v15i2.164344org/10.11606/gtpp.v15i2.164344>



## INTRODUÇÃO

O grupo [MORA] tem dedicado boa parte de suas pesquisas e atividades acadêmicas na inovação tecnológica e no desenvolvimento de instrumentos de avaliação pós-ocupação do ambiente construído. Tal atuação resultou em vários projetos de pesquisa que objetivaram o desenvolvimento de um sistema computacional para a construção e o gerenciamento de APOs, intitulado Sistema APO Digital<sup>1</sup>, além da aplicação dessas APOs utilizando interfaces gráficas confeccionadas para uso em dispositivos móveis<sup>2</sup>.

Sobre o desenvolvimento da arquitetura do Sistema APO Digital, a pesquisa se centrou em resolver alguns pontos: (i) a construção de *softwares* abertos, passíveis de mudanças, já que a APO é uma metodologia dinâmica na qual cada objeto de estudo requer alterações em seus procedimentos metodológicos; (ii) o desenho e programação dos diversos níveis de interação: interação entre usuário e aplicativo no *tablet*; entre esse aplicativo e o *software* “intermediário”; entre o *software* intermediário e o banco de dados; (iii) o estabelecimento de plataformas de banco de dados sistematizadas e interligadas em ambiente web; (iv) sistemas de tabulação de dados interligadas e dinâmicas a fim de relacionar os resultados obtidos (cruzamento de dados).

O Sistema APO Digital foi projetado para propiciar a construção de questionários com perguntas relativas às características socioeconômicas do morador, aspectos gerais da habitação, aspectos ambientais, entre outros. O trabalho centrado na inovação tecnológica, substitui os questionários tradicionais em papel e busca o aprimoramento da experiência do usuário, no objetivo de tornar o processo da APO mais eficiente, ampliando a qualidade dos dados através do uso de interfaces gráficas projetadas para dispositivos móveis que incorporam mecânicas de jogos digitais. A partir disso, foi desenvolvido um aplicativo intitulado “Como Você Mora” (CVM, disponível no GooglePlay<sup>3</sup>) que possui uma interface interativa e processa uma avaliação pós-ocupação. A proposta é que cada APO seja respondida por um conjunto de usuários moradores utilizando dispositivos móveis, e as respostas sejam enviadas para a base de dados principal, que viabiliza a geração de relatórios e gráficos analíticos e visuais. Os resultados obtidos através do banco de dados visam verificar os pontos positivos e negativos dos empreendimentos, para que seja possível uma análise crítica da qualidade das habitações.

A partir do desenvolvimento de pesquisas anteriores sobre APO em habitações (VILLA, 2008, VILLA e SILVA, 2012; SARAMAGO e VILLA, 2014), as seguintes demandas se configuram como questões indutoras para a utilização do sistema interativo de APO: (i) a ampliação da eficiência e da confiabilidade dos resultados da avaliação obtidos por métodos quantitativos; (ii) a manutenção da privacidade dos moradores avaliados; (iii) a possibilidade de maior interação entre o pesquisador e o morador na avaliação; (iv) a re-

<sup>1</sup> O sistema APO Digital foi idealizado nas pesquisas: [APO DIGITAL 1] Avaliação pós-ocupação em apartamentos com interfaces digitais (2012-2014 - Demanda Universal - FAPEMIG Nº 01/2011); [APO DIGITAL 2] Avaliação pós-ocupação funcional, comportamental e ambiental em apartamentos com interfaces digitais: aprimoramento do software, interface e aplicação (2014-2016 - Demanda Universal - FAPEMIG Nº 01/2013); [COMO VOCÊ MORA?] Sistema interativo de avaliação pós-ocupação da qualidade do habitar em meios digitais (2014-2017 - CNPq-MCTI Nº 22/2014) e [COMO VOCÊ MORA?] Sistema interativo de APO da qualidade do habitar em meios digitais. ETAPA 2\_testes e ajustes no banco de dados. (2018-2020 - CNPq - PIBIT e PROGRAD/DIREN/UFU).

<sup>2</sup> A busca por avanços metodológicos na área de APO é meta principal das pesquisas realizadas no [MORA] pesquisa em habitação - grupo de pesquisa registrado no CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil) vinculado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal de Uberlândia (FAUeD/UFU), Brasil - ver mais informações em <http://morahabitacao.com/>.

<sup>3</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.morahabitacao.ComoVoceMora>



dução dos custos da avaliação; (v) a ampliação da eficiência da tabulação dos resultados da avaliação; (vi) a capacidade gráfica e multimídia do meio digital potencializando as interações; (vii) a utilização da tecnologia não somente como equipamento, mas como parte funcional e integral da avaliação; e (viii) a capacidade da avaliação ser educativa. Considerando tais aspectos, busca-se integrar a utilização de meios digitais no sentido de suprir, ou minimizar, as deficiências e problemáticas identificadas, potencializando os métodos de avaliação.

Diante disso, o presente artigo tratará de uma análise qualitativa do desempenho do aplicativo “Como Você Mora? (CVM)” na etapa de testes e aprimoramento do aplicativo. Essa etapa consistiu na realização de um pré-teste visando avaliar o funcionamento e usabilidade do aplicativo, e posterior aplicação de um teste, em formato de APO, realizado em estudos de caso na cidade de Uberlândia (MG).

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“Morar” constitui um ato fundamental da existência humana e, por isso, o tema da habitação tem sido constantemente investigado sob diferentes abordagens e pontos de vista. Segundo Bachelard (2008), “todo o espaço realmente habitado traz a essência da noção de casa (...) e a casa é o nosso canto do mundo, o nosso primeiro universo”. A habitação em si possui um significado simbólico de abrigo, local seguro frente ao exterior hostil. Considerando então a importância do morar para o ser humano, justifica-se o amplo conhecimento de como os habitantes de nossas cidades estão sendo abrigados, suas necessidades e o impacto decorrente dessas moradias no meio ambiente (SARAMAGO; VILLA; SILVA, 2017), ou seja, importa avaliar a qualidade do habitar, tanto em suas dimensões objetivas quanto subjetivas.

A relevância da APO para a obtenção da qualidade do projeto de arquitetura já é bastante consolidada por diversas pesquisas na área da construção civil (ELALI e VELOSO, 2006; ORNSTEIN, VILLA e ONO, 2010; VILLA e ORNSTEIN, 2013; ONO et al. 2018). Aspectos relevantes em relação à gestão do processo de projeto, na qual a APO se insere, e seu papel no atendimento à qualidade dos espaços construídos, notadamente nas habitações, também já foram amplamente pesquisados (MELHADO, 2004; SILVA e SOUZA, 2003; ADESSE e SALGADO, 2006; VILLA, 2008, KOWALTOWSKI et al, 2011). Assim, evidencia-se a necessidade da relação estreita e profunda entre a aferição do comportamento humano no espaço doméstico e a qualidade habitacional como forma de elevar os índices de satisfação e melhoria do desempenho dos projetos idealizados nessa área. Entende-se que as informações sobre as necessidades e o comportamento dos usuários moradores, identificadas através de pesquisas de APO, devem alimentar e tornar centrais em todas as fases do processo de projeto (PREISER e VISCHER, 2005; VILLA e ORNSTEIN, 2013; VOORDT e WEGEN, 2013). A melhoria no desempenho dos projetos, além de outros aspectos, também passa pela montagem e pela observação, por parte dos agentes envolvidos, de bancos de dados alimentados por avaliações que incluam técnicas de percepção física do ambiente construído, além da interação entre esse ambiente e o comportamento dos usuários (VILLA, 2008; MALLORY-HILL, PREISER e WATSON, 2012).

Segundo, Coates, Arayici e Ozturk (2012), a tecnologia vem ampliando sua área de influência no cotidiano das pessoas, incluindo sua moradia, vis-

to que a preocupação com as formas de morar vem se acentuando notadamente em função de demandas projetuais específicas e questões de sustentabilidade do ambiente. Através do desenvolvimento de interfaces digitais e de uma maior interação entre homem e máquina, processos educativos e de informações ao usuário podem ser potencializados, reforçando novas agendas em relação a aplicação de APO como processo e não somente como produto em si (COLE, 2005). Desta forma buscou-se, através de pesquisas consolidadas na área de avaliação do comportamento humano (BECHTEL, CHURCHMAN, 2001; SOMMER, SOMMER, 1997) a convergência com outras áreas do conhecimento, como o Design de Interação (PREECE, ROGERS e SHARP, 2005).

O uso de dispositivos móveis em APOs pode ser justificado pela onipresença que a computação vem obtendo em meio a sociedade. Dentre as principais categorias de softwares desenvolvidos para dispositivos móveis estão entretenimento e jogos, sendo que os jogos têm a capacidade de proporcionar um ambiente de imersão, despertar curiosidade e criar uma sensação de prazer que os desafios proporcionam ao jogador ao completarem um objetivo (CHANDLER, 2009. In: ABREU et. al., 2017).

Em todo o processo de criação, desenvolvimento e aprimoramento da interface digital aqui proposta, problematizações e metodologias oriundas do *UXDesign*<sup>4</sup>, do *UIDesign*<sup>5</sup> e da Gamificação<sup>6</sup> foram utilizadas, no intuito de dar à interface a competência para não só cumprir seu objetivo primeiro (o de analisar e avaliar as tipologias e os aspectos do “morar”), mas para fazer desse processo de avaliação uma experiência mais positiva, mais lúdica, criativa e interativa para os usuários (SANTAELLA, 2005; CHANDLER e UNGER, 2009; AMBROSE e HARRIS, 2012).

No que diz respeito à qualidade da experiência do usuário, a pesquisa também se valeu de alguns processos de gamificação, na medida em que se utilizou do modo de pensar e da mecânica dos jogos para envolver os usuários e resolver problemas de maneira mais lúdica (ZICHERMANN & CUNNINGHAM, 2011). A existência de um personagem, de um *storyboard* e de etapas contribuem para tornar a interface mais atraente e envolvente.

## METODOLOGIA DA PESQUISA

O delineamento metodológico da presente pesquisa foi baseado na abordagem do Teste Teórico (*Theory Testing approach*), começando do nível conceitual-abstrato ao nível empírico. Desta forma, a estrutura geral do trabalho se configurou como: (i) **Pesquisa bibliográfica** - Revisão da literatura que analisa criticamente os conceitos abordados na pesquisa: avaliação pós-ocupação, qualidade da habitação, interfaces digitais e inovação tecnológica; (ii) **Pesquisa referencial** - Pesquisa dos principais resultados anteriores desenvolvidos no [MORA]; (iii) **Pesquisa conceitual-abstrata** - A partir dos achados da pesquisa bibliográfica e referencial, apresentam-se os conceitos e teorias pretendidos nos produtos, redefinindo-os; (iv) **Pesquisa empírica** - Estudo observacional em casos e Análise comparativa entre duas diferentes soluções tipológicas e programáticas (casas e apartamentos).

A partir do delineamento metodológico geral, a pesquisa foi planejada em 3 grandes etapas, que se dividem em etapas de trabalho numeradas de I

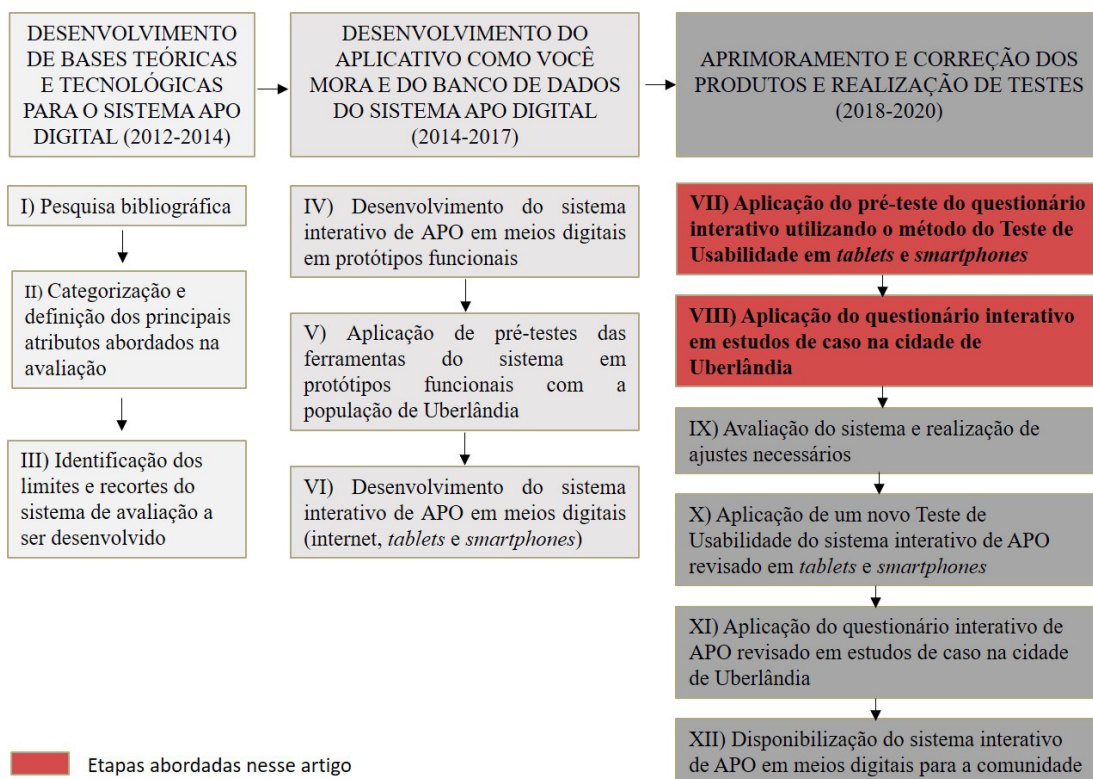
<sup>4</sup> User Experience Design – design de experiência do usuário.

<sup>5</sup> User Interface Design – design de interface de usuário.

<sup>6</sup> Gamificação é, basicamente, usar ideias e mecanismos de jogos para incentivar alguém a fazer algo.



a XII, como demonstra a figura abaixo:



Por se tratar de um amplo Projeto de Pesquisa<sup>7</sup>, que envolveu várias etapas de execução, nesse artigo será dada ênfase somente nas etapas (vii) e (viii), realizadas durante os anos de 2018 e 2019.

### METODOLOGIA DO TESTE DE USABILIDADE DO QUESTIONÁRIO/APLICATIVO CVM

O “Teste de Usabilidade” teve como objetivo coletar dados comportamentais que contribuem para melhorar a facilidade de uso de um produto ou sistema, no caso, o aplicativo CVM. Segundo Nielsen (1993), o termo usabilidade é definido como “atributo de qualidade que avalia quão fácil uma interface é de usar”, ou “a medida de qualidade da experiência de um usuário ao interagir com um produto ou um sistema”. Segundo Zandoná (2017), os testes de usabilidade, por sua vez, são definidos como “técnicas etnográficas nas quais os usuários interagem com um produto ou sistema, em condições controladas, para realizar uma tarefa, com objetivos definidos, em um dado cenário, visando a coleta de dados comportamentais, e tendo como objetivo principal melhorar a facilidade de uso desse produto/sistema”. A metodologia escolhida para o teste foi denominada “Think Aloud” ou “Verbalização de Procedimentos”, que consiste no incentivo ao usuário para verbalizar seus pensamentos enquanto utiliza o sistema. Além disso, foi escolhido também o método da “Avaliação Cooperativa”, que visa avaliar os elementos relacionados ao design gráfico do aplicativo.

<sup>7</sup> A pesquisa “Como Você Mora?” iniciou-se em 2012 e conta com 31 publicações de artigos e 4 relatórios até o presente momento.

**Figura 1:** Metodologia geral da pesquisa com etapas de trabalho

**Fonte:** Autores, 2020

Para a realização do pré-teste foram escolhidas oito pessoas, com diferentes perfis, de forma a contemplar todas as dificuldades e impressões possíveis. Primeiramente, foram elencados os atributos a serem avaliados de acordo com as necessidades da pesquisa e do aplicativo, relacionados principalmente à funcionalidade, intuitividade, praticidade e design, que foram dispostos em tabelas de registro de modo a ajudar na organização das anotações durante a aplicação dos testes.

## **METODOLOGIA DOS ESTUDOS DE CASO DO QUESTIONÁRIO/APLICATIVO CVM**

A estratégia de definição de estudos de casos (YIN, 2010) é amplamente utilizada em análises qualitativas quando se procura responder questões do tipo “como” e “por quê” alguns fenômenos ocorrem, nas quais as explicações dos fatos decorrem da profundidade da análise dos casos.

Os fatores para a escolha dos estudos de caso foram definidos de forma a abranger uma grande quantidade de cenários distintos oferecidos pelo aplicativo, como: (i) Tipologia (casa e apartamento); (ii) Faixa do Programa Minha Casa Minha Vida (faixa 2); (iii) Área útil (máximo 70m<sup>2</sup>); (iv) Preço de lançamento (máximo 140 mil reais); (v) Tempo de lançamento (mínimo 2 anos).

A amostragem utilizada foi 50% do número de unidades ocupadas de cada empreendimento. Dessa forma, no empreendimento A, que possui 76 unidades ocupadas, a amostragem foi de 38 unidades e no empreendimento B, que possui 88 unidades ocupadas, a amostragem foi de 44 unidades.

A aplicação do sistema interativo de APO foi então realizada nos condomínios de casas e apartamentos selecionados, inseridos na cidade de Uberlândia. Vale ressaltar que o questionário/aplicativo CVM já teve sua aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa da UFU (Nº 67667017.6.0000.5152). Sua aplicação respeitou todas as exigências do Comitê, e anteriormente à aplicação, foi realizada a complementação de documentos junto ao CEP-Plataforma Brasil.

## **ESTRUTURA DO QUESTIONÁRIO/APLICATIVO CVM**

O questionário/aplicativo CVM foi desenvolvido utilizando-se a linguagem Lua<sup>8</sup> e o framework Corona SDK<sup>9</sup>. O aplicativo reúne cerca de 120 perguntas divididas em 7 seções (Figura 1). Suas telas possuem recursos gráficos como botões específicos para o tipo de pergunta, ícones interativos, cores específicas para cada seção, que promovem uma melhor experiência ao usuário morador.

---

<sup>8</sup>R. Ierusalimschy. Programming in Lua, Second Edition. Lua.Org, 2006.

<sup>9</sup>F. Zammetti. Learn Corona SDK Game Development. Apress, Berkely, CA, USA, 1st edition, 2013.

	SEÇÕES	TEMAS
1	 SOBRE VOCÊ	Gênero, idade, escolaridade, moradores, funcionários, renda familiar, profissão
2	 MORADIA ANTERIOR	Tipologia, estado de aquisição, grau de satisfação, tempo de permanência
3	 MORADIA ATUAL	Localização; SOBRE O BAIRRO: grau de identificação, equipamentos urbanos, presença de comércios, espaços públicos, organização de moradores, satisfação e integração
4	 CONJUNTO	Tipologia, blocos, equipamentos coletivos
5	 EDIFICAÇÃO	Justificativa da escolha da moradia, pontos negativos, pavimentos, grau de satisfação, delimitações e barreiras
6	 UNIDADE	Estado de aquisição, tipologia, significado, adaptação e identificação, adequação do layout, renda extra, satisfação, influência da tecnologia, área útil, ambientes e quantidade, flexibilidade dos ambientes, satisfação de cada ambiente, reformas e justificativas, insolação, atividades
7	 HÁBITOS SUSTENTÁVEIS	Economia de água e de energia elétrica, uso de energia solar, gestão do lixo, consumo de alimentos orgânicos, uso de ecobags, plantas, meios de transporte utilizados, feedbacks

## ANÁLISE QUALITATIVA DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO/APLICATIVO CVM

A partir dos itens que configuraram a justificativa do uso do sistema interativo de APO como um método inovador e eficiente, foram realizadas avaliações de desempenho dos produtos. As informações indicadas a seguir, que foram obtidas a partir da aplicação do teste de usabilidade e do teste em dois estudos de caso, são de natureza qualitativa. Resultam da observação dos pesquisadores e da análise dos resultados quantitativos obtidos nos testes. Não cabe a esse artigo relatar os resultados quantitativos da aplicação, senão utilizá-los como apoio às análises e reflexões relativas ao funcionamento e viabilidade do questionário/aplicativo CVM.

**(i) A ampliação da eficiência e da confiabilidade dos resultados da avaliação obtidos por métodos quantitativos.** No intuito de atender aos parâmetros de design responsivo, a partir da abordagem da IHC [Interação Homem- Computador], optou-se pela adoção do estilo *low poly*, a fim de deliberar uma aparência que gerasse reconhecimento imediato por parte do usuário, chamando a atenção graças à quantidade de cores e menos detalhes. O excesso de elementos gráficos poderia despertar no usuário distração, tornando a interface pouco responsiva; pouco objetiva e de difícil uso. Esse recurso fomenta uma tendência de aproximação maior do usuário com a problemática discutida no momento em que o mesmo entra em contato com a interface, e conseqüentemente contribui para maior fidelidade dos resultados.

O uso da tecnologia na aplicação do questionário, também auxiliou na ampliação da eficiência dos resultados, com relação ao método de avaliação utilizado. Levou-se em conta que a APO tradicionalmente se utiliza de um questionário estruturado, com uma sequência de perguntas padronizadas, que permitem sua generalização para certa população. Além disso, o uso da tecnologia também possibilita obter dados de forma rápida e precisa, facilitando o processamento e a comparação de dados dos respondentes (ONO et al. 2018). Desse modo, a utilização da tecnologia possibilitou uma tabulação dos resultados mais rápida e eficiente em função da comunicação do Sistema APO DIGITAL com o aplicativo CVM.

**(ii) A manutenção da privacidade dos moradores avaliados.** O apli-

**Figura 2:** Estruturação do questionário/aplicativo CVM em seções

**Fonte:** Autores, 2018

cativo em seu formato interativo e constituído por uma linguagem simplificada e atrativa, foi desenvolvido com o objetivo de que os próprios usuários pudessem responder, sem a necessidade de auxílio do pesquisador, sendo esse apenas um apoio. Esse fato, garantiu ao morador maior privacidade e liberdade para responder com mais sinceridade, evitando ser influenciado ou mesmo intimidado. Além disso, o aplicativo em questão pode ser baixado pela comunidade em plataforma web, por *tablets* ou *smartphones*, podendo o morador responder o questionário no momento em que achar adequado, evitando um possível incômodo.

**Figuras 3 e 4:** Moradoras respondendo o questionário/aplicativo CVM demonstrando habilidade no manuseio

**Fonte:** Autores, 2019

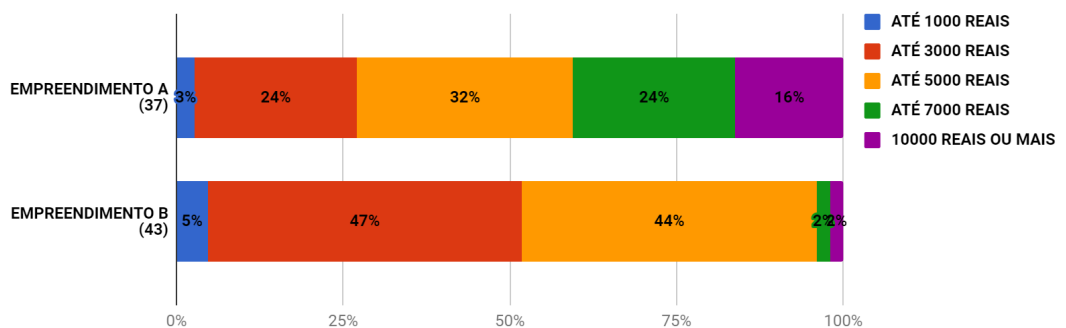


**Figura 5:** Gráfico de renda mensal familiar – Seção “Sobre Você” do questionário/aplicativo CVM

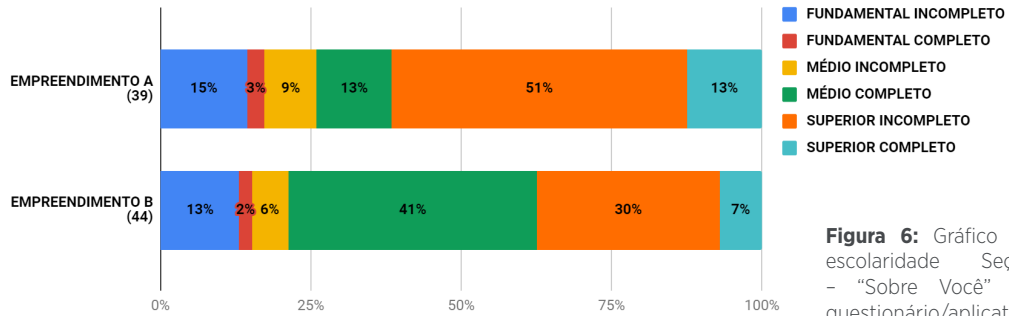
**Fonte:** Autores, 2019

Os gráficos a seguir (Figuras 5, 6 e 7) representam algumas perguntas que poderiam constranger os moradores, fato que pode ser evitado através da autonomia que o questionário CVM possibilita aos mesmos levando-os a responder com maior franqueza, aumentando a fidelidade dos resultados.

### RENDA MENSAL FAMILIAR



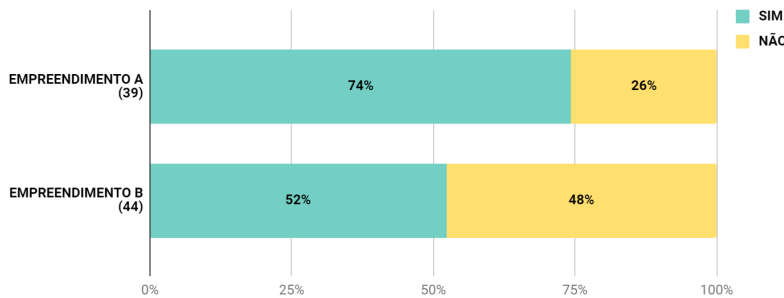
## ESCOLARIDADE



**Figura 6:** Gráfico de escolaridade Seção - “Sobre Você” do questionário/aplicativo CVM

Fonte: Autores, 2019

## VOCÊ SEPARA O LIXO ENTRE REICLÁVEL E COMUM?



**Figura 7:** Gráfico de separação do lixo - Seção “Hábitos Sustentáveis” do questionário/aplicativo CVM

Fonte: Autores, 2019

Na seção “Hábitos Sustentáveis” do aplicativo, muitos moradores demonstraram através de relatos informais, a consciência da necessidade de ações sustentáveis, porém os gráficos apontam que os mesmos de fato não as praticam. O questionamento realizado pelo pesquisador, como o caso da aplicação em questionários de papel, pode gerar certo constrangimento fazendo com que, muitas vezes, a resposta recolhida não represente de fato a verdade. O fato do questionário não requerer a identificação do morador, também garantiu sua privacidade, além da preservação do anonimato dos empreendimentos definidos como estudos de caso, nos resultados, seguindo as orientações do CEP.

**(iii) A possibilidade de maior interação entre o pesquisador e o morador na avaliação.** No momento da aplicação, foram observadas diferentes situações relacionadas ao grau de interação. Nos casos em que os próprios moradores manusearam o equipamento, a interface do aplicativo proporcionou uma experiência lúdica e divertida, despertando no morador interesse de interagir com o pesquisador e com o próprio aplicativo. Muitas vezes, as reflexões extrapolaram o roteiro proposto inicialmente, contribuindo para um amadurecimento e maior contato dos moradores com os temas abordados. Esse fato foi confirmado também no teste de usabilidade, já que o mesmo utilizou o método “Think Aloud”, no qual os respondentes verbalizaram suas sensações, surpresas e dificuldades no manuseio do aplicativo, sendo possível detectar seus pontos positivos e problemas. Já nos casos em que os pesquisadores manusearam os *tablets*, o morador quando observou o processo ao lado do pesquisador, teve a oportunidade de vivenciar em parte a experiência.





**Figuras 8 e 9:** Acima: interação entre o casal respondendo o aplicativo CVM. À direita: interação da moradora com o pesquisador respondendo o aplicativo CVM.

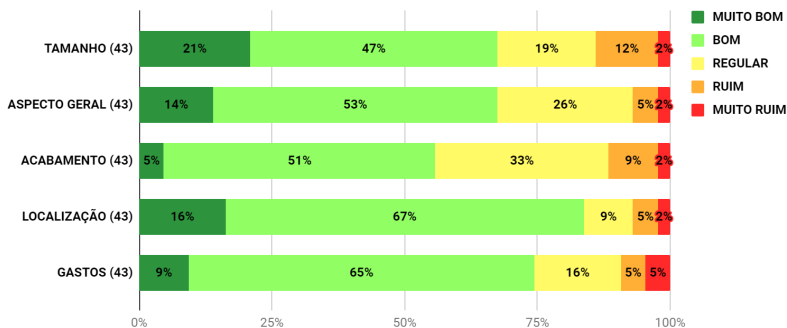
**Fonte:** Autores, 2019

**(iv) A redução dos custos da avaliação.** Visto que a aplicação da avaliação foi realizada através de equipamentos eletrônicos, como *tablets* e *smartphones*, os custos com impressão de questionários em papel e o acúmulo de lixo no descarte final, foram inexistentes. Além disso, como o morador pode baixar o aplicativo em seu próprio *smartphone* e responder ao questionário, os custos de transporte do pesquisador podem ser reduzidos nesta etapa de coleta de dados.

**(v) A ampliação da eficiência da tabulação dos resultados da avaliação.** Assim que cada questionário respondido foi finalizado, as informações foram enviadas e armazenadas em um banco de dados (Sistema APO Digital), gerando automaticamente seus respectivos gráficos, que foram utilizados para posterior análise dos resultados. Devido à grande quantidade de perguntas tabuladas, esse processo se tornou muito mais rápido e eficiente, comparado aos questionários em papel. Além disso, a geração automática dos dados coletados, permitiu uma maior fidelidade dos resultados e menor probabilidade de erros, em comparação com uma contagem feita manualmente, em alguns casos. As figuras a seguir mostram exemplos de gráficos que podem ser gerados pelo sistema.



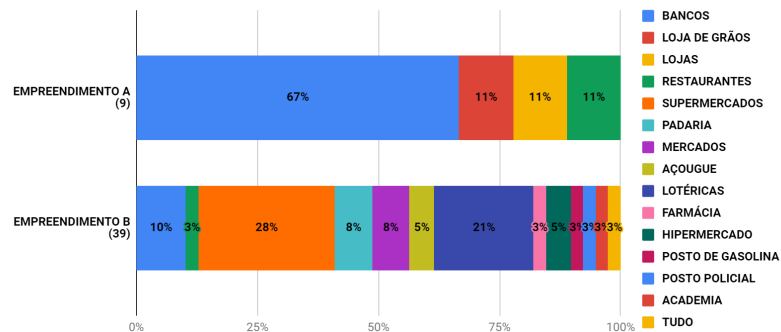
**SATISFAÇÃO MORADIA ANTERIOR - EMPREENDIMENTO B**



**Figura 10:** Gráfico satisfação com relação à moradia anterior no empreendimento B – Seção “Moradia Anterior” do questionário/aplicativo CVM

Fonte: Autores, 2019

**TIPO DE COMÉRCIO QUE SENTE FALTA NO BAIRRO**



**Figura 11:** Gráfico do tipo de comércio que sente falta no bairro – Seção “Moradia Atual” do questionário/aplicativo CVM

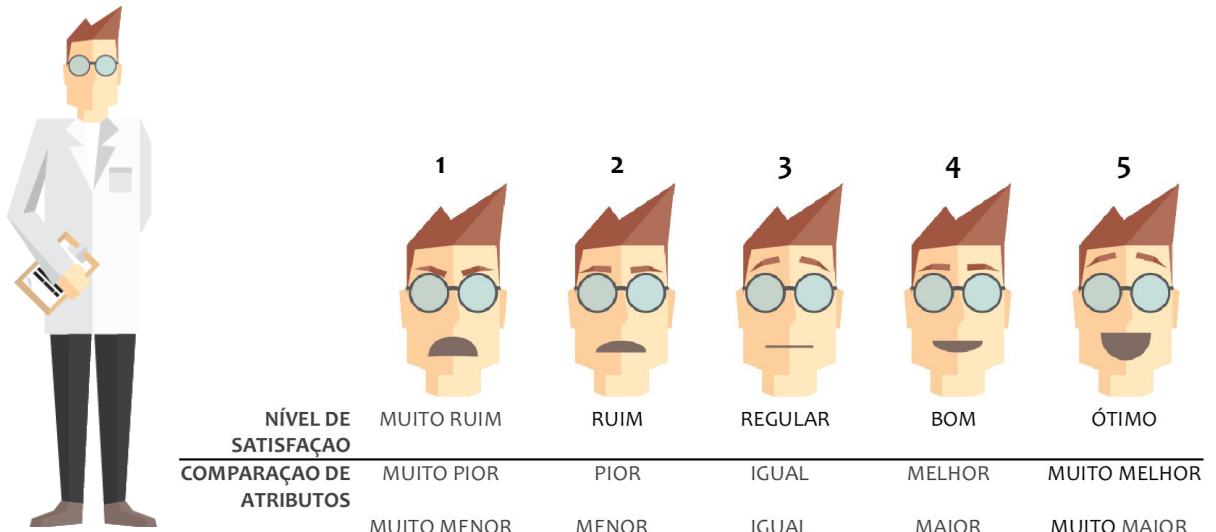
Fonte: Autores, 2019

Ainda no sentido da ampliação da eficiência dos resultados, futuramente serão desenvolvidos no aplicativo, *feedbacks* aos usuários que respondem a indagação principal: “Como Você Mora?”. Para isso, o morador teria acesso direto aos gráficos por meio de uma plataforma web, sendo possível observar sua condição em relação ao restante dos respondentes.

**(vi) A capacidade gráfica e multimídia do meio digital potencializando as interações.** No processo de criação do aplicativo CVM buscou-se, através do desenho da interface, a obtenção dos seguintes elementos: (i) a concentração do máximo de palavras-chaves possíveis em uma única tela de visualização; (ii) a utilização de símbolos, cores e imagens animadas representando as variadas palavras-chave; (iii) a utilização de recursos multimídias para animações, e (iv) a disponibilidade de dados e informações variadas sobre os atributos (palavras-chave) avaliados no sentido de posicionar o usuário no contexto da pesquisa. Aqui, aspectos do *UX Design* foram aplicados no *UI Design* (comunicação visual, dimensão gráfica da interface), considerando aspectos de gamificação.

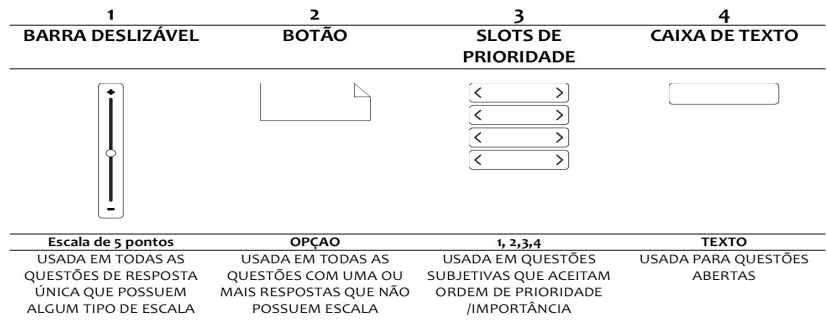
O aprimoramento da interface do questionário/aplicativo CVM se deu gradativamente a partir de consultas à comunidade e ao atendimento dos objetivos e demandas indutoras desta pesquisa. Vale destacar que em etapa anterior as primeiras interfaces desenhadas foram testadas em um e

47 estudo de caso na cidade de Uberlândia. Seus resultados foram divulgados em artigos científicos e serviram de base para o aprimoramento dessa pesquisa (VILLA et al, 2015 A e B). Em consonância com os objetivos da pesquisa e os resultados das consultas à comunidade, os seguintes elementos gráficos foram aprimorados no questionário/aplicativo: (i) a criação do personagem Dr. Prancheta (Figura 11); (ii) a definição da paleta cromática (Figura 1); e (iii) a definição dos padrões de respostas (Figura 12).



**Figura 12:** Dr. Prancheta e sua interação com o usuário, segundo a escala de resposta

**Fonte:** Autores, 2017



**Figura 13:** Padrões de respostas do questionário/aplicativo CVM específicos para cada tipo de resposta

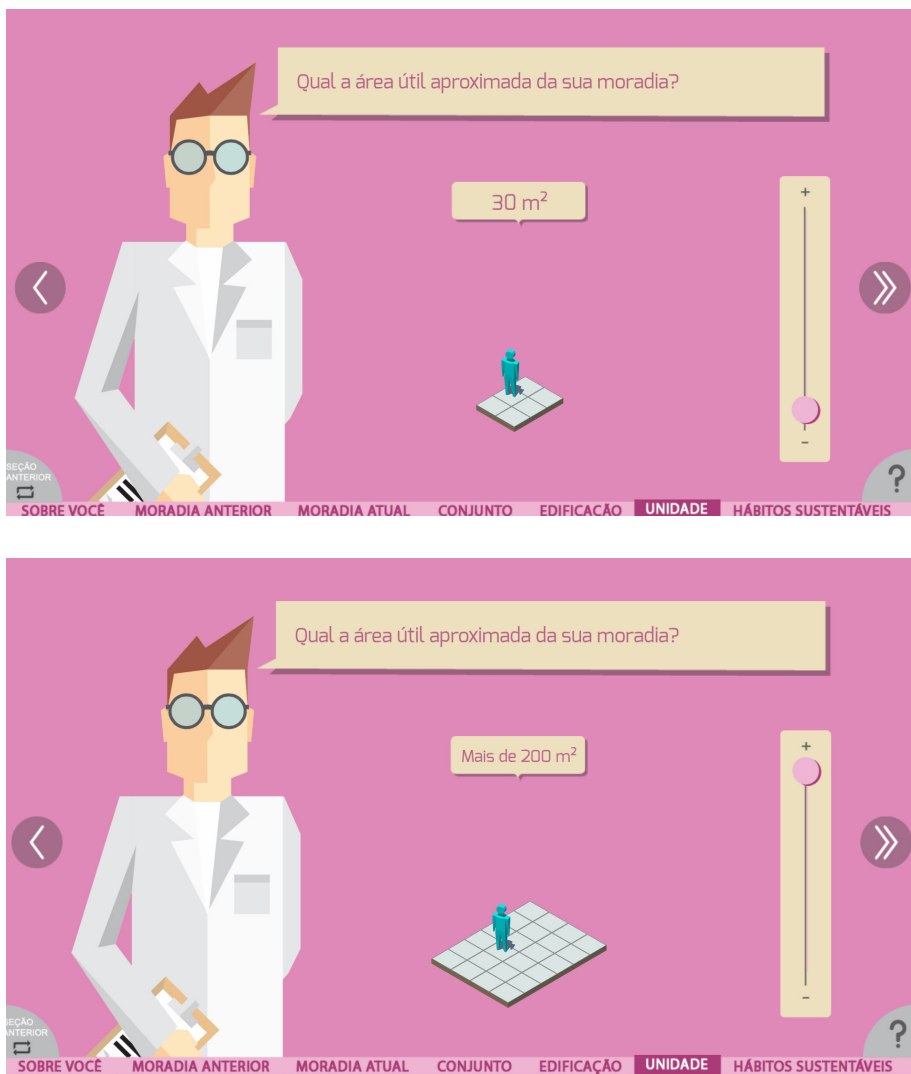
**Fonte:** Autores, 2017



**Figura 14:** Exemplos de ícones presentes em diferentes seções do questionário/aplicativo CVM que auxiliaram na compreensão das perguntas e respostas

**Fonte:** Autores, 2019

Os ícones e cores associadas às diferentes etapas do questionário serviram como uma espécie de “tradutor” dos atributos avaliados, notadamente nos casos de usuários idosos, ou mesmo, com limitação de leitura. Os elementos gráficos, associados aos diversos recursos de botões, estabeleceram uma conexão mais forte entre o respondente e questionário/aplicativo, facilitando a dimensão educacional do produto. Um exemplo disso, pode ser visto na pergunta relativa à “Área útil da moradia”, na qual os usuários demonstraram dificuldades de compreensão do termo enunciado da pergunta, porém ao manusearem a barra deslizante e observarem o movimento do ícone, conseguiram responder à questão sem necessitar da ajuda do pesquisador. Em casos como esse, os moradores demonstravam surpresa ao perceber o diálogo entre o ícone e a temática. Tanto no teste de usabilidade quanto no teste em estudos de caso, foi possível comprovar que tais estratégias gráficas foram essenciais para melhor compreensão das questões analisadas anteriormente.

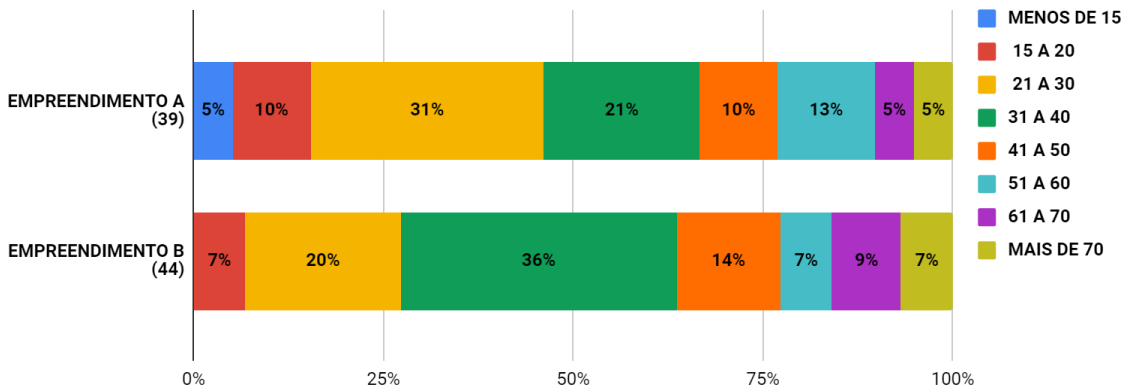


**Figura 15:** Telas mostrando diferenças entre possíveis opções: área útil mínima e a máxima

**Fonte:** Autores, 2019

Apesar da extensão do questionário, a interface gráfica interativa ajudou a manter o usuário focado e entretido, muitas vezes interagindo e demonstrando interesse. A partir das experiências vivenciadas em campo, foi possível constatar que o tempo de realização do questionário é inversamente proporcional à idade do usuário. No empreendimento A, com maior porcentagem de moradores de idade inferior a 30 anos, o tempo de cada aplicação se deu em torno de 20 a 30 minutos e no empreendimento B esse tempo foi em média de 40 a 50 minutos.

## IDADE



**Figura 16:** Gráfico da idade – Seção “Sobre Você” do questionário/aplicativo CVM

Fonte: Autores, 2019

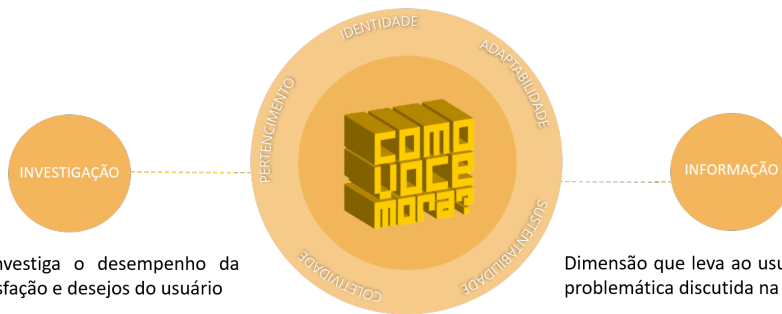
O teste de usabilidade demonstrou que usuários idosos tiveram maior dificuldade na compreensão do questionário e no manuseio do tablet, necessitando de ajuda para finalizar, e ampliando o tempo de aplicação do teste.

**(vii) A utilização da tecnologia não somente como equipamento, mas como parte funcional e integral da avaliação.**

A utilização da tecnologia não se deve apenas ao uso de equipamentos portáteis como os *tablets e smartphones* no momento da aplicação, em substituição ao questionário tradicional de papel, mas também envolve a natureza do desenvolvimento do sistema e do aplicativo, reforçando a ideia de que o arquiteto pode auxiliar no desenvolvimento do sistema de avaliação proposto. Assim o arquiteto pode participar no desenvolvimento de interfaces, levando em consideração a melhora do processo e a obtenção de respostas mais precisas. Essa proposta, aliada a cientistas da computação torna possível à tradução da APO em um sistema baseado em tecnologias computacionais.

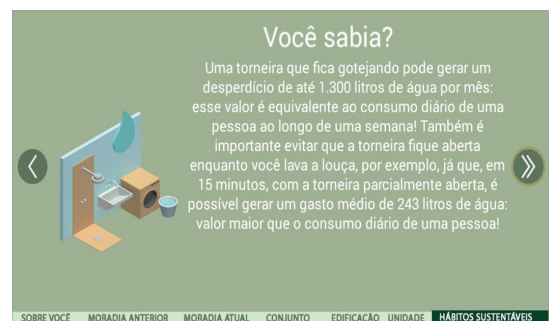
A partir do entendimento de interface, usabilidade, aplicabilidade e comunicabilidade segundo a IHC (Interação Homem-Computador), defendemos que o papel do arquiteto na elaboração das interfaces em questão não se resume a estabelecer demandas de uso ou design gráfico da interface. No papel de especialista, ele deve traduzir continuamente suas demandas em termos computacionais específicos, traduzindo a estrutura linear do processo anterior à digitalização em uma estrutura hipertextual, em rede (lógica servidor – cliente), organizando e hierarquizando conteúdos e dinâmicas a partir dessa lógica. Todo esse processo é assessorado por especialistas em computação, que interferem criticamente e criativamente nesse processo, mostrando e implementando possibilidades não aventadas pelos arquitetos.

**(viii) A capacidade da avaliação ser educativa.** O questionário/aplicativo CVM, possui duas dimensões: a dimensão da Investigação, que consiste nas perguntas do questionário que visam investigar o desempenho da edificação, a satisfação e desejos do usuário; e a dimensão da Informação, que, através da interface especificamente elaborada, leva ao usuário conhecimento sobre a problemática discutida. A primeira versão dessa dimensão informativa foi elaborada baseada em textos informativos e mapas interativos, mas pretende-se ampliar essa dimensão em pesquisas futuras.



Dimensão que investiga o desempenho da edificação e a satisfação e desejos do usuário

Dimensão que leva ao usuário conhecimento sobre a problemática discutida na pergunta em questão



A partir dessa estrutura, a avaliação consegue ser educativa de três modos. O primeiro consiste nas reflexões nas quais o morador está submetido ao responder as perguntas da dimensão Investigativa. O segundo, através da dimensão da Informação, disponibiliza mapas e textos informativos que visam despertar nos moradores uma reflexão acerca de uma problemática abordada na pergunta. A intenção dessa dimensão é estimular um senso crítico nos respondentes, no momento da aplicação do questionário. Como exemplo, tem-se a seção “Hábitos Sustentáveis”, que traz a questão da informação através de telas educativas, denominadas “Você Sabia?” e de mapas indicando locais na cidade que funcionam como ecopontos e pontos de co-

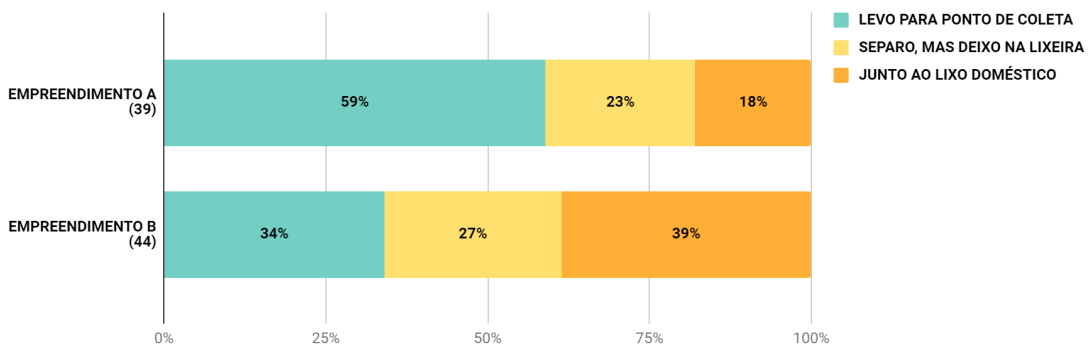
**Figura 17:** Dimensões do aplicativo “Como você Mora”

**Fonte:** Autores, 2019

leta seletiva. Se o morador responder algo negativo em relação a atitudes sustentáveis praticadas por ele, recebe imediatamente uma resposta do aplicativo de como pode melhorar seus indicativos.

Na aplicação realizada em estudos de caso, foi possível constatar que a maioria dos moradores não tinham ciência dos locais corretos de descarte de equipamentos eletrônicos, medicamentos vencidos, e lixo reciclável e alguns alegavam não os levar para os pontos de coleta por falta dessa informação. No teste de usabilidade, realizado com pessoas de diferentes idades, faixas de renda e escolaridade, ao receberem a informação sobre a importância do descarte correto desses materiais, muitos demonstraram interesse nessa questão e relataram entender a relevância do tema, se propondo a iniciar hábitos mais sustentáveis.

## DESCARTE DE BATERIAS E ELETRÔNICOS



**Figura 18:** Gráfico do descarte de baterias e eletrônicos

**Fonte:** Autores, 2019

O terceiro modo de estabelecer o caráter informativo, consiste no projeto futuro de disponibilização dos resultados para a comunidade através de gráficos, buscando responder à pergunta “Como Você Mora?”. Nesse sentido, as respostas obtidas trarão ao usuário, informações diretas de como o usuário está vivendo, em relação aos demais que também responderam ao questionário.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande potencial e avanço do sistema de avaliação CVM diz respeito a novos formatos das avaliações pós-ocupação, mais interativas, além do estabelecimento de um banco de dados sobre o “morar”. Além disso, o design de interface do CVM, ao centrar-se na percepção do usuário, pode atuar como um facilitador da difusão e transferência de conhecimento, uma vez que: por ser um aplicativo, tem maior alcance; por ter um design mais convidativo e lúdico, pode alcançar usuários que não responderiam a questionários de avaliação tradicionais - adolescentes, por exemplo - diversificando assim as informações colhidas. Ao questionar os hábitos e o entendimento dos usuários em relação à sua própria moradia, apresenta informações sobre ações relacionadas à redução de impactos ambientais, facilitando a compreensão dos respondentes quanto a conceitos relativamente novos e ajudando a consolidar uma maior consciência ecológica por parte dos residentes de áreas urbanas.

Esse trabalho pode impactar direta e positivamente a área de Pesquisa em Habitação, uma vez que lhe oferece uma conotação mais lúdica e um al-



cance maior, pois pode ser baixado e respondido de qualquer local, por qualquer pessoa. O aplicativo, em uma versão teste, está disponível para download diretamente no *GooglePlay* e, além disso, há uma página específica do projeto de pesquisa na internet<sup>10</sup>, a partir da qual usuários podem ter informações mais detalhadas do projeto, configurando-se, portanto, como um canal de contato entre o usuário e o *software*. Vale ressaltar que o Sistema APO Digital foi idealizado inicialmente para suprir as demandas do grupo de pesquisa e posteriormente para se tornar uma ferramenta pública, aberta a todos os pesquisadores. Esse processo, totalmente viável, está em desenvolvimento e depende de investimentos futuros. Nesse sentido, o sistema APO Digital, pode vir a ser uma ferramenta através da qual entidades e setores governamentais, industriais e civis, poderão acessar os mais variados dados resultantes das problematizações quantitativas e qualitativas acerca das habitações avaliadas pela pesquisa. De forma semelhante, o aplicativo proposto pode contribuir para a implementação de políticas públicas relacionadas à sustentabilidade, especialmente no que tange à mudança de hábitos dos residentes das áreas urbanas, à medida que possui questões justamente relacionadas à identificação de hábitos sustentáveis de seus habitantes, além de oferecer *feedbacks* que buscam informar os respondentes quanto a ações que possam gerar maior impacto ambiental.

Como todo aplicativo é e deve ser passível de *upgrades*, futuras outras funcionalidades podem ser implementadas no CVM, no sentido de fortalecer ainda mais as conexões entre as comunidades acadêmicas, civis e governamentais. Da mesma forma, a página da internet exclusiva sobre a pesquisa, disponibilizará dados e informações que podem ser complementados e atualizados conforme tais conexões e necessidades dos diferentes agentes envolvidos se manifestem.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio do CNPq, FAPEMIG e PROGRAD/DIREN/UFU.

---

<sup>10</sup> <https://apodigital.wixsite.com/pesquisa>

## REFERÊNCIAS

- ADESSE, E.; SALGADO, M. S. **Importância do coordenador de projeto na gestão da construção.** In: Seminário Internacional NUTAL, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2006.
- AMBROSE, G.; HARRIS, P. *Layout.* Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BACHELAR, G. **A poética do habitar.** São Paulo: Martins Fontes, 2008.
- BECHTEL, R.; CHURCHMAN, A. (Ed.) *Handbook of Environmental Psychology.* New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001.
- CHANDLER, C.; UNGER, R. *O Guia para Projetar Ux: a experiência do usuário (UX) para projetistas de conteúdo digital, aplicações e web sites.* Rio de Janeiro: Alta Books, 2009.
- CHANDLER, H. **Manual de Produção de Jogos Digitais.** Bookman, 2009.
- COATES, P.; ARAYICI, Y.; OZTURK, Z. **New concepts of Post Occupancy Evaluation (POE) utilizing BIM benchmarking techniques and sensing devices.** In: Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies. Volume 12, 2012, pp 319-329.
- COLE, R. J. Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles. *Building Research & Information*, v. 33, n. 5, 2005, p. 455-467.
- ELALI, G.A.; VELOSO, M. **Avaliação Pós-Ocupação e processo de concepção projetual em arquitetura: Uma relação a ser melhor compreendida.** In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU/FAU-USP/FUPAM, 2006. 1 CD-ROM.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. de C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. M. (orgs.) *O Processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia.* São Paulo: Editora Oficina de Textos / FAPESP, 2011. 504p.
- MALLORY-HILL, S.; PREISER, W.; WATSON, C. **Enhancing building performance.** London: Wiley-Blackwell Press, 2012.
- MELHADO, S. B. **Qualidade e avaliação de desempenho no processo de projeto.** São Paulo, SP. 2004. In: Seminário Internacional NUTAU, São Paulo, 2004. Artigo técnico.
- NIELSEN, J. **Usability Engineering.** Oxford: Academic Press, 1993.
- ONO, R.; ORNSTEIN, S. W.; VILLA, S. B.; FRANÇA, A. J. G. L. (Org.) **Avaliação Pós-Ocupação (APO) na Arquitetura, no Urbanismo e no Design: da Teoria à Prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- ORNSTEIN, S. W.; VILLA, S. B.; ONO, R. **Residential high-rise buildings in São Paulo: aspects related to the adequacy to the occupant's needs.** JOURNAL OF HOUSING AND THE BUILT ENVIRONMENT, p. 10.1007/s10901--1, 2010.
- PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, Helen. **Design de Interação: Além da Interação homem-computador.** Editora Bookman, São Paulo: 2005.
- PREISER, W. F. E.; VISCHER, J. C. (Ed.) **Assessing Building Performance.** Oxford: Elsevier, 2005.
- SARAMAGO, R. C. P.; VILLA, S. B.; SILVA, A. C. **COMO VOCÊ MORA: avaliação da qualidade ambiental de habitações.** In: **ELECS 2017 – IX Encontro Nacional, VII Encontro Latino-Americano, II Encontro Latino-Americano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis,** 2017, SÃO LEOPOLDO / RS. ANAIS do IX Encontro Nacional, VII Encontro Latino-Americano, II Encontro Latino-Americano e Europeu Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Leopoldo / RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Unisinos, 2017. v. 1. p. 153-163.
- SANTAELLA, L. *Matrizes da linguagem e pensamento: sonora visual verbal: aplicações na hiperídia.* São Paulo: FAPESP, 2005.
- SILVA, M. A. C.; SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

SOMMER, B.; SOMMER, R. A practical guide to behavioral research. Tools and Techniques. New York: Oxford University Press. 1997.

VILLA, S. B. **Morar em Apartamentos: a produção dos espaços privados e semi-privados nos apartamentos ofertados pelo mercado imobiliário no século XXI - São Paulo e Ribeirão Preto. Critérios para Avaliação Pós-Ocupação.** 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2008.

VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. (Org.) **Qualidade ambiental na habitação: avaliação pós-ocupação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

VILLA, S. B.; SARAMAGO, R. C. P. **A Qualidade Espacial e Ambiental de Edifícios de Apartamentos em Cidades Médias.** In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 3., São Paulo, 2014. Anais... São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014.

VILLA, S. B.; SILVA, L. A. Avaliando a qualidade espacial e o modo de vida em edifícios de apartamentos: o caso do Edifício Ouro Preto em Uberlândia. In: SALGADO, M. S.; et al. (Org.). **Projetos Complexos e seus Impactos na Cidade e na Paisagem.** 1ed. Rio de Janeiro: UFRJ/PROARQ; ANTAC. v. 1, 2012, p. 1-240.

VILLA, S. B.; LEMOS, S. M.; SALUSTIANO, L. R.; RIBEIRO, G. P. N.; RIBEIRO, R. A. Avaliando a qualidade de apartamentos: o uso da tecnologia e de interfaces digitais para análises pós-ocupacionais. In: 3º CHIEL – Congresso Internacional de Habitação no Espaço Lusófono, 2015, São Paulo. Anais do 3º CHIEL – Congresso Internacional de Habitação no Espaço Lusófono. São Paulo: FAU-USP, 2015a.

VILLA, S. B.; LIMA, M. A. V.; GARREFA, F.; LEMOS, S. M. Post-Occupancy Evaluation of Apartments: The Use of Technology and Digital Interfaces to Amplify its Efficiency. In: Architecture and Resilience on a Human Scale Conference 2015, 2015, Sheffield – Reino Unido. Architecture and Resilience on a Human Scale Conference 2015, 2015b.5.

VOORDT, T. J. M. V.; WEGEN, H. B.R. Arquitetura sob o olhar do usuário: programa de necessidades, projeto e avaliação de edificações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos** / Robert K. Yin; tradução Ana Thorell; revisão técnica Cláudio Damacena. - 4. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2010. 248 p.; 23cm.

ZANDONÁ, D. **Testes de Usabilidade.** 2017. Disponível em: <<https://pt.sli-deshare.net/DanieleZ/testes-de-usabilidade-77273046>>. Acesso em: set. 2018.

ZICHERMANN, G.; CUNNINGHAM, C. Gamification by design. implementing game mechanics in web and mobile apps. Canada: O'Reilly Media, 2011.

# TECNOLOGIAS ASSISTIVAS DESTINADAS À ORIENTAÇÃO ESPACIAL, IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS E GUIAMENTO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

ARTIGO

## ASSISTIVE TECHNOLOGIES FOR PERCEPTION AND SPACE ORIENTATION OF PEOPLE WITH VISUAL DISABILITY

Bianca Maria Vasconcelos<sup>1</sup>, Bruno de Sousa Teti<sup>1</sup>, Amanda de Moraes Alves Figueira<sup>1</sup>, Lorena Maria da Silva Gonçalves<sup>1</sup>

**RESUMO:** Estima-se que 1,3 bilhão de pessoas no mundo vivem com algum tipo de deficiência visual, o qual interfere diretamente na percepção espacial do ambiente, impactando na orientação espacial e na autonomia do indivíduo, e conseqüentemente, condicionando as formas de deslocamento. Tendo em vista o número de pessoas com deficiência visual e a falta de implementação de Tecnologias Assistivas (TA) de forma massificada, pode-se afirmar, que há uma considerável quantidade de indivíduos com dificuldades de orientação espacial, e conseqüente comprometimento de locomoção no percurso almejado, devido a obstáculos impostos pela sociedade. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar as ferramentas existentes, as chamadas tecnologias assistivas, que auxiliam na orientação espacial, assim como na identificação de obstáculos e no guiamento no caminho desejado, tanto em áreas internas, como em áreas externas às edificações. A metodologia seguiu as orientações dos Itens de Relatório Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA) utilizando palavras-chave em concordância com o descritor booleano “AND”, como: blind; wayfinding; accessibility; visual impairment e assistive technology. Inicialmente foram encontrados 1938 artigos, porém com a aplicação dos filtros restaram 34 artigos para leitura completa. Após a leitura completa, 20 artigos foram incluídos para análise detalhada. Verificou-se que existem quatro tipos de TA sendo continuamente investigadas e aprimoradas: aplicativos, mapa tátil, piso tátil e cinto vibro tátil. Dessas, 75% das tecnologias se concentram em aplicativos voltados para orientação espacial, tendo como resposta a orientação espacial e/ou a redução considerável do percurso traçado, e conseqüentemente, no tempo estimado. Por fim, foi possível inferir que os aplicativos são as TA mais utilizadas atualmente, contudo, a ausência de uma tecnologia que funcione, simultaneamente, em ambientes internos e externos é um fato que ainda causa limitações para a autonomia nos deslocamentos das Pessoas com Deficiência (PcD) visual.

**ABSTRACT:** It is estimated that 1.3 billion people worldwide live with some form of visual impairment, which directly interferes with the spatial perception of the environment. This impacts on the spatial orientation and autonomy of the individual, conditioning the forms of displacement. Given the number of visually impaired people and the lack of implementation of assistive technologies (AT) in a mass form, it can be stated that there are a considerable number of individuals with difficulties in spatial orientation, and consequent impairment of locomotion in the course. Due to obstacles imposed by society. In this context, the objective of this study was to analyze the existing tools, the so-called assistive technologies, which aid in spatial orientation, as well as in identifying obstacles and guiding the desired path, both indoors and outside the buildings. The methodology followed the guidelines of the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) using keywords in accordance with the boolean descriptor “AND”, such as: blind; wayfinding; accessibility; visual impairment and assistive technology. Initially, 1938 articles were found, but with the application of filters, 34 articles remained for complete reading. After the complete reading, 20 articles were included for detailed analysis. It has been found that there are four types of at continually being investigated and improved: applications, touch map, touch floor and tactile belt. Of these, 75% of technologies focus on spatially oriented applications, responding to spatial orientation and / or considerably reducing the plotted path, and hence the estimated time. Finally, it was possible to infer that the applications are the most commonly used at today, however, the absence of a technology that works simultaneously in internal and external environments is a fact that still causes limitations to the autonomy in the displacement of people with disabilities (PcD) visual.

**KEY WORDS** Semantic Enrichment of BIM (SEBIM); Patterns; Visual Programming Language (VPL); Architectural Design; Social Housing

### How to cite this article:

VASCONCELOS, B. M.; TETI, B. S.; FIGUEIRA, A. M. A.; GONÇALVES, L. M. S. Tecnologias assistivas destinadas à orientação espacial, identificação de obstáculos e guiamento de pessoas com deficiência visual. *Gestão e Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v.15, n. 2, p.52-68, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.161697>

<sup>1</sup>Universidade de Pernambuco

### Fonte de Financiamento:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

### Agência de Fomento:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

**Conflito de Interesse:** Não há

**Submetido em:** 30/08/2019

**Aceito em:** 26/01/2020



## INTRODUÇÃO

De acordo com dados do informativo da Organização Mundial da Saúde (2018), estima-se que 1,3 bilhão de pessoas no mundo vivem com algum tipo de deficiência visual. No Brasil, é considerada uma pessoa com deficiência visual, quando possui cegueira ou baixa visão ou visão subnormal. Entende-se baixa visão ou visão subnormal, “[...] quando o valor da acuidade visual corrigida no melhor olho é menor do que 0,3 e maior ou igual a 0,05 ou seu campo visual é menor do que 20% no melhor olho com a melhor correção óptica” (BRASIL, 2008). No âmbito nacional, segundo os dados do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 23,9% da população brasileira tem algum tipo de deficiência (visual, auditiva, motora, mental ou intelectual), sendo 18,6% com deficiência visual.

Contudo, o IBGE (2010) informa que o grande número de pessoas com deficiência tem relação com o fato, de que o processo de pesquisa leva em consideração as auto declarações. Estima-se que 528.624 pessoas são incapazes de enxergar, 6.056.654 pessoas estão dentro da definição de cegueira e baixa visão, e 29.000.000 são pessoas que declaram possuir alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes.

O percentual de pessoas com algum tipo de deficiência visual no Brasil é um número preocupante, quando se percebe que o país, de forma geral, não evidencia um planejamento adequado, seja em edifícios, vias, acessos e mobiliários urbanos, para que pessoas com qualquer tipo de deficiência possam sair na rua com segurança e autonomia (BRASIL, 2012a). Essa dificuldade de locomoção diária obstaculiza o indivíduo de exercer o seu direito de trabalhar, descumprindo assim a garantia da Carta Magna de 1988, em que define no seu artigo 6º o trabalho como um direito social do homem (CECHINEL et al., 2017).

Em janeiro de 2012 no Brasil, entrou em vigor a Lei 12.587 estabelecendo a Política Nacional de Mobilidade e criou o Sistema Nacional de Mobilidade Urbana, com o objetivo de organizar os modos de transporte, a infraestrutura e os serviços que garantam o deslocamento de pessoas e cargas nos territórios dos municípios, demandando que estes elaborem seu Plano Municipal de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012b). Deve-se ressaltar, que no processo de implementação da mobilidade urbana sustentável, é imprescindível a participação de todas as pessoas, inclusive daquelas que possuem deficiência, pois, a mobilidade e a capacidade de ir e vir são fundamentais para a identidade das pessoas, suas experiências de vida e oportunidades (BARBOSA, 2016).

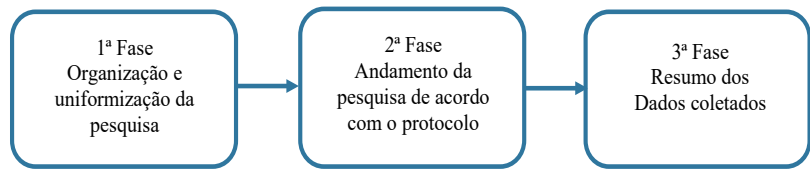
Nesse sentido, como forma de direcionar a sociedade acadêmica para desenvolver tecnologias inclusivas e integradas, e entendendo a necessidade da inserção das Pessoas com Deficiência Visual – PcD visual na sociedade, este estudo teve como objetivo, analisar as características das Tecnologias Assistivas (TA) destinadas a orientar, identificar as barreiras e guiar usuários com deficiência visual no caminho desejado, em áreas internas e externas às edificações.

## METODOLOGIA

Para Munzlinger, Narcizo e Queiroz (2012), a revisão sistemática é uma atividade de execução sequencial que possui um objetivo final, tendo suas etapas apresentadas na Figura 1.

**Figura 1:** Fases de uma revisão sistemática.

**Fonte:** Adaptado de Munlinger, Narcizo e Queiroz, (2012).



Para planejamento da presente pesquisa, no que diz respeito às definições do objetivo, dos aspectos a serem abordados e das palavras-chave, foram analisados primeiramente, alguns estudos referentes ao tema (BARBOSA; ORNSTEIN, 2014; CARATTIN et al., 2016; E. CARDOSO, 2010; MONTEIRO, 2004). Em seguida, de acordo com essa análise, foi criado o Quadro 1 com o resumo do protocolo da pesquisa.

Item	Conteúdo
Objetivos	Analisar as, tecnologias assistivas (TA) existentes, que proporcionam a orientação espacial, assim como a identificação de obstáculos e o guiamento no caminho desejado, em áreas internas e externas às edificações.
Resultados	Encontrar quais são as tecnologias existentes e quais barreiras que impedem o seu uso integral
Palavras-chave	<i>Disability; blind; wayfinding; accessibility; visual impairment, assistive technology,/// technology, obstacle.</i>
Idioma	Inglês, Português e Espanhol.
Base de dados	Scopus, CAPES.
Critérios de inclusão	Tempo de publicação: 2009 – 2018; Idiomas: Inglês, Português, Espanhol; Áreas de conhecimento: Construção Civil, Acessibilidade; Temática: Tecnologias assistivas voltadas para pessoas com deficiência visual;
Critérios de exclusão	Abordagem: Tecnologias assistivas que não avaliavam a orientação das pessoas com deficiência e/ou a detecção dos obstáculos e guiamento nos percursos rotas de ambientes.
Questões de pesquisa	* Quais as tecnologias assistivas voltadas para a pessoa com deficiência visual mais estudadas? * Quais os aplicativos que estão sendo desenvolvidos e/ou utilizados para a orientação, detecção de obstáculos e guiamento da pessoa com deficiência visual? * Quais são as principais dificuldades enfrentadas pela pessoa com deficiência visual nos deslocamentos realizados no cotidiano?

**Quadro 1:** Protocolo da pesquisa.

**Fonte:** Os autores.

Após a identificação e definição das palavras-chave no estudo primário, pesquisas na literatura foram realizadas para encontrar documentos de periódicos relevantes acerca da orientação espacial, identificação de obstáculos e guiamento nos percursos e rotas a serem percorridos por pessoas com deficiência visual. A metodologia, exploratória bibliográfica, utilizada para a realização dessa pesquisa seguiu as orientações dos Itens de Relatório Preferidos para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA) (LIBERATI et al., 2009).

Inicialmente foram realizadas buscas no Portal de Periódicos CAPES, sendo utilizada a opção de pesquisa avançada, onde todas as palavras-chave foram combinadas entre si e foi selecionado a opção de pesquisa das palavras que contém “no título” e “no assunto”, e o descritor booleano “AND”. Por fim, na seleção dos artigos, foram consideradas todas as bases de dados indexadas no portal, destacando-se *Scopus*, *SciELO (CrossRef)*, *MEDLINE/PubMed (NLM)*, *Web of Science*, *Web of Knowledge* e *Science Direct*.

No intuito de garantir a abrangência do estudo, optou-se utilizar a Scopus, por contemplar um maior número de revistas indexadas, devido a possibilidade de selecionar campos de pesquisa diferentes do Portal de Periódicos CAPES. Para realização da pesquisa, foi empregada as mesmas com-



binações das palavras-chave e foram utilizados os campos de busca “*Article Title*”, “*Abstract*” e “*Keywords*”, combinado com o descritor booleano “*AND*”.

Como critérios de inclusão, foram utilizados os artigos publicados nos últimos 10 anos, e nos idiomas inglês, português e espanhol. Entendendo que os artigos publicados em revistas indexadas devem possuir, pelo menos, título, resumo e palavras-chave em inglês, foram utilizadas palavras-chaves em inglês na busca de artigos.

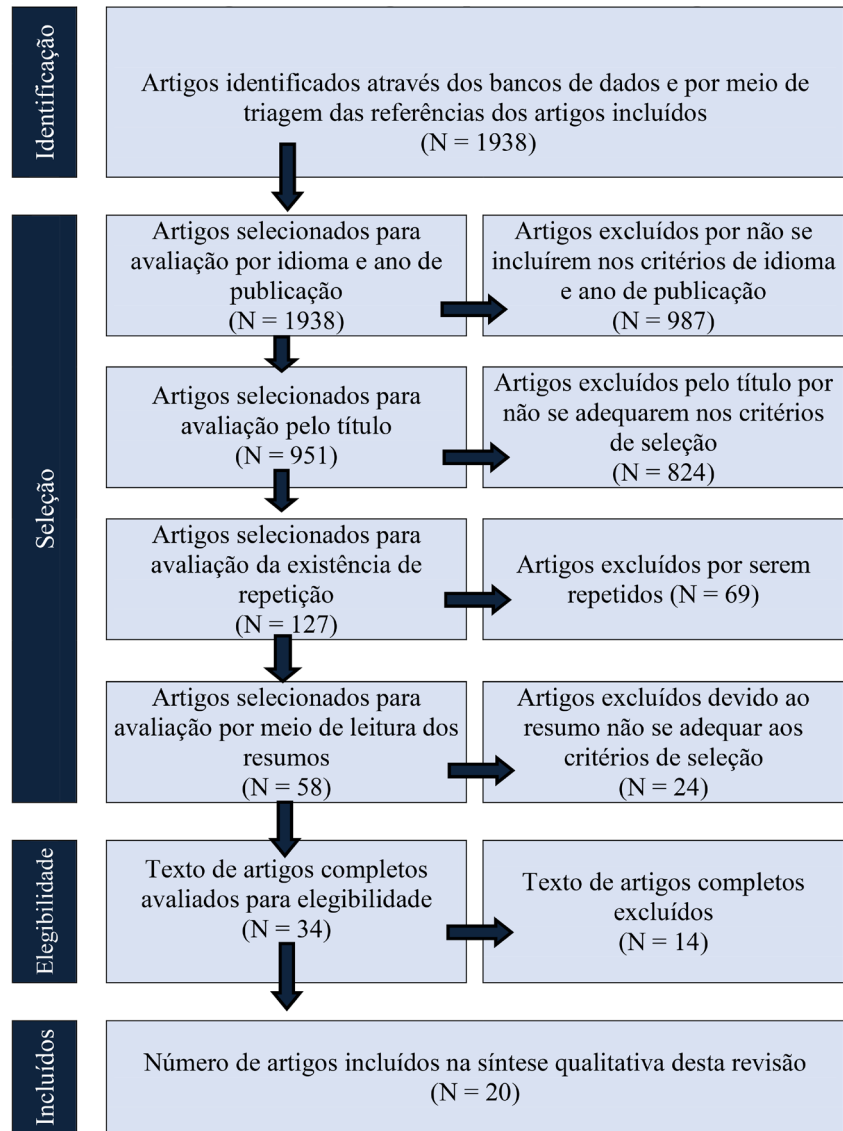
Foram incluídos artigos vinculados às áreas de Construção Civil e Acessibilidade, o que conseqüentemente, relaciona à subárea da Acessibilidade física e informacional, e que tratavam de tecnologias assistivas voltadas, exclusivamente, para pessoas com deficiência visual. Para os critérios de exclusão, os artigos que não abordavam o uso de tecnologia assistiva para orientação espacial, identificação das barreiras e guiamento em percursos e rotas de usuários não foram adotados.

O processo de seleção foi ilustrado por um fluxograma que mostra as etapas de seleção dos artigos. Após aplicação dos filtros e critérios, foram analisados os artigos de forma quantitativa, em relação ao ano e país de publicação, a nacionalidade de cada autor envolvido na publicação, e as palavras-chaves mais recorrentes. Posteriormente, foi feita a análise qualitativa de forma tal que foram examinadas as características físicas dos ambientes vinculados aos estudos (se área interna ou externa); as tipologias e funcionalidades das tecnologias assistivas contempladas nos estudos, as características das tecnologias assistivas estudadas; e, os resultados e as avaliações das tecnologias experimentadas.

## RESULTADOS

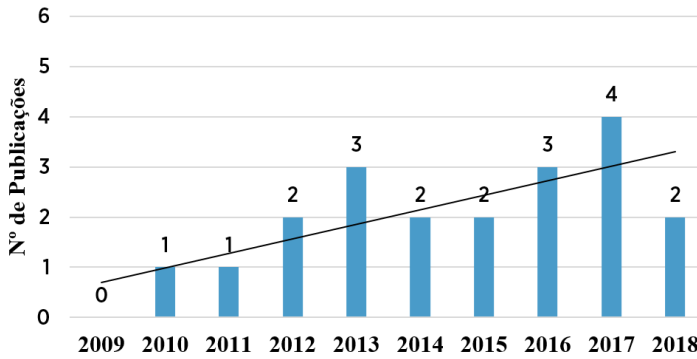
Inicialmente, com a combinação de palavras-chave pré-estabelecidas, foram encontrados 1938 artigos, distribuídos nas bases de dados e nas referências dos artigos selecionados para análise, após a triagem. Dando continuidade ao processo de seleção, foram inseridos os critérios de ano (2009 a 2018) e idioma (português, inglês e espanhol), tendo o número de artigos reduzido para 951. Posteriormente, a seleção foi feita através da leitura dos títulos (excluídos 824) e repetições (excluídos 69), restando 58 trabalhos. Em seguida, foi feita a leitura dos resumos (excluídos 24) e a leitura completa para inclusão dos estudos (excluídos 14). Por fim, com os critérios adotados, foram incluídos 20 artigos para análise dessa revisão. O processo de seleção dos artigos está ilustrado no Fluxograma da Figura 2.

**Figura 2:** Fluxograma para seleção dos artigos.



## ANÁLISE QUANTITATIVA

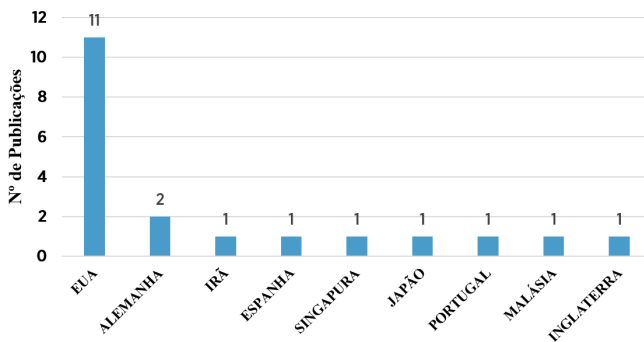
Para realização dessa análise foram investigados quatro parâmetros que caracterizam o estudo desenvolvido: a classificação dos artigos por ano de publicação; a classificação dos artigos por país de publicação; a classificação dos artigos em relação a nacionalidade dos autores; e a recorrência das palavras-chave encontradas nos trabalhos incluídos para meta-análise. Desta forma, serão apresentados por meio de Gráficos, os dados encontrados. O Gráfico 1 ilustra o quantitativo de publicações de acordo com os critérios de inclusão.



**Gráfico 1:** Número de publicações por ano.

**Fonte:** Os autores.

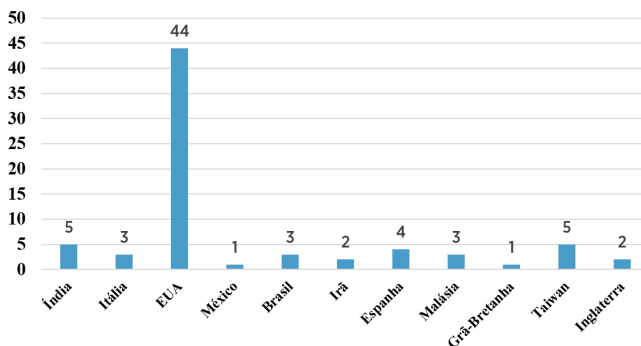
É possível perceber que, do ano 2010 até 2018, houve um crescimento nas publicações de artigos relacionados ao tema. Destaca-se o ano de 2017 como o período de maior produção (4 artigos), chegando a quadruplicar em relação ao ano de 2010. O Gráfico 1 pode indicar uma recente utilização de tecnologia assistiva voltada para PcD visual, com ênfase na orientação espacial, identificação de obstáculos e guiamento de percursos e rotas, resultando o escasso número de publicações no ano anterior. O Gráfico 2 ilustra o número de publicações que cada país obteve entre os anos de 2009 e 2018, esses dados reafirmam a preocupação e interesse de cada nação com o tema estudado nesse trabalho.



**Gráfico 2:** Número de publicações por país.

**Fonte:** Os autores.

De acordo com o Gráfico 2, os Estados Unidos foi a nação com maior número de publicações, representando 55% do total. Em segundo lugar, encontra-se a Alemanha com apenas 10% e os demais países encontrados, com apenas 1 publicação cada. O Gráfico 3 revela a quantidade de autores que cada país possui.



**Gráfico 3:** País de origem das instituições que os autores estão vinculados.

**Fonte:** Os autores.



aos quesitos de orientação, identificação e guiamento; o local do experimento, apresentando onde foram executados os testes, em ambiente interno e/ou externo; e as tecnologias assistivas testadas para alcançar o fim desejado.

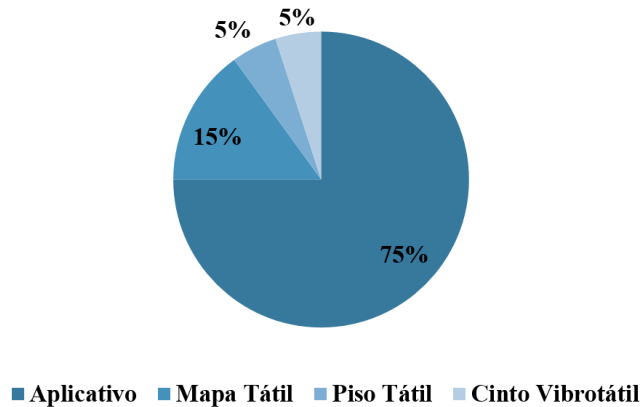
**Quadro 3:** Características dos estudos analisados.

Nº	Estudo	Objetivo	Local do experimento	Tecnologia Assistiva
01.	OLIVEIRA; DORO; OKIMOTO, 2018.	Investigar a produção acessível de produtos de auxílio tátil de baixo custo, a fim de avaliar a experiência do usuário e as práticas de pessoas com deficiência visual relacionada a percepção.	Área interna	Mapa tátil 2D e 3D
02.	LI, 2018.	Apresentação de um sistema de navegação assistiva móvel para ajudar pessoas com deficiência visual.	Área interna	Aplicativo (Sistema <i>INSANA</i> )
03.	CHERAGUI; NAMBOODIRI; WALKER, 2017.	Avaliar o sistema de orientação de locais internos usando <i>beacons</i> implantados em espaços internos.	Área interna	Aplicativo (Sistema <i>GuideBeacon</i> )
04.	HUANG, 2017.	Gerar automaticamente um projeto de wayfinding para um layout diferente.	Área interna	Aplicativo ( <i>Way to GO</i> )
05.	RAFIAN; LEGGE, 2017.	Determinar se estimativas precisas de localização interna podem ser obtidas a partir de fotos tiradas por um pedestre com deficiência visual, usando a assistência humana remota e de <i>crowdsourcing</i> .	Área interna	Aplicativo (Sistema de navegação para smartphone)
06.	TAO et al., 2017.	Validar as ferramentas de instruções de navegação para PcD visual.	Área interna	Aplicativo ( <i>PERCEPT</i> )
07.	HAMID, et al., 2016.	Investigar técnicas atuais de aprendizagem de wayfinding para pessoas na Malásia.	Área interna/externa	Mapa tátil e auditivo
08.	SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016.	Relatar os resultados de uma pesquisa sobre o parâmetro “contraste acústico” entre o funcionamento dos materiais de pavimentação e o funcionamento da superfície adjacente como pano de fundo.	Área externa	Piso tátil
09.	ZHANG; YE, 2016.	Avaliar a tecnologia assistiva <i>Pose Estimation</i> para localizar o usuário em uma planta baixa e orienta-lo para o destino.	Área interna	Aplicativo (Smartphone)
10.	BARATI; DELAVA, 2015.	Guiar o cego para o reconhecimento de obstáculos e o projeto de implementação de um sistema de sensores móveis de navegação e orientação.	Área externa	Aplicativo (Smartphone)
11.	FLORES, et al., 2015.	Propor uma tecnologia chamada vibrotátil na forma de um cinto para guiar os andadores cegos.	Área interna	Cinto vibrotátil
12.	FLORES et al., 2014.	Rastrear novamente o caminho percorrido, construir e caminhar em segurança de volta ao ponto de partida.	Área interna	Aplicativo (Sistema <i>CMAAttitude</i> )
13.	WANG et al., 2014.	Desenvolver uma tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual que vai além da “substituição da bengala”, através de um auxílio computacional de navegação.	Área interna/externa	Aplicativo (Computador)
14.	JAIN et al., 2013.	Implementar um sistema de navegação interna portátil e autônomo atualmente implantado em um prédio universitário.	Área interna	Aplicativo (Smartphone)
15.	LEGGE et al., 2013.	Implantar um sistema de localização espacial interior que proporcione as PcD visual a se locomover identificando obstáculos e se orientando espacialmente.	Área interna	Aplicativo (Smartphone)
16.	LOELIGER; STOCKMAN, 2013.	Avaliar um sistema de mapa de áudio interativo.	Área externa	Aplicativo (Computador)
17.	GUAL et al., 2012.	Avaliar a utilidade e efetividade de mapas táteis, produzidos com impressão 3D.	Área externa	Mapa Tátil 3D
18.	MANDUCHI, 2012.	Avaliar como um cego interage com um sistema de visão móvel para tarefas de descoberta e orientação.	Área interna	Aplicativo (Smartphone)

Nº	Estudo	Objetivo	Local do experimento	Tecnologia Assistiva
19.	COUGHLAN; MANDUCHI, 2011.	Validar a eficácia dos marcadores de cor para rotular locais específicos e investigar diferentes estratégias de busca para detecção de marcadores.	Área interna/externa	Aplicativo (Smartphone)
20.	MANDUCHI; KURNIAWAN; BAGHERINIA, 2010.	Avaliar um sistema que usa marcadores de cor especiais, colocados em locais-chave no ambiente, que podem ser detectados por um telefone com câmera comum.	Área interna	Aplicativo (Smartphone)

De acordo com o Quadro 3, verifica-se que 100% dos trabalhos se propôs a avaliar o uso das tecnologias como forma de orientação espacial e/ou detecção dos obstáculos e guiamento em percursos e rotas. Constatou-se também, que em 65% dos estudos, foi dado ênfase na análise em desenvolvimento e aplicação de TA em ambientes internos. Tal fato deve-se a grande dificuldade de implementar um sistema que gere liberdade e autonomia para as pessoas com deficiência, devido à complexidade e mutação do ambiente externo. O Gráfico 4 ilustra quantitativamente, os tipos de TA avaliadas nesse estudo, no período entre 2009 e 2018.

**Gráfico 4** - Utilização das TA nos experimentos analisados.



No Gráfico 4, observa-se o destaque para os aplicativos e sistemas para smartphones, tablets e computadores, sendo idealizados para promover maior liberdade e autonomia ao usuário, seja em ambientes internos ou externos (CHERAGHI; NAMBOODIRI; WALKER, 2017; FLORES et al., 2015; FLORES; MANDUCHI; ZENTENO, 2015; GUAL et al., 2012; HAMID et al., 2017; HUANG et al., 2018; JAIN et al., 2013; LEGGE et al., 2013; LI et al., 2018).

O Quadro 4 apresenta as características das tecnologias assistivas estudadas: descreve as tecnologias assistivas incluídas para o estudo; tipifica a amostra das pesquisas aplicadas, explicitando a quantidade e quem eram os participantes; e fornece os resultados dos testes quanto a sua eficácia, ineficácia e potencial de ser eficaz.

**Quadro 4:** Análise dos testes das Tecnologias Assistivas.

Nº	Tecnologia Assistiva	Objetivo da TA	Características da TA	Amostra	Resultados	Avaliação da TA
01.	Mapa tátil 2D e 3D	Avaliar a percepção dos usuários em relação a orientação	Mapa 2D utilização de relevo tátil de textura; Mapa 3D utilização de Impressora 3D com inserção de QR CODE para recurso auditivo.	1 participante cego	Orientação comprometida foi necessário melhorar cores, contrastes, espessuras e alturas	A TA não se mostrou eficaz para orientação, pois depende da percepção de cada usuário

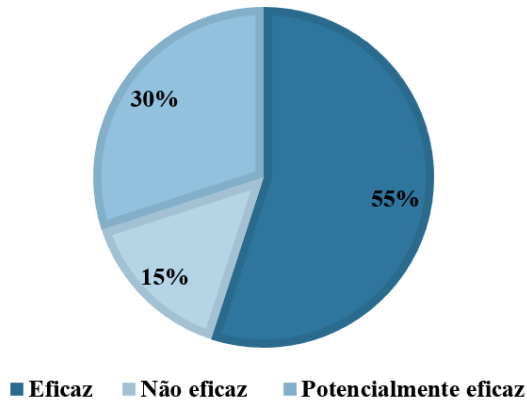


Nº	Tecnologia Assistiva	Objetivo da TA	Características da TA	Amostra	Resultados	Avaliação da TA
02.	Aplicativo (Sistema <i>INSANA</i> )	Orientar e detectar obstáculos para PcD	Smartphone para executar o aplicativo; Câmera do smartphone para detectar movimento; Bengala para vibração (conectada ao aplicativo).	4 participantes estudantes	Diminuição no tempo de viagem, orientação espacial e detecção dos obstáculos	O sistema se mostrou eficaz e pronto para utilização em área interna
03.	Aplicativo (Sistema <i>GuideBeacon</i> )	Guiar as PcD em área internas	Smartphone para executar o aplicativo; Mapas interiores; Sistema Bluetooth para alto-falante.	8 participantes 7 cegos/ 1 visão normal	Tempo/Distância sem TA 308 s/166 passos; Tempo/ Dist. com TA 185 s/54 passos	Necessidade de aperfeiçoamento de acordo com as preferências e características do usuário
04.	Aplicativo ( <i>Way to GO</i> )	Gerar um projeto através da leitura do layout e orientar as PcD	Utilização de computador, com processador intel core i7 de 2GB e 8GB de memória RAM.	160 participantes estudantes	Gerou o projeto do ambiente e 100% dos participantes o destino com menor distância	Sistema mostrou ser eficaz, no entanto não foi analisado com pessoas cumprindo as rotas
05.	Aplicativo (Sistema de navegação para smartphone)	Determinar localização	Smartphone para executar aplicativo; Interface composta por planta baixa e imagens representativas.	34 participantes 5 cegos/ 5 baixa visão/ 24 visão normal	Grupo de cegos 91% de êxito; Grupo de visão normal 97% de êxito	Sistema eficaz, contudo, necessita de pessoas sem deficiência dispostas a ajudar
06.	Aplicativo ( <i>PERCEPT</i> )	Programa teste para guiar AVATAR no caminho	Sensores de rádio frequência; Alto falante do smartphone.	Interface digital	Identificou todos os obstáculos; gerou rotas; não houve desorientação espacial	Avaliação apenas digital, necessário um teste prático
07.	Mapa tátil e auditivo	Auxiliar a percepção da PcD no ambiente	Utilização de material de alto relevo Recurso interativo de voz.	8 participantes: Deficiência visual	Não foi possível ter a percepção do ambiente sem auxílio externo.	O material sem a tecnologia auditiva se mostrou ineficaz, o recurso auditivo auxiliou, mas não resolveu a problemática
08.	Piso tátil	Guiar PcD através de contraste acústico	Material com contraste acústico; Utilização de bengala.	147 participantes: 74 cegos/ 73 baixa visão	Diferença de ruído entre materiais dB= 2,8	Sistema efetivo para ambientes com baixo nível de ruído
09.	Aplicativo (Smartphone)	Determinar localização e orientar destino	Utilização de bengala estendida; Sensores de detecção de obstáculos; Sistema Bluetooth para alto-falante.	7 participantes cegos	100% dos experimentos obtiveram êxito	Sistema de fácil operação, contudo funciona melhor em área externa
10.	Aplicativo (Smartphone)	Guiar as PcD e detectar obstáculos	Sensor ultra-som com detecção de 2cm a 4m; Sistema de informação geoespacial (GIS); Sistema de posicionamento global (GPS)..	15 participantes Cegos	Tempo com TA - 3 min Tempo sem TA - 5 min Detectou 85% dos obstáculos	Reduz tempo de navegação; orienta com precisão e utiliza vibração para comunicação
11.	Cinto vibrotátil	Orientar a PcD para execução das rotas	Motor de vibração; sensores de localização externa; Sistema Bluetooth para alto-falante.	10 participantes cegos	Redução da distância percorrida, média de $\cong$ 50%	Sistema eficaz, obteve redução no percurso, logo o tempo diminuiu
12.	Aplicativo (Sistema <i>CMAttitude</i> )	Guiar a PcD pelo caminho desejado	Smartphone para executar aplicativo; Sistema de detecção de velocidade no calçado; Sistema Bluetooth para alto-falante.	2 participantes cegos	Tempo com TA – 32 s Tempo sem TA – 96 s	O programa se mostra promissor, pois houve redução do percurso e tempo
13.	Aplicativo (Computador)	Melhorar mobilidade da PcD em escadas, faixa de pedestres e sinais de trânsito	Câmera RGB-D, microfone, computador portátil e sistema Bluetooth para alto-falante	Banco de dados	Precisão de detecção: Escadas e f. pedestre (91,14%) Sinal vermelho (92,5%)	Sistema eficaz e independente, contudo, seus equipamentos não são de fácil acesso
14.	Aplicativo (Smartphone)	Orientar as PcD e guiar no percurso	Smartphone para executar aplicativo; Fone de ouvido; Mapa interno.	10 participantes	Tempo com TA – 135 s Tempo sem TA – 200 s	Sistema eficaz, reduziu o tamanho do percurso e consequentemente o tempo
15.	Aplicativo (Smartphone)	Sistema para guiar e detectar obstáculos	Leitor de sensores digitais alcance frontal de 4 m; Sistema Bluetooth para alto-falante; Smartphone para executar aplicativo.	20 participantes 10 cegos/ 10 baixa visão	Identificação dos obstáculos; Coordenadas corretas	Necessidade de integração do sistema para ser mais prático
16.	Aplicativo (Computador)	Orientar a PcD	Sistema que utiliza o computador para encontrar um caminho ou identificar obstáculos.	218 participantes	Aquisição de conhecimentos espaciais e melhoria de orientação através do áudio	Se mostrou eficaz para orientação espacial do usuário. Não guia e não detecta obstáculos

Nº	Tecnologia Assistiva	Objetivo da TA	Características da TA	Amostra	Resultados	Avaliação da TA
17.	Mapa Tátil 3D	Orientar as PcD no ambiente	Impressora 3D; Escala (1:1500).	3 participantes: 1 Visão recuperada e 2 cegos	Não foi possível realizar as atividades sem ajuda	Necessidade de aperfeiçoamento dos cortes do mapa e legenda e treinamento para uso
18.	Aplicativo (Smartphone)	Guiar PcD para detectar obstáculos e orientar-se	Marcadores de cor; Smartphone para leitura dos marcadores; Sistema Bluetooth para alto-falante.	8 participantes cegos	Tempo percorrido diminuiu consideravelmente	Com a inserção da TA, os participantes relataram maior confiança no caminhar
19.	Aplicativo (Smartphone)	Verificar a eficácia dos marcadores de cor	Marcadores de cor; Leitores dos marcadores com alcance de até 6m; Sistema Bluetooth para alto-falante.	4 participantes 2 cegos/ 2 baixa visão	Marcadores reconhecidos (ambiente interno/externo)	Reconhece o local, mas não fornece as direções para locomoção
20.	Aplicativo (Smartphone)	Guiar PcD através da leitura de marcadores de cor	Marcadores com Ø=16 cm; Utilização da câmera do smartphone; Sistema Bluetooth para alto-falante.	3 participantes	1 participante terminou toda a rota	O sistema não se mostrou eficaz, visto que apenas 33% da amostra concluiu o experimento

O Quadro 4 ilustra a essência do estudo proposto, pois fornece os resultados de maneira sucinta e avalia as tecnologias utilizadas em decorrência desses resultados. O Gráfico 5 quantifica a eficácia dos 20 artigos incluídos e investigados.

**Gráfico 5:** Avaliação das tecnologias assistivas.



Verifica-se que 55% dos estudos versam sobre a eficácia das tecnologias em relação aos testes realizados, 15% versam sobre a não eficácia das TA, e 30% versam sobre o potencial das tecnologias se tornarem eficaz, ou seja, foram testadas e apresentaram erros, porém se solucionadas, podem se tornar eficazes.

## DISCUSSÃO

As tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual, quando bem empregadas, dão liberdade e autonomia de escolha, pois, permitem que seus usuários se localizem, identifiquem os obstáculos e saibam caminhar nas rotas que desejam traçar. Contudo, existem dificuldades para implantação de um sistema completo que abranja áreas internas e externas. Para áreas externas existem sistemas, como o *GuideBeacon*, que funcionam e dão liberdade para os seus usuários. Porém, pesquisas relatam que, os maiores empecilhos para a implantação integrada dessas TA encontram-se nas áreas internas, visto que nestes locais a ausência de sinal do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e do Sistema de Informação Geoespacial (GIS) é frequente. Desta forma, os sistemas perdem o posicionamento das PcD visual e a sua base de geração de dados, ficando assim inoperantes (MANDUCHI; KURNIAWAN; BAGHERINIA, 2010; ZHANG; YE, 2016; CHERAGUI; NAM-

BOODIRI; WALKER, 2017; RAFIAN; LEGGE, 2017; LI, 2018).

Sabendo que as tecnologias que necessitam do GPS e do GIS são aplicativos que funcionam em *smartphones* e computadores, existem outras TA que não fazem uso desses aparelhos, podendo assim ser implementadas e utilizadas para suprir as grandes limitações existentes. Como exemplo, o mapa tátil 3D e 2D com auxílio de recursos auditivos, o piso tátil, o cinto vibrotátil, que são recursos destinados ao auxílio na orientação, identificação e guia.

Verificou-se nesta revisão, que esses recursos foram testados, sendo detectadas limitações para o cumprimento completo de seus objetivos, dentre os quais, a falta de capacitação para uso de mapa tátil e piso tátil; e as dificuldades para implantação do cinto vibro tátil em áreas externas. Os assuntos tratados a seguir foram organizados em tópicos, de acordo com cada tecnologia identificada e a sua eficácia em ordem crescente (GUAL, et al., 2012; LOELIGER; STOCKMAN, 2013; FLORES, et al., 2015; FLORES, et al., 2015; NAQUIAH, et al., 2016; SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016; OLIVEIRA; DORO; OKIMOTO, 2018).

## MAPA TÁTIL

Para Gual et al. (2012), o mapa tátil é uma planta que reúne um conjunto de técnicas construtivas que auxilia as pessoas com deficiência visual ou baixa visão sobre o curso de uma rota acessível, de forma a combinar textos em Braille e alto-relevo, e informações não táteis como o contraste de cores e a tipologia utilizada que devem promover a leitura do ambiente com a mínima ou nenhuma interferência de comunicação. Essa TA foi testada em 20% dos trabalhos, com o objetivo de observar a sua aplicabilidade no dia a dia de pessoas com deficiência visual. Verificou-se que 100% das pesquisas tiveram como resultado, a alta ocorrência de dificuldade espacial ou não detecção dos obstáculos, por parte das PcD visual (PCDV) (GUAL et al. 2012; LOELIGER; STOCKMAN, 2013; OLIVEIRA; NAQUIAH et al., 2016; DORO; OKIMOTO, 2018).

Foram estudados três tipos distintos, o mapa tátil 3D, o 2D e o mapa tátil 2D com recursos auditivos. O mapa tátil 3D foi representado com modelos táteis próximos ao escopo e com peças geométricas de maior complexidade. E, por ter na sua constituição um material policrômico, todo o material foi produzido através da impressora 3D. Os estudos resultaram na falta de percepção espacial dos participantes, que não conseguiram se localizar espacialmente. Essa problemática foi originada devido a dois motivos distintos: o primeiro foi a ausência de conhecimento para leitura do mapa, gerando assim a necessidade de fornecer treinamento; e o segundo foi a necessidade do aperfeiçoamento dos cortes dos mapas, das legendas, dos contrastes e das espessuras, pois, a baixa habilidade na leitura do ambiente gera uma maior necessidade na clareza das representações. (GUAL et al. 2012; OLIVEIRA; DORO; OKIMOTO, 2018).

Em relação à usabilidade do mapa tátil 2D e o mapa tátil 2D com recursos auditivos para orientação espacial, o material utilizado para produção do mapa das pesquisas faz uso de alto relevo e alto contraste. Em relação a tecnologia auditiva, foi instalado um *QR code* (código de resposta rápida), que com o auxílio de um leitor com a câmera do *smartphone* localiza a posição da PcD visual, identifica os obstáculos e guia até a rota escolhida. (LOELIGER; STOCKMAN, 2013; OLIVEIRA; DORO; NAQUIAH et al., 2016; OKIMOTO, 2018). Contudo, após a inserção do recurso auditivo, foi diagnosticado o aumento da orientação e da identificação dos obstáculos ao longo do percurso. Apesar da melhoria em termos de posicionamento, essa TA ainda possui limitações, pois, durante o caminho indicado pelo *QR code*, as pesquisas apontaram que o usuário ainda se encontrava inseguro e necessitava de ajuda para concluir o trajeto (LOELIGER; STOCKMAN, 2013; NAQUIAH et al., 2016).

Desta forma, ficou evidente que a utilização do mapa tátil com o objetivo de orientar o usuário, detectar os obstáculos e guia-los até o local desejado, não

mostrou eficácia, pois, 100% dos estudos resultaram na dificuldade espacial e consequente necessidade de auxílio externo para a conclusão da atividade por parte das pessoas com deficiência visual (GUAL et al. 2012; LOELIGER; STOKMAN, 2013; OLIVEIRA; DORO; NAQUIAH et al., 2016; OKIMOTO, 2018).

## PISO TÁTIL E CINTO VIBROTÁTIL

O piso tátil é definido como um revestimento com texturas, cores e formas em alto relevo, que auxiliam as pessoas com deficiência visual no acesso e locomoção em rotas a serem traçadas. Peças diferenciadas são combinadas com a composição local do piso e se destacam com o objetivo de orientar o caminho (SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016). O artigo estudado utilizou um piso com contraste acústico com 147 participantes, sendo 74 cegos e 73 pessoas com baixa visão, a fim de aferir a diferença de ruído entre os planos quando tocados por uma bengala. O experimento aconteceu próximo a um local escolar com pouco ruído externo dos automóveis, e em um momento diferente do horário normal das atividades. Foram colocados quatro tipos de piso de pedras diferentes e solicitado para que os participantes com o auxílio da bengala, executassem o percurso e as identificassem, concomitantemente. O ruído emitido pelo material acústico e pelo pavimento de concreto foram medidos. Como resultado, foi possível obter para o material pedregoso (*porphyry*) uma mudança sonora de 2,8 dB. Uma diferença razoavelmente grande para a percepção auditiva humana, quando baseada na Norma de Higiene Ocupacional 01 (NHO-01), pois, a mesma elucida que a quantidade de decibéis (dB) somada a um determinado nível de pressão sonora que implica na duplicação da dose de exposição é de 3 dB. Isto ocorre devido ao ruído ser medido em uma escala logarítmica.

Contudo, apesar dos resultados serem expressivos para um determinado tipo de material, os autores salientaram que essa TA deve encontrar limitações em relação ao ambiente aberto e que possua elevado nível de ruído, pois esse fator influenciará negativamente na percepção auditiva da pessoa com deficiência visual. Dessa forma, recomenda-se essa TA, preferencialmente, para ambientes internos e silenciosos (SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016). Produzido também para ambientes internos, a tecnologia do cinto vibrotátil foi idealizada e testada com o objetivo de orientar o usuário na realização das rotas desejadas. Esse sistema é composto por um motor de vibração acoplado ao cinto e ligado a sensores de detecção de obstáculos. Esses sensores se comunicam por meio de um sistema *bluetooth* com o cinto, que emitem vibrações de baixa ou alta intensidade de acordo com a proximidade dos obstáculos. Um dos estudos realizou um experimento com 10 pessoas cegas, consistindo na realização de uma rota sem auxílio. Houve, em média, uma redução de 50% no trajeto do percurso realizado (FLORES et al., 2015).

Nesse sentido, acredita-se que o piso tátil e o cinto vibrotátil são tecnologias assistivas apropriadas para a utilização em ambientes internos. O piso tátil fazendo uso de material acústico, apresenta essa especificidade quando há a necessidade de um ambiente mais silencioso. No caso do cinto vibrotátil, há a necessidade de sensores instalados no ambiente para que oriente o usuário de acordo com a proximidade dos obstáculos (FLORES et al., 2015; SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016). Porém, o baixo número de estudos encontrados, em relação a esses tipos de TA, explicitam a necessidade de testes em diversos locais, a fim de permitir uma validação ou diagnóstico preciso sobre essas tecnologias.

## SISTEMAS DE APLICATIVOS PARA SMARTPHONES, TABLETS E COMPUTADORES

Cotidianamente, o avanço tecnológico vem acontecendo com o intuito de proporcionar facilidades e praticidade na vida das pessoas, e isso, con-

sequentemente, se estende para as TA, com a criação de ferramentas que objetivam tornar mais autônoma e segura a vida de pessoas com deficiência. Rafian e Legge (2017) se detiveram a avaliar a ferramenta *crowdsourcing*, em que é criada uma interface digital para que pessoas com saúde visual possam fornecer estimativas de localização precisa do usuário da ferramenta. Esse fornecimento é feito através de imagens, que os voluntários enviam digitalmente, e de forma rápida a resposta de localização e orientação é devolvida como áudio, funcionando portanto, como uma assistência humana remota para navegação interna de pessoas com deficiência visual. Enquanto outras pesquisas, associam os aplicativos às tecnologias assistivas mais conhecidas e comuns, como a bengala, com a detecção de obstáculo transmitida como resposta em forma de sinais vibratórios (LI, 2018).

No que diz respeito à localização do usuário dentro do ambiente onde se pretende navegar, verifica-se o crescimento no número de pesquisas com o uso do GPS, que cumpre o objetivo de localização em conjunto com GIS, que por sua vez, fornece a orientação espacial através dos mapas integrados em sua plataforma (COUGHLAN; MANDUCHI, 2009; GUAL et al., 2012; LOELIGER; STOCKMAN, 2013; WANG et al., 2014; BARATI; DELAVA, 2015; NAQUIAH, et al., 2016; SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016). Contudo, as ferramentas GPS e GIS em áreas internas tornam-se desfavoráveis, devido à ausência e/ou interrupção de sinal. Desse modo, cria-se uma necessidade de implantação de novos dispositivos que orientem os usuários em áreas internas, em que contempla um mapa específico do local (LEGGE et al., 2013; HUANG, 2017; CHERAGUI; NAMBOODIRI; WALKER, 2017; RAFIAN; LEGGE, 2017; LI, 2018).

A mesma limitação é identificada na detecção de obstáculos fazendo uso das tecnologias GPS e GIS, contudo, a utilização de sensores e marcadores de cor são soluções práticas encontradas para solucionar o problema. No que concerne aos sensores, podem ser instalados em áreas de interesse, estrategicamente determinadas, de acordo com o ambiente a ser utilizado, para facilitar a utilização da tecnologia. A comunicação dos sensores é feita através do sistema *Bluetooth*, e geralmente, se conecta a um alto falante de celular ou fone de ouvido para dar a resposta, podendo também ser ligado a bengalas ou cintos vibratórios que aumentam sua intensidade de vibração, de acordo com a proximidade do obstáculo. Quanto aos marcadores de cor, é necessário possuir uma câmera para fazer a leitura. Comumente, as câmeras de *smartphones* são utilizadas juntamente com o aplicativo e após a leitura as informações são processadas pelo programa e transmitidas de acordo com as suas configurações (MANDUCHI; KURNIAWAN; BAGHERINIA, 2010; MANDUCHI, 2012; LEGGE et al., 2013; FLORES et al., 2014; FLORES, et al., 2015; ZHANG; YE, 2016; TAO et al., 2017; LI, 2018).

Após a localização e detecção de obstáculos, sabe-se que a finalidade principal das TA é o guiamento das PcD visual através das rotas desejadas. Para isso, 67% das pesquisas, com foco em aplicativos, criaram sistemas compostos por mapas interiores, sensores ultrassônicos ou de movimento, e marcadores de cor. O objetivo dessa junção foi evitar a desorientação dos usuários e diminuir o percurso, e conseqüentemente, reduzir o tempo de deslocamento. Como resultado, a diminuição do tempo de deslocamento é o fator determinante na eficácia desses aplicativos. Fazendo uso da tecnologia assistiva, o tempo até o usuário chegar ao destino final foi consideravelmente diminuído em todos os estudos avaliados. Contudo, ficou claro que apesar dos esforços para criar uma TA que suprisse a necessidade em áreas internas e externas, os resultados ainda não são satisfatórios, gerando assim, a impossibilidade de utilização de apenas uma TA destinada ao no deslocamento, durante uma rotina diária (COUGHLAN; MANDUCHI, 2009; GUAL et al., 2012; LOELIGER; STOCKMAN, 2013; WANG et al., 2014; BARATI; DELAVA, 2015; NAQUIAH, et al., 2016; SECCHI; LAURIA; CELLAI, 2016; MANDUCHI; KURNIAWAN; BAGHERINIA, 2010; MANDUCHI, 2012; LEGGE et al., 2013; FLORES et al., 2014; FLORES, et al., 2015; ZHANG; YE, 2016; TAO et al., 2017; LI, 2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível afirmar que os aplicativos são as TA que possuem maior êxito no cumprimento dos objetivos deste trabalho, pois, possibilitam a orientação espacial, a detecção dos obstáculos e o guiamento dos usuários nos percursos e rotas desejadas. Utilizadas em 75% dos estudos analisados, as TA gerenciadas por smartphones, tablets e computadores conseguiram reduzir seu tempo de trajeto em até 50%, tendo conseqüentemente reduzido os espaços entre os pontos de partida e chegada, e a dificuldade de orientação espacial. Desta forma, fica claro que o advento da tecnologia possibilita, aos poucos, as pessoas com deficiência visual a ter mais liberdade e autonomia de escolha nos caminhos que desejam percorrer.

Todavia, o uso de forma integrada dessa tecnologia não se mostrou presente, pois, ainda há dificuldades para vencer as áreas internas e externas concomitantemente. Assim, torna-se necessário intensificar os estudos para viabilizar a interação das TA em ambientes internos e externos. Por hora, o caminho imaginável para a resolução deste problema, seria possibilitar o sinal de GPS e GIS por toda a diversidade de ambientes frequentados pelos usuários. Entretanto, torna-se complexo tornar todos os ambientes viavelmente 'plugados'.

No caso do piso tátil e do cinto vibrotátil, tratam-se de tecnologias que necessitam de ambientes com características específicas para o funcionamento, pois, ambos encontram limitações em ambientes externos. Em relação ao piso tátil estudado neste trabalho, a maior barreira se refere ao ruído do ambiente, pois, para perceber as mudanças do ambiente informado pela tecnologia, é necessário ouvir os diferentes sons emitidos pelo toque da bengala na superfície. No tocante ao cinto vibrotátil, sua maior limitação é a necessidade de instalações de sensores por todo o ambiente, dependendo portanto, de locais estáticos para fixação do sensor, impossibilitando seu uso em ambientes externos.

O teste executado em mapa tátil 2D, mapa tátil 2D com recursos auditivos e mapa tátil 3D, mostrou que o acréscimo do áudio torna o equipamento mais atrativo em relação ao seu uso, pois, as instruções através da voz facilitam o entendimento de quem as solicita. Contudo, a utilização do mapa 3D, contrariou as expectativas, mostrando um maior número de dificuldades, devido a necessidade de maior habilidade no manuseio da tecnologia. Desta forma, é possível inferir que o mapa tátil, de uma maneira geral, não fornece a autonomia necessária para que uma pessoa com deficiência visual possa se locomover.

Por fim, os estudos mostraram que existe um caminho a ser seguido para diminuir a segregação existente entre as PcD visual e a liberdade e autonomia de escolha, relativo ao deslocamento de forma segura. O desenvolvimento de tecnologias assistivas está proporcionando às PcD visual, melhorias na sua integração ao ambiente construído, de maneira gradativa. Contudo, apesar de não trabalharem de forma completamente integradas e eficazes, as TA estão amadurecendo e se tornando alternativas para a orientação espacial, detecção de obstáculos e guiamento de pessoas com deficiência visual.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, L. et al. Smart Station: Um Sistema Pervasivo de Notificação em Paradas de Ônibus para Pessoas com Deficiência Visual. **Revista de Informática Aplicada**, v. 12, n. 2, p. 12-19, 2017.
- BARBOSA, A. S. Mobilidade urbana para pessoas com deficiência no Brasil: um estudo em blogs. **Brazilian Journal of Urban Management**, v. 8, n. 1, p. 142-154, 2016.
- BARBOSA, M.B.; ORNSTEIN, S. W. *Wayfinding* e acessibilidade para pessoas com deficiência visual em sistemas metroferroviários. III Encontro da Asso-



ciação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. **Anais...**2014. Acesso em: nov/2018. Disponível: <https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/htm/Artigos/ST/ST-EPC-001-1-BARBOSA.ORNSTEIN.pdf>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3128/2008.PORTARIA Nº 3.128, Redes Estaduais de Atenção à Pessoa com Deficiência Visual. Brasília. Acesso em dez/2018. Disponível em: [http://bvsm.sau.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128\\_24\\_12\\_2008.html](http://bvsm.sau.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html)

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia Assistiva . – Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

BRASIL.Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência / Luiza Maria Borges Oliveira / Secretariade Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) / Coordenação-Geral do Sistemede Informações sobre a Pessoa com Deficiência; Brasília : SDH-PR/SNPD, 2012a.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012b. Brasília: Diário oficial da União. Recuperado em 20 de outubro de 2014, de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm).

CARATTIN, E. et al. Human navigation inside complex buildings : using instructions and maps to reach an area of refuge. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 0349, n. 5, p. 1-14, 2016.

CECHINEL, F. et al. A Dificuldade Encontrada Pelas Pessoas Com Deficiência Para Superar Barreiras E Se Integrar Nas Organizações E Na Sociedade. **Revista Eletrônica em Gestão e Tecnologia**, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2017.

CARDOSO, E.; SILVA, T. L. K. Recursos para Acessibilidade em Sistemas de Comunicação para Usuários com Deficiência. **Design & Tecnologia**, 2010.

LIBERATI, A. et al. Annals of Internal Medicine Academia and Clinic The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, 2009.

LOVATTO, P. A. et al. Meta-análise em pesquisas científicas: enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 7, p. 285-294, 2009.

MONTEIRO, J. L. OS DESAFIOS DOS CEGOS NOS ESPAÇOS SOCIAIS: UM OLHAR SOBRE A ACESSIBILIDADE. IX ANPED SUL. **Anais...**2004.

MUNZLINGER, E.; NARCIZO, F.B.; QUEIROZ, J.E.R. Sistematização de Revisões Bibliográficas em Pesquisas da Área de IHC. **Brazilian Computer Society**, [S.1.], v. 5138, p. 51-54, 2012.

RADABAUGH, M. P. NIDRR's Long Range Plan - Technology for Access and Function Research Section Two: NIDDRResearch Agenda Chapter 5: TECHNOLOGY FOR ACCESS AND FUNCTION -[http://www.ncddr.org/rpp/techaf/lrp\\_ov.html](http://www.ncddr.org/rpp/techaf/lrp_ov.html).

#### REFERÊNCIAS DA METODOLOGIA PRISMA

1. BAGHERINIA, H.; MANDUCHI, R. Robust real-time detection of multi-color markers on a cell phone. **Journal of Real-Time Image Processing**, v. 8, n. 2, p. 207-223, 2011.

2. BARATI, F.; DELAVAR, M. R. Design and development of a mobile sensor based the blind assistance wayfinding system. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 40, n. 1W5, p. 91-96, 2015.

3. CHERAGHI, S. A.; NAMBOODIRI, V.; WALKER, L. GuideBeacon: Beacon-based indoor wayfinding for the blind, visually impaired, and disoriented. **2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom 2017**, p. 121-130, 2017.

4. FLORES, G. et al. Vibrotactile guidance for wayfinding of blind walkers. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 8, n. 3, p. 306-317, 2015.

5. FLORES, G. H.; MANDUCHI, R.; ZENTENO, E. D. Ariadne's thread: Robust turn detection for path back-tracing using the iPhone. **2014 Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service, UPINLBS 2014 - Conference Proceedings**, p. 133-140, 2015.

6. GUAL, J. et al. Discapacidad visual y orientación urbana. Estudio piloto sobre planos táctiles producidos en Impresión 3D. **Psychology**, v. 3, n. 2, p.

239–250, 2012.

7. HAMID, N. N. A. A. et al. Understanding the current learning techniques of wayfinding: A case study at Malaysian association for the Blind (MAB). **Proceedings - 2016 4th International Conference on User Science and Engineering, i-USER 2016**, p. 155–160, 2017.

8. HUANG, H. et al. Automatic Optimization of Wayfinding Design. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 9, p. 2516–2530, 2018.

9. JAIN, D. et al. A path-guided audio based indoor navigation system for persons with visual impairment. **Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13**, p. 1–2, 2013.

10. LEGGE, G. E. et al. Indoor Navigation by People with Visual Impairment Using a Digital Sign System. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, p. 1–15, 2013.

11. LI, B. et al. Vision-based Mobile Indoor Assistive Navigation Aid for Blind People. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, v. 1233, n. c, p. 1–1, 2018.

12. LOELIGER, E.; STOCKMAN, T. Wayfinding without visual cues: Evaluation of an interactive audio map system. **Interacting with Computers**, v. 26, n. 5, p. 403–416, 2014.

13. MANDUCHI, R. Mobile Vision as Assistive Technology for the Blind: An Experimental Study. **Computers Helping People With Special Needs, Pt II**, v. 7383, n. 1, p. 9–16, 2012.

14. MANDUCHI, R.; KURNIAWAN,

S.; BAGHERINIA, H. Blind guidance using mobile computer vision: a usability study. **Proceedings of the 12th ...**, p. 1–3, 2010.

15. OLIVEIRA, S.; DORO, L.; OKIMOTO, M. L. Study and Design of a Tactile Map and a Tactile 3D Model in Brazil: Assistive Technologies for People with Visual Impairment Sabrina. **Advances in Ergonomics in Design**, v. 777, 2018.

16. RAFIAN, P.; LEGGE, G. E. Remote Sighted Assistants for Indoor Location Sensing of Visually Impaired Pedestrians. **ACM Transactions on Applied Perception**, v. 14, n. 3, p. 1–14, 2017.

17. SECCHI, S.; LAURIA, A.; CELLAI, G. Acoustic wayfinding: A method to measure the acoustic contrast of different paving materials for blind people. **Applied Ergonomics**, v. 58, p. 435–445, 2017.

18. TAO, Y. et al. PERCEPT Indoor Wayfinding for Blind and Visually Impaired Users: Navigation Instructions Algorithm and Validation Framework. **Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health**, n. Ict4awe, p. 143–149, 2017.

19. WANG, S. et al. RGB-D image-based detection of stairs, pedestrian crosswalks and traffic signs. **Journal of Visual Communication and Image Representation**, v. 25, n. 2, p. 263–272, 2014.

20. ZHANG, H.; YE, C. An Indoor Wayfinding System Based on Geometric Features Aided Graph SLAM for the Visually Impaired. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 25, n. 9, p. 1592–1604, 2017.

# INTEGRANDO SIMULAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL NO PROCESSO DE PROJETO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DUAS PLATAFORMAS COMPUTACIONAIS

## INTEGRATING DAYLIGHT SIMULATION ON DESIGN PROCESS: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN TWO COMPUTATIONAL PLATFORMS

Marina da Silva Garcia<sup>1</sup>, Roberta Vieira Gonçalves de Souza<sup>1</sup>, Máira Louise Martins<sup>1</sup>, Ana Carolina de Oliveira Veloso<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** Daylighting presents an important role for high performance buildings. Currently, Building Information Modeling (BIM) has excelled in the Architecture and Engineering (A&E) industry as a collaboration and information exchange methodology that generates integrated computational models. Simulation add-ins for BIM tools capable of performing daylighting simulations in a semi-automated way have been developed, thus presenting a more simplified simulation process and favoring the adoption of performance analysis since initial design stages; being a little explored subject. This article aims to investigate the Insight add-in for Revit, focusing on its daylighting features. The workflow, input-output structure and results of Insight dynamic (sDA) and static (illuminance levels) daylighting metrics were analyzed, comparatively to the add-in DIVA-for-Rhino, which simulation engines were considered validated by literature. Simulations on both software used the same model of a reference office space for the city of Belo Horizonte. Results indicate that Insight's favors the daylighting analysis in the initial phases of the design process and allows the verification of code compliances, however determining materials optical properties presents some degree of complexity. Low sensitivity to glasses with low and medium values of light transmittance was noticed in the case study. Evidence of consideration of internal reflections of light rays (ambient bounces) close to 7 may lead to overestimated results in the case of low complexity models. This study intends to contribute to the understanding of the potentials and limitations of both analyzed tools, especially in regard to the specificities of BIM daylight simulation with Insight.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais

**Keywords:** Daylighting simulation. Building Information Modeling. BIM. Insight. DIVA.

**Fonte de Financiamento:**  
Agência de Fomento CAPES e CNPq  
**Conflito de Interesse:**  
Declara não haver  
**Submetido em:** 07/09/2019  
**Aceito em:** 20/02/2020

### How to cite this article:

GARCIA, M. S.; SOUZA, R. V. G.; MARTINS, M. L.; VELOSO, A. C. O. Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v.15, n. 2, p.69-83, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.161997>



## INTRODUCTION

Daylighting is considered as the best lighting option for human comfort and possesses an important role for the performance of biological functions (ALRUBAIIH et al., 2013). The efficient use of daylighting can reduce the need for artificial lighting, which accounts for around 20% of the world's energy consumption in buildings (SANTOS; AUER; SOUZA, 2017). Therefore, daylighting predictions in architecture can contribute both to internal environment quality and to the optimization of energy use.

Lately, there has been an effort to integrate modeling and simulation tools, with tools such as the DIVA-for-Rhino (DIVA) (JAKUBIEC; REINHART, 2011), an add-in that integrates Radiance and Daysim calculation models into Rhinoceros (MCNEEL AND ASSOCIATES, 2018). Parallel to this scenario, the use of Building Information Modeling (BIM), a collaboration and information exchange methodology that generates integrated computational models, has excelled in the architecture, engineering and construction (AEC) industry (GHAFARIANHOSEINI et al., 2017). The concept of BIM arose in the mid-2000s (EASTMAN et al., 2011) and recently, some BIM platform software has implemented add-in tools that provide the possibility to perform building performance analysis within the modeling program interface. In the area of daylighting, tools like Sefaria, Elumtools and Insight 360, are add-ins that can link Revit (a BIM software developed by Autodesk) with daylighting simulation cores (MIRI; ASHTARI, 2019). Specifically, the Web-based tool Insight 360 for Revit was developed in 2015 (GHOBAD; GLUMAC, 2018).

The tool was developed to be used by non-experts professionals (AUTODESK, 2015) and its daylighting engines validation in comparison with Radiance and measured data have been discussed by Dunn et al. (2015). However, despite the wide use of BIM, there is still little research on the usability of Insight 360 (GARCIA et al., 2018 and GHOBAD; GLUMAC, 2018).

This paper then aims to conduct a comparative analysis about the usability of daylight simulations through Insight 360 and DIVA, to verify the main advantages and limits of their use on the architectural professional practice.

## THEORETICAL FOUNDATION

### BIM and computational simulations for building performance

Ghaffarianhoseini et al. (2017) define BIM as a set of activities based on a computerized object, in which it is possible to work with three-dimensional building representation, on both geometric and non-geometric terms (functional, quantitative and financial); and their relationships.

Different work emphasize the use of BIM tools for simulating building sustainability analysis and they often point out that there is a need to improve the interoperability among BIM platform software and Building Performance Simulation (BPS) tools (CHONG; LEE; WANG, 2017, GERRISH et al., 2017 and NIZAM; ZHANG; TIAN, 2018). The integration between BIM and BPS models is currently addressed in two formats: Industry Foundation Classes (IFC) and Green Building Extensible Markup Language (gbXML). Although these formats are being used by the AEC industry, the IFC scheme can generate loss of specific information and the gbXML has an inability to read complex geometries (ARAYICI et al., 2018). The IFC and gbXML files are usually read by energy analysis software, that works with Thermal Zones which are defined by one-layer surfaces. So, when simulating the energy performance of a BIM based model, users usually need to remodel or simplify the 3D model (MIRI; ASHTARI, 2019). Additionally, there is a problem related to the lack of open-data schemes for performance simulation software (CHONG; LEE; WANG, 2017). The low interoperability between BIM and BPS tools discourage the early collaboration between stakeholders for the development of performance based designs (ARAYICI et al., 2018).

One existing alternative for that obstacle is the implementation of add-ins with simulation engines into BIM platform software, which can contribute to the generation of semi-automated analysis, favoring the early adoption of building environmental analysis on the design process (ELEFThERiADiS; MUMOVIC; GREENING, 2017). The add-in tools provide performance feedback directly into the modeling interface and may favor the faster evaluation of multiple design alternatives (NEGENDAHL, 2015), mitigating the difficulties of the usual practice, where adjustments in projects entail the need to manually change analysis models, requiring time for revisions and interrupting the design process (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2016 and CHENG et al., 2018).

## Daylighting simulation: summary of principles, main metrics and software

Lighting incidence and distribution in internal environments depends on different design factors such as length, depth and orientation of rooms, openings, surface reflectivity, glass visible light transmittance, among others (GUIDI et al., 2018 and LEE; BOUBEKRI; LIANG, 2019). Daylighting computational simulations require information about buildings geometry and prevailing sky conditions. They use a simulation algorithm or method to calculate sky luminance and interior and exterior illuminance levels (REINHART, 2011).

The metrics used to evaluate daylighting performance can be divided into static and dynamic. The most usual static metric is the illuminance (lux), considered by standards such as the Brazilian NBR 15575-1 devoted to residential buildings (ABNT, 2013). Among the dynamic metrics, UDI (Useful Daylight Illuminance) and Spatial Daylight Autonomy ( $sDA_{300,50\%}$ ) are considered the most relevant. UDI evaluates useful illumination in rooms, in which the minimum and maximum limits were initially 100lx to 2,000lx and later defined between 100lx and 3,000lx (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).  $sDA_{300,50\%}$  refers to the percentage of a room area that exceeds the minimum illuminance value of 300lx in 50% of occupancy hours throughout the year (from 8am to 6pm) (IES, 2012), being considered in LEED certification (USGBC, 2018).

Daylighting simulators community recognizes Radiance as the main software, given its wide validation against measured data considering different sky conditions and model complexities (REINHART; BRETON, 2009). Radiance uses backward ray tracing as simulation method and simulates daylighting under one sky condition at a time. In order to perform climate based (dynamic) simulations, Reinhart and Walkenhorst (2001) developed Daysim: a Radiance based software, also widely used and validated against measured data (REINHART; BRETON, 2009).

DIVA integrates Radiance and Daysim with Rhinoceros and was initially developed by the Graduate School of Design at Harvard University between 2009 and 2011 for daylighting analysis (GHOBAD; GLUMAC, 2018). In recent times, different researches have used DIVA for daylighting, thermal and energy consumption studies (FONSECA; PEREIRA, 2017 and CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018).

In the BIM context, Insight 360 uses the Lighting Analysis for Revit (LAR) as the simulation engine, which uses the A360 (Autodesk's cloud rendering service) to process the calculations. Simulations are performed with the Multidimensional Lightcuts algorithm, with confidential and patented adjustments, along with bidirectional ray tracing light modeling technique. Simulations are free for Autodesk user who have educational accounts and for other users it is necessary to buy cloud credits (AUTODESK, 2017b and GHOBAD; GLUMAC, 2018).

Comparative studies of workflows between different daylighting simulation software including Insight 360 and DIVA mention Insight 360 main pros: its user-friendly interface, the automation of the analysis model creation and quick single-point daylighting analysis; being considered relevant for preliminary design solution analysis. As Insight 360s main cons are the restriction of available analysis types, the minor control over calculation parameters when compared to DIVA and the lack of integration between day-

lighting and energy simulations (STOUTZ; CLARO, 2017, GARCIA et al., 2018 and GHOBAD; GLUMAC, 2018). Previous work, however, did not compare the input/output structure in detail, neither the sensibility in results when design parameters are altered in the design process - aspects for which the present work aims to contribute.

## METHODOLOGY

The methodology of the present work consisted in the exploratory study of the daylighting performance simulation with Insight 360, considering its use by architects in their professional practice. DIVA was considered to be a reference in this study due to the validation of its simulation engines (Radiance and Daysim) reported in the work of Reinhart and Breton (2009) and Reinhart and Anderson (2006), and to its broad use on academic research.

Daylighting simulations with Insight 360 (version 3.0.0.1 for Revit 2018) and DIVA (version 4.0 for Rhinoceros 5.0) involved 40 simulations in three steps: 1 - preliminary simulations were performed to investigate the input/output structure and simulation processes of both software. 2 - results of Insight 360 were compared to the ones of DIVA for static (illuminance levels) and dynamic ( $sDA_{300,50\%}$ ) metrics with the variation of parameters one-at-a-time. The varied parameters were: sky type, room depth, glass visual transmittance and wall reflectance. 3 - verification of how many ambient bounces (Ab) are used in Insight 360 for the simulations as it is not possible to specify this parameter in the add-in. The third step then evaluated Insight 360 responses of  $sDA_{300,50\%}$  against different Ab values in DIVA.

Simulations were made for Belo Horizonte, Brazil (latitude: -19.85 and longitude: -43.95). The model used for the simulations was based on a typical office room for the city (ALVES et al., 2017). The weather file used for Insight 360 simulations was automatically chosen by Revit when the name of the city was given. To know which climate file was chosen by the software, it was necessary to access Autodesk's Green Building Studio (GBS) (AUTODESK, 2018). The SWERA weather file was used to conduct DIVA simulations as recommended by Fonseca, Fernandes and Pereira (2017).

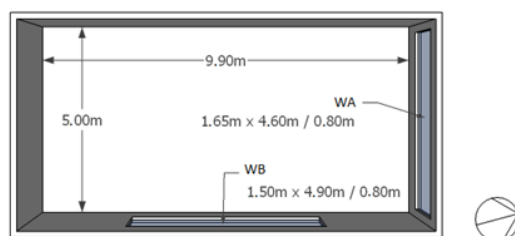
In order to analyze the results of the static metric, decay curves of daylight levels were presented and the mean bias deviations (MBD) were calculated, being the results of DIVA considered as reference. Comparisons were made both visually (using illuminance distribution maps) and numerically (maximum and minimum illuminance values). For dynamic metric analysis, in addition to the comparison of the percentage results, compliances with the IES (2012) were verified: acceptable if  $sDA_{300,50\%}$  met 55% of the room area and preferable if it met 75%.

## Model characteristics

The office room model was 5.0m x 9.9m x 3.0m, and presented windows on the North and/or the East facades (Figure 1). The model properties considered for the simulations are presented in Table 1 being referred as characteristics of the "Base Models". No surrounding buildings were considered in simulations.

**Figure 1:** Characterization of the model used for simulations

**Source:** Top view of the office room. Adapted from Alves (2017).





Parameter	Value
Orientation <sup>1</sup>	N (15°)
Window-to-wall ratio of north facade (WA)	40.5%
Window-to-wall ratio of east facade (WB)	19.7%
Window thickness	6.0mm
Frame percentage	20.0%
Visible light transmittance (T <sub>vis</sub> ) <sup>1</sup>	90.0%
Roof reflectivity (ρ)	82.0%
Internal and exterior floor reflectivity (ρ)	20.0%
Internal walls reflectivity (ρ) <sup>1</sup>	51.0%

**Table 1** - Characteristics of the Base Models

(1) Characteristics of Base Models that have undergone alteration of the one-at-a-time studies.

**Source:** The authors.

Window A (WA) and Window B (WB) were placed in adjacent facades, allowing the delimitation of different room depths: 9.9m (with WA) and 5.0m (with WB). Thus, three models based on the same geometry were used: the Deep Model (DM, with WA), the Shallow Model (SM, with WB) and Both Windows Model (BWM, with WA and WB).

## Simulations description

Generic simulations were performed with both tools for the apprehension of input/output structures and workflows for illuminance and sDA<sub>300,50%</sub> simulations. Then simulations were performed with the case study Models. The configurations for static simulations were: analysis plan height of 0.75m and distance between analysis points of 0.30m, considering December 31st at 9:00a.m. For the dynamic metric, the analysis plan height was 0.80m, distance between analysis points of 0.60m, considering the hole year, from 8:00a.m. to 6:00p.m (Insight 360's default).

It was verified that in Insight 360 some simulation parameters are fixed while others are variable. Table 2 shows variable settings in black dots, and fixed settings are presented in white dots.

**Table 2:** Settings flexibility of metrics parameters in Insight 360

**Legend:** Variable settings (•), Fixed settings (◦) and Not applicable (n/a). (1) Available sky types: CIE Overcast Sky, CIE Intermediate Sky, CIE Clear Sky, CIE Uniform Sky, Daylight Factor Sky and Perez All-Weather Sky.

**Source:** The authors.

Simulation parameters	Metrics				
	Illuminance	sDA <sub>300,50%</sub>	LEED 2009	LEED v4	Solar Access
Sky type <sup>1</sup>	•	n/a	n/a	n/a	n/a
Date and time	•	◦	◦	◦	•
Results unit (footcandles / lux)	•	n/a	◦	◦	n/a
Analysis time interval	n/a	◦	◦	◦	•
Results threshold (max / min)	•	◦	◦	◦	•
Analysis plane height (inches)	•	◦	◦	◦	•
Distance between analysis points (12 or 72 inches)	•	◦	•	•	◦
Floor to be analyzed	•	•	•	•	•

In what regards Radiance advanced parameters used in DIVA, the configurations were: ambient bounces: 5, ambient division: 1000, ambient sampling: 20, ambient accuracy: 0.1, and ambient resolution: 300; as recommended by Reinhart (2012) for scene complexities considered low (without the presence of sun protection elements). These configurations were adopted in all simulations, except for the third methodological step, in which the number of Ab was varied, as shown in Table 4. In Insight 360, such settings are not accessible.

Static and dynamic simulations in both programs involved the individual variation of parameters: in each set of simulations, only the tested parameter was changed while others remained fixed. For the static simulations, the varied parameters were: room depth (9.9m and 5.0m, considering DM and SM, respectively, with the CIE Clear Sky) and sky types (Perez Sky, CIE Overcast Sky and CIE Clear Sky), using only DM.

On dynamic simulations, the glass visible transmittance ( $T_{vis}$ ) and internal walls reflectance ( $\rho$ ) were individually modified. These parameters were varied with values considered low, medium and high (40%, 60% and 90% for  $T_{vis}$  and 16%, 51% and 82% for  $\rho$ , respectively). As the optical properties of materials in Insight 360 are configured by RGB intensity, the values of  $T_{vis}$  and  $\rho$  were set based on tables presented by Autodesk (2017b). Table 3 shows RGBs values used for all simulations. In DIVA, those parameters were set manually in a .rad file, obeying the same values.

Input		Variation level	Value	RGB	Observation
Base Models fixed parameters	Roof reflectance ( $\rho$ )	-	82%	210,210,210	Base Models
	Internal and external floors reflectance ( $\rho$ )	-	20%	50,50,50	Base Models
Variable parameters	Internal walls reflectance ( $\rho$ )	Low	16%	40,40,40	Variation studies
		Medium	51%	130,130,130	Base Models
		High	82%	210,210,210	Variation studies
	Visible Transmittance at Normal Incidence ( $T_{vis}$ )	Low	40%	0,0,0	Variation studies
		Medium	60%	7,7,7	Variation studies
		High	90%	209,209,209	Base Models

**Table 3** - RGB intensity values considered in Insight 360

Source: The authors.

In third step  $A_b$  values tested were:  $A_b=2$  from DIVA default;  $A_b=5$  and  $A_b=7$  for low and high complexities scenes, respectively, as indicated by Reinhart (2012). DM, SM and BWM were used in four orientations, which Azimuths respected the urban tracing of Belo Horizonte, as defined by Alves (2017). The summary of simulations with individual variations is shown in Table 4.

Metric	Parameter	Variations	Model
Static (illuminance)	Sky Type	CIE Clear Sky, CIE Overcast Sky and Perez	DM
	Room depth	9.9m and 5.0m (with CIE Clear Sky)	DM/SM
Dynamic ( $sDA_{300,50\%}$ )	Glass type ( $T_{vis}$ )	High (90%), Medium (60%), Low (40%)	DM
	Internal walls reflectance ( $\alpha$ )	High (82%), Medium (51%) and Low (16%)	DM
	Ambient bounces ( $A_b$ ) <sup>1</sup>	2, 5 and 7	DM/SM/BWM
	Orientation – $A_b$ test <sup>1</sup>	North (15°), East (105°), South (195°) and West (285°)	BWM

(1) Evaluation of the number of Ambient Bounces - Variations of  $A_b$  made only in DIVA.

**Table 4:** Summary of simulations

(1) Evaluation of the number of Ambient Bounces - Variations of  $A_b$  made only in the DIVA.

Source: The authors.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### Input and output structure comparison

A comparison of the basic input structure and simulation process of Insight 360 and DIVA is presented in Table 5.

	INSIGHT 360	DIVA
Geometry	Modeling architectural elements in Revit (walls, floors, etc.) and definition of “Rooms” (Room command). CAD files can be imported.	3D Modeling in Rhinoceros or in other modeling software compatible with the program, such as Autocad or SketchUp.
Location	A weather file is automatically set for the simulation defined from an online mapping service or from the city’s choice in a predefined city list.	Defined by the selection of an EPW (Energy-Plus Weather Data) file. 16 weather files are available, but users can insert new ones.
Analysis plane	Analysis plane perimeter automatically defined from the definition of “rooms”. The distance between mesh points: for $sDA_{300,50\%}$ it is fixed at 24 inches (0.60m) and for illuminance, it is 12 or 72 inches (0.30m or 1.82m). Distance from floor: 0.80m for $sDA_{300,50\%}$ (fixed) and free for illuminance.	Built from a reference surface in the 3D model. Users can freely specify the distance between this surface and the analysis plane and the distance between mesh points.
Materials optical properties	Opaque materials: predefined colors can be defined for each material. To set specific reflectance values, users must indicate RGB intensity values.	There are 28 pre-defined materials available (for wall, floor, ceiling and glass). These must be chosen and assigned to surfaces modeled in different layers. Users can set up new materials in .rad file.
	Translucent materials: Tvis is configured from color. There are predefined sets, and to set specific values users must indicate RGB intensity values.	
	Autodesk (2017b) presents a Tvis-RGB conversion table.	
Simulation process summary	Log in to an Autodesk® account (A360), activation of Insight 360 add-in, selection of desired analysis (new or existing). Choice of the desired metric, set parameters (only the variable ones), set the floor to be analyzed, consult simulation price (cloud credits) and send to the cloud simulation service A360. Results are visualized in Revit model by reopening Insight 360 add-in and loading the existing simulation result.	Definition of the location, configuration of the analysis plane, definition of material properties and choice of metrics to be simulated with their specific configurations. Simulation computed on the user’s machine. Results are automatically loaded on Rhinocero’s model.

In Insight 360 the weather file is obtained from a WMO (World Meteorological Organization) database by the indication of a city to the project’s Location (AUTODESK, 2017c). The latitude and longitude of the city are compared to the database and the nearest weather station is chosen together with its weather file. If the city is set by using the online mapping service, meteorological stations starting with “59” imply the use of TMY (Typical Meteorological Years) weather archives, while other stations use files from the Autodesk® weather server (AUTODESK, 2017d).

**Table 5:** Input structure and simulation process summary of Insight 360 and DIVA

In what regards material properties definition, although Autodesk (2017b) provides tables for converting values of  $\rho$  and Tvis to RGB intensities, users have to seek that information in instruction manuals outside the program interface, making the simulation process less automatic.

In relation to the outputs, Insight 360 allows users to get a graphical visualization of the results with 21 predefined and editable display styles, as well as a spreadsheet with numerical results per analysis point (CSV file). Along with  $sDA_{300,50\%}$  results, users obtain Design Tips that are based on the Daylighting Pattern Guide (ADVANCED BUILDINGS, 2017), which addresses recommendations related to geometry, glass type and shading elements, to improve the use of daylight. However, attention should be given to the interpretation of the suggested solutions, since they were based on buildings solutions for the United States, which may have different climatic characteristics from the place where the project is designed for. In DIVA, visualization results are available within three types of color gradation and with CSV

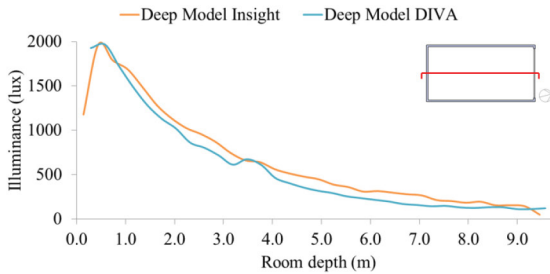
files containing results values per analysis point.

From the results obtained in this phase, it is considered that Insight 360 presents less flexibility of input data configuration than DIVA and greater flexibility of result visualization options. In agreement with Stoutz and Claro (2017), it is considered that Insight 360 presents characteristics that favor its adoption by non-expert architects in the design process, such as the automated definition of weather files, the possibility to configure materials optic properties by color, the ease of performing different simulations in one file and the indication of design tips. As a non-intuitive aspect of Insight 360 for the use of non-expert architects, there is the need to manually load simulation results after its completion. In addition, the difficulty for the precise configuration of parameters such as weather files and materials optical properties are obstacles to greater control of the simulation and can directly interfere in the accuracy of simulations.

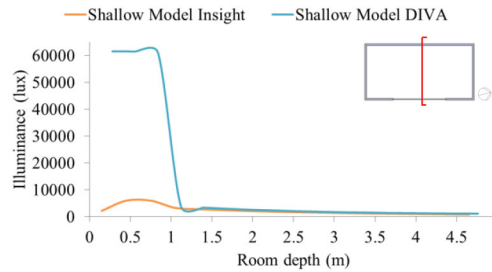
## COMPARATIVE SIMULATION RESULTS

### Static simulations

Figures 2 and 3 refer to the results obtained for different room depths. Figure 2 shows a similarity between the decay curves of daylight levels of the two programs, with a mean percentage deviation of 9%, with the greatest disparity presented in the points closest to the opening (difference of 750lx). The inequality possibly occurred as a function of the definition of the analysis meshes. While in Insight 360 the mesh starts at 0.15m from the wall, in DIVA it starts at 0.28m, although in both programs the input for defining the meshes was the same (0.30m distance between points). In this case, the values close to the window in Insight 360 may have suffered interference of the window sill, resulting in lower illuminance levels.



(2) Deep Model scheme



(3) Shallow Model scheme

**Figures 2 and 3:** Decay curves of daylighting levels - central line perpendicular to the window.

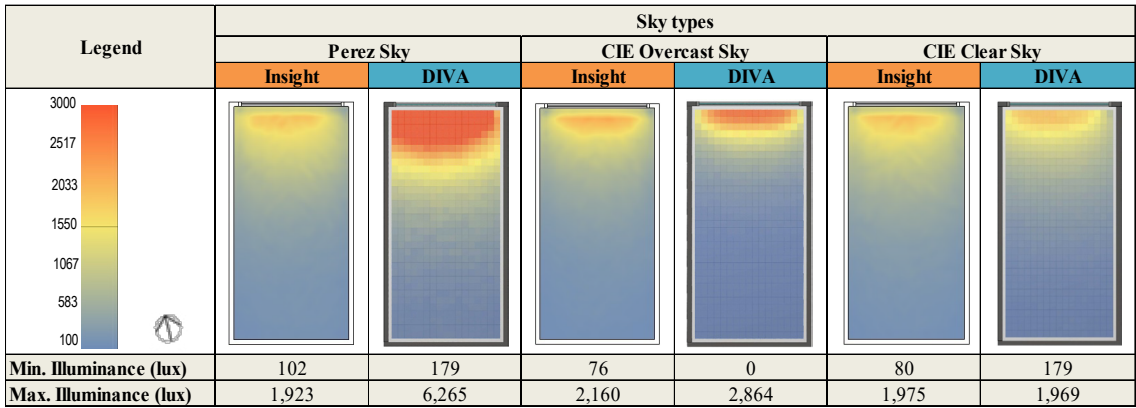
**Deep Model (DM):** 9.9m depth and Shallow Model (SM): 5.0m depth. Clear sky, December 21st, 9:00 a.m., orientation N (15 °)

In Figure 3, where there is a higher incidence of direct lighting on the room, there is a considerable difference between results until the approximate depth of 1.10m, with the maximum value provided by Insight 360 being approximately 10 times lower than DIVA's (6.000lx versus 61.544lx). From this depth on, the curves showed more similar behavior, with a mean percentage difference of about 18%. It is inferred that this difference between the curves results from the differences occurred in the area near the window, which influenced the amount of light reflected into the room. Considering that both programs used the same sky type (CIE Clear Sky), in addition to the fact that several points in Insight 360 indicated resultant illuminance values of exactly 6,000lx, it is assumed that this value has been set as maximum illuminance level to be represented in the Autodesk® add-in. Despite the discrepancy, assuming excessive illuminance above 3,000lx according to the UDI metric limit (NABIL; MARDALJEVIC, 2005), the results of both programs evidenced similar guidelines for architects design: the need to develop a protection element to prevent direct solar incidence.

Figure 4 shows the illuminance levels obtained by the variation of sky types. Comparing the results of the two programs, greater similarity in light distribution between the results obtained with CIE skies is noticed. The higher disparity occurred in the Perez sky type, where the maximum illuminance level in Insight 360 was approximately 3 times lower than in DIVA's.

Authors infer that the divergence on the results from the Perez Sky is related to differences between external irradiation data adopted for the calculations of this sky type. While Insight 360 considers the Perez-All-Weather-Sky, using horizontal global irradiation (GHI), direct normal irradiation (DNI) and diffuse horizontal irradiation (DHI), DIVA calculates the Perez sky based only in GHI values, using Radiance's Gendaylit calculation module (AMCNEIL, 2017). Differences between the weather files may also help to explain differences in values calculated by the two programs. To verify the weather file influence in the simulation results representative values of the weather files used in both software were then checked (Table 6).

**Figure 4-** Illuminance levels with different sky types: December 21st at 9:00 a.m., Deep Model: 9.9m depth, orientation N (15°)



	Weather file	GHI	DNI	DHI
Insight 360	GBS_04R20_299004	890Wh/m <sup>2</sup>	810Wh/m <sup>2</sup>	93Wh/m <sup>2</sup>
DIVA	Belo Horizonte/Pampulha-SWERA	623Wh/m <sup>2</sup>	616Wh/m <sup>2</sup>	179Wh/m <sup>2</sup>

**Table 6:** Weather file information for summer solstice at 9:00 a.m.

Table 6 shows that the SWERA file presents lower values of GHI, although DIVA provided higher internal illuminance levels than Insight 360 when Perez sky was used. An analysis of the mathematical models could contribute to the understanding of how these differences affected the simulation results. Perez (or Perez-All-Weather-Sky) sky model describes, from irradiation measurements, the average angular distribution patterns of sky luminance for all types of sky - from clear to cloudy. It uses direct and diffuse radiation values to parameterize insolation conditions, describing them in a three-dimensional way through the parameters: Z (zenith solar angle), given in radians; e (sky clearness) and Δ (sky brightness), according to Equations 1 and 2 (PEREZ; SEALS; MICHALSKY, 1993).

$$e = [(Eed + Ees) / Eed + 1.041Z^3] / [1 + 1.041Z^3] \quad \text{Eq. 1}$$

$$\Delta = mEed / Eeso \quad \text{Eq. 2}$$

Where Eed is the diffuse horizontal irradiation, Ees is the direct normal irradiation, m is the optical air mass and Eeso is the normal incident extra-terrestrial irradiation. As a function of these parameters, the coefficients a to e are calculated to mathematically describe sky conditions.

The Radiance program Gendaylit, used by DIVA, adopts the Perez mathematical model. In addition to the option of using the original parameters of the

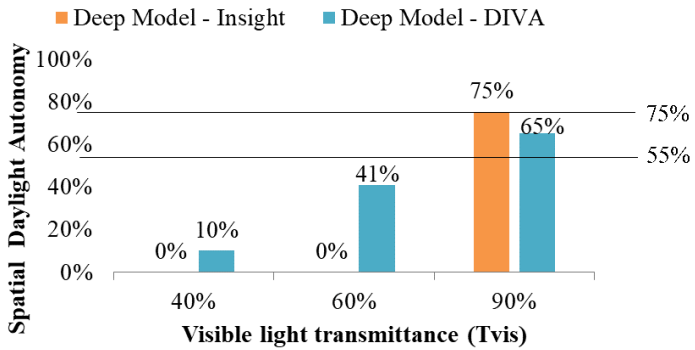
Perez sky model (Z, e and  $\Delta$ ), one can report a value of GHI, which is used for calculations by the model of Erbs, Klein and Duffie (1982) (RADIANCE ISE; ADEME EXTENSIONS, 1994). This model calculates the hourly diffuse fraction (Id) from global radiation (GHI) by a relation with an atmospheric clarity indicator (KT), which is the ratio between total (direct and diffuse) daily radiation and daily extraterrestrial insolation incident on a horizontal surface (LIU; JORDAN, 1960 apud ERBS; KLEIN; DUFFIE, 1982). The relationships between Id/GHI and KT were developed from statistical treatments of hourly data from four stations in the United States (ERBS; KLEIN; DUFFIE, 1982).

Erbs, Klein and Duffie (1982) state that this model presents significant uncertainty for the calculation of one-hour diffuse fractions, but that for long-term predictions the calculation is more accurate. Niemasz (2018) indicates the use of the Perez sky with DIVA when users have in loco data measurements and there is interest in modeling a specific sky. Thus, considering situations that exclude in loco measurements, the mathematical model used for the Perez sky in Insight 360 seems to be more precise than the one used by DIVA in the cases of static simulations. Therefore, it is understood that the increase of illuminance levels obtained by DIVA in comparison with Insight 360, although its weather data show lower values of irradiation, is related to the uncertainties arising from the use of the mathematical model described by Erbs, Klein and Duffie (1982).

### Dynamic simulations

The sDA results for dynamic simulations when the glass visual transmittance (Tvis), were varied are presented in Figure 5. And the results for the interior reflectances are presented in Figure 6.

**Figure 5:** sDA<sub>300,50%</sub> simulation results: variation of glass type (Tvis)  
**Deep Model:** 9.9m depth and N orientation (15°)



**Figure 6:** sDA<sub>300,50%</sub> simulation results: variation of interior walls reflectance (ρ)  
**Deep Model:** 9.9m depth and N orientation (15°)

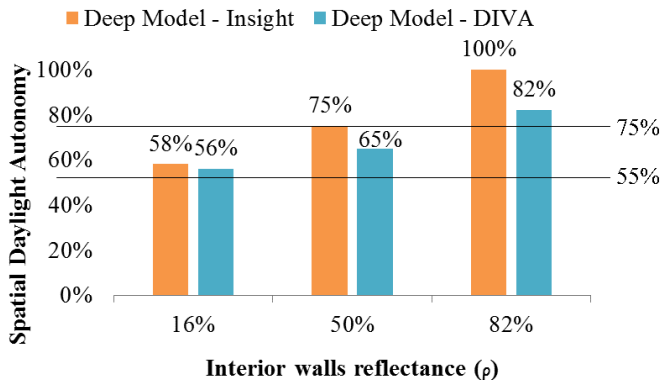


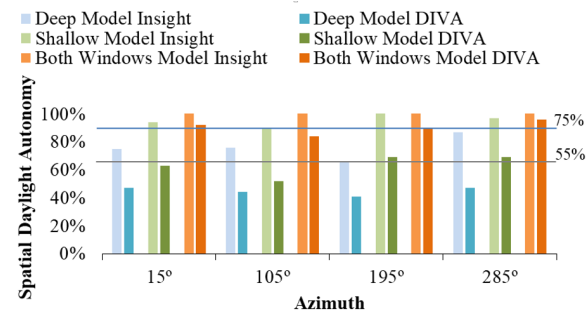
Figure 5 shows significant differences of sDA<sub>300,50%</sub> results between the programs. In the case of low (40%) and medium (60%) Tvis, the null Insight 360 result suggests low sensitivity to glasses with these values. The results



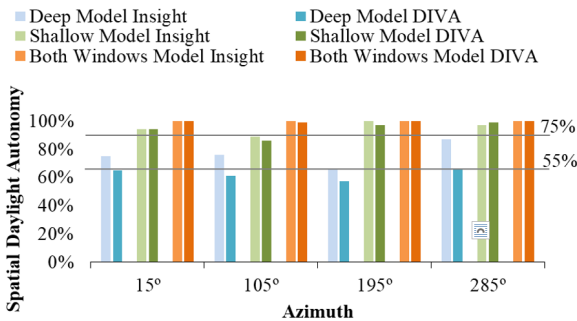
obtained by DIVA show a significant influence of this parameter on internal lighting distribution, as expected. From the obtained results, it is understood that the adoption of Insight 360 must be careful when glasses with low values of visible transmittance are used. Nevertheless, in the case of high Tvis (90%), Insight 360 and DIVA presented more similar results, there's still a difference in attendance levels according to IES (2012): preferable and acceptable, respectively. Those results differ from those by Stoutz and Claro (2017), in which both programs indicated the same classifications for simulations that considered the city of Florianópolis and a 88% Tvis. Radiance advanced settings in DIVA may have influenced the results, but the considered values were not indicated in the authors' paper.

Figure 6 shows that Insight 360 presented higher results than DIVA in all internal walls reflectance variations. The classifications according to IES (2012) were equal in the cases of low (16%) and high (82%) reflectivity, and were different in the case of the medium reflectance (50%). Differences in results raised with the increase of internal walls reflectance, suggesting greater sensitivity of Insight 360 to the variation of this parameter. This aspect may be due to differences in the number of inter-reflections ( $A_b$ ) considered by both programs, a parameter analyzed in the third step of the present study.

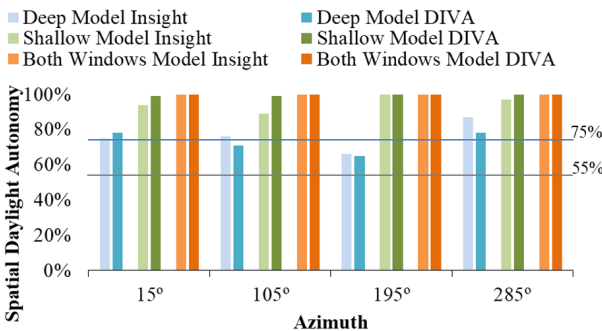
Figures 7, 8 and 9 show the results obtained for  $A_b$  values of 2, 5, and 7 varied in DIVA (respectively) and compared to the Insight 360 default, which is fixed and not accessible to users. The simulations considered all Models (DM, SM and BWM) with four orientations (Azimuths of 15°, 105°, 195° and 285°).



**Figure 7:**  $sDA_{300,50\%}$  simulation results: variation of orientation,  $A_b=2$  (DIVA)



**Figure 8:**  $sDA_{300,50\%}$  simulation results: variation of orientation,  $A_b=5$  (DIVA)



**Figure 9:**  $sDA_{300,50\%}$  simulation results: variation of orientation,  $A_b=7$  (DIVA)

Figure 7 ( $Ab = 2$ ) shows that Insight 360 provided higher  $sDA_{300,50\%}$  values for all orientations and Models, with a MBD of 37%. In regard to the IES (2012) attendance levels, there were cases (mostly in the Deep Model) where results of the same Model reached preferable attendance in Insight 360 while in DIVA it did not attend the acceptable level. Figure 8 ( $Ab = 5$ ) shows greater similarity between the programs, with a MBD of 6%, but still presenting an overestimation of Insight 360 results accentuated in the Deep Model in all orientations. This result may be due to this model having a smaller glass area, therefore being more sensitive to the number of internal reflections. Figure 9 ( $Ab = 7$ ) shows the greatest similarity between results, with a MBD of approximately 1%. The only difference between IES classifications (2012) was in the Deep Model with Azimuth  $105^\circ$ , all other classifications being equal for both tools. Thus, by the results obtained in the present study, it is inferred that the number of ambient bounces considered in Insight 360 is close to 7.

In addition to the results of Stoutz and Claro (2017) and Garcia et al. (2018), in which the levels of  $sDA_{300,50\%}$  between the programs were similar, the dynamic simulations results of the present work indicate that when using the Insight 360 add-in, there's a need for caution when simulating glasses with low and medium Tvis, and an overestimation tendency for results in comparison to DIVA, evidenced in the study of internal walls reflectance and ambient bounces variations. This may lead to more permissive classifications in relation to the metric  $sDA_{300,50\%}$  from IES (2012). From the present article, along with the guidance of Reinhart (2012), it is understood that the results of  $sDA_{300,50\%}$  metric would be more similar between the two programs in cases with high complexity scenes, where 7 ambient bounces would be considered in DIVA.

## CONCLUSIONS

Accurate daylighting prediction can highly influence on comfort levels and the energy efficiency of buildings. With the wide use of BIM platform software, the development of Insight 360, an add-in that simulates daylighting within Revit interface, can broaden the adoption of daylighting analysis, subsidizing more informed design decisions. In this paper, an exploratory analysis of the usability of Insight 360 comparatively with DIVA was developed, focusing on data input and output structure and in the similarity of simulation results.

Considering the gains of the BIM methodology such as the information exchange among professionals from the A&E industry, the minimization of errors at the design stage and the possibility of optimization solutions, such as the energy consumption reduction; one of the advantages of Insight 360 is that it works within a BIM platform software. The possibility of simulating different design options in a unique file and the automation of simulation parameter configurations are significant aspects that favor the adoption of Insight 360 by architects in the design process. In contrast, while default settings make Insight 360 easier to use for non-expert users, it presents limitations regarding the configuration of simulation parameters for more precise simulations. The definition of specific optical properties of materials may be an obstacle to the correct use of the tool. However, despite the reduced flexibility, it is considered that Insight 360 input structure allows initial and even normative analysis since the fixed parameters obey standard indications, such as the IES (2012). It was also considered that there is flexibility for illuminance levels analysis, a metric that is considered by Brazilian regulations. It was also verified that the output structure in Insight 360 is more adjustable than in DIVA.

The results of this study pointed out that Insight 360 underestimated illuminance levels compared to DIVA when there was direct solar incidence with the use of the Perez sky. For the dynamic metric, Insight 360 presented low sensitivity to glasses with values of low and medium visible light transmittance and there was evidence of the consideration of ambient bounces

close to 7, which may overestimate results in the case of low complexity models.

The findings have a relevant impact on the architects' design practice since differences in daylighting prediction can affect the design choices. Consequently, using one software or another may determine different attendance levels on standards and certifications. For this reason, authors consider that Insight 360 is useful for architects' design practice, but it is necessary that they consider the potentials and limitations of the tool discussed in this paper, to have more reliability in their results.

For more precise analysis, it would be valid to compare the results with field measurements. The limitations of this study include the simulation with only one location, the use of a single low complexity model and non-characterization of an external built environment; aspects that will be contemplated in the continuation of the present research.

## REFERENCES

- ADVANCED BUILDINGS. **Daylighting Pattern Guide**. Available in: <<http://pattern-guide.advancedbuildings.net/patterns>>. Access: nov. 2017.
- ALRUBAIH, M. S. et al. Research and Development on Aspects of Daylight Fundamentals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 494-505, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>
- ALVES, T. **Energy savings potential of the high-rise office building stock**: a case study of Belo Horizonte, Brazil. Doctoral Thesis, Mechanical Engineering School of UFMG. Belo Horizonte, 2017.
- ALVES, T.; MACHADO, L.; SOUZA, R. G.; DE WILDE, P. DE. A methodology for estimating office building energy use baselines by means of land use legislation and reference buildings. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 100-113, 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.017>
- AMCNEIL. **Gendaylit.pdf**. 2017. Available in: <<https://www.radiance-online.org/learning/documentation/manual-pages/pdfs/gendaylit.pdf/view>>. Access: may 2018.
- ARAYICI, Y.; FERNANDO, T.; MUNOZ, V.; BASSANINO, M. Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design. **Automation in Construction**, v. 85, n. October 2017, p. 167-181, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.018>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- AUTODESK. **Insight 360 Building performance analysis software**. 2017a. Available in: <[https://www.autodesk.com/products/Insight\\_360/overview](https://www.autodesk.com/products/Insight_360/overview)>. Access: may 2017.
- AUTODESK. **Insight 360 Lighting Analysis Help**. Autodesk, Inc, 2017b. Available in: <[https://forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/19/1006/2/Insight\\_360-lighting-analysis-help.pdf](https://forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/19/1006/2/Insight_360-lighting-analysis-help.pdf)>. Access: nov. 2017.
- AUTODESK. **Light Analysis for Revit**. 2015. Available in: <<https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloud-help/ENU/BPA-PerformanceStudies/files/GUID-5AE6A81D-B170-47A5-8BF8-190235F25287-htm.html>>. Access: nov. 2018.
- AUTODESK. **Specify the Location**. 2017d. Available in: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloud-help/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-85FA464E-D604-4242-9711-6183A5EF-7FOA-htm.html>>. Access: mar. 2018.
- AUTODESK. **Weather Data**. 2017c. Available in: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-CE607F67-D169-4E6D-9B7F-35BEE9101BEC-htm.html>>. Access: mar. 2018.
- AUTODESK. **Welcome to Green Building Studio**. 2018. Available in: <<https://gbs.autodesk.com/GBS/>>. Access: may 2018.
- CAVALERI, M. P. M.; CUNHA, G. R. M.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 1, p. 19-34, 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650725>
- CHENG, H.; LI, Z.; WANG, X.; LIN, B. A graph-

- and feature-based building space recognition algorithm for performance simulation in the early design stage. **Building Simulation**, v. 11, n. 2, p. 281-292, 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0412-x>
- CHONG, H-Y.; WANG, X.; LEE, C-Y. A mixed review of the adoption of Building Information Modeling (BIM) for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 4114-4126, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
- DUNN, J.; SCHEER, D.; ASL, M.; ARBREE, A. **A New Tool and Calculation Methodology for BIM? integrated Rapid Daylight Simulation** (Preliminary Draft for ASHRAE Energy Modeling Conference). 2015. Available in: <[https://forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/19/1382/1/2015\\_11\\_16\\_LAR\\_Interim\\_Paper\\_FINAL\\_PRELIM\\_DRAFT.pdf](https://forums.autodesk.com/autodesk/attachments/autodesk/19/1382/1/2015_11_16_LAR_Interim_Paper_FINAL_PRELIM_DRAFT.pdf)>. Access: june 2019.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011, 626p.
- ELEFTHERIADIS, S.; MUMOVIC, D.; GREENING, P. Life-cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 811-825, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>
- ERBS, D. G.; KLEIN, S. A.; DUFFIE, J. A. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. **Solar Energy**, v. 28, n. 4, p. 293-302, 1982. Available in: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038092X82903024>>. Access: jan. 2020.
- FONSECA, R. W.; FERNANDES, F. F. A.; PEREIRA, F. O. R. Zoneamento bioclimático referente à iluminação natural para o território brasileiro. In: XIV ENCAC E X ELACAC, 2017. Balneário Camboriú. **Proceedings...** Balneário Camboriú: UNIVALI, 2017, p. 1889-1898.
- FONSECA, R. W.; PEREIRA, F. O. R. Sequência metodológica para a estimativa da iluminação natural e suas implicações em sistemas de avaliação de desempenho de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 55-68, jan./mar. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100123>
- GARCIA, M. S.; FREITAS, M. L. M.; SOUZA, R. V. G.; VELOSO, A. C. O. Comparison of daylighting simulation workflows and results using plugins for BIM and 3D Modeling programs: application on early phases of design process. In: 7TH INTERNATIONAL BUILDING PHYSICS CONFERENCE, Syracuse. **Proceedings...** Syracuse: IBPC, 2018, p. 1007-1012.
- GERRISH, T.; RUIKAR, K.; COOK, M.; JOHNSON, M.; PHILLIP, M.; LOWRY, C. BIM application to building energy performance visualization and management: challenges and potential. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 218-228, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>
- GHAFFARIANHOSEINI, A.; TOOKEY, J.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; NAISMITH, N.; AZHAR, S.; EFIMOVA, O.; RAAHEMIFAR, K. Building Information Modeling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 1046-1053, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- GHOBAD, L.; GLUMAC, S. Daylighting and energy simulation workflow in performance-based building simulation tools. In: 2018 BUILDING PERFORMANCE ANALYSIS CONFERENCE AND SIMBUILD, 2018, Chicago. **Proceedings...** Chicago: ASHRAE/IBPSA-USA, 2018, p. 382-389.
- GUIDI, C. R.; ABRAHÃO, K. C. DE F. J.; VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. Influência dos parâmetros urbanísticos e da topografia na admissão da luz natural em edifícios residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 49-66, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300267>
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IES). **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York: IES. ISBN: 978-0-87995-272-3, 2012.
- JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus. In: 12TH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 2011, Sydney. **Proceedings...** Sydney: IBPSA, 2011, p. 2202-2209.
- LEE, J.; BOUBEKRI, M.; LIANG, F. Impact of building design parameters on daylighting metrics using an analysis, prediction, and optimization approach based on statistical learning technique. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 5, p. 1-21, 2019. doi: [10.3390/su11051474](https://doi.org/10.3390/su11051474)

MCNEEL, R.; ASSOCIATES. **Rhinoceros 3D**. 2018. Available in: <<https://www.rhino3d.com/>>. Access: jun. 2018.

MIRI, M.; ASHTARI, E. The Applicability of a Newly Developed Revit Add-in for Architects and Urban Designers When Doing Daylight Study from Early Stages to the End of Architectural/Urban Design. In: International Building Performance Simulation (IBPSA), 2019, Roma. **Proceedings...** Roma, 2019, p. 9-17.

NABIL, A; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings. **Lighting Research and Technology**, v. 37, p. 41-59, 2005. doi: <https://doi.org/10.1191/1365782805li128oa>

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. **Automation in Construction**, v. 54, p. 39-53, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.002>

NIEMASZ, J. **Diva for Rhino**: Simulations in general. 2018. Available in: <<http://diva4rhino.com/user-guide/simulation-types/simulations-general#SkyCondition>>. Access: june 2018.

NIZAM, R. S.; ZHANG, C.; TIAN, L. A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings. **Energy and Buildings**, v. 170, p. 1-14, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.067>

ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. Building simulation supporting decision making in early design - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 187-201, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. All weather model for sky luminance distribution -Preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, v. 50, n. 3, p. 235-245, 1993. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90017-1)

RADIANCE ISE; ADEME EXTENSIONS. Gendaylit (1). 1994. Available in: <[https://www.radiance-online.org/archived/rad-site/radiance/man\\_html/gendaylit.1.html](https://www.radiance-online.org/archived/rad-site/radiance/man_html/gendaylit.1.html)>. Access: jan 2020.

REINHART, C. Daylight performance prediction. In: HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS,

R. (Ed.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. London: Spon Press, 2011, p.235-276.

REINHART, C. **4.430 Daylighting**: MIT Open Course Ware. 2012. Available in: <<https://ocw.mit.edu/index.htm>>. Access: may 2018.

REINHART, C.; ANDERSON, M. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 890-904, 2006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.006>

REINHART, C.; BRETON, P-F. Experimental validation of 3DS MAX® design 2009 and DAYSIM 3.0. In: 11th INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 2009, Glasgow. **Proceedings...** Glasgow: IBPSA, 2009, p. 1514-1521.

REINHART, C.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, n.7, p. 683-697, 2001. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5)

SANTOS, I. G.; AUER, T.; SOUZA, R. V. G. DE. Optimized indoor daylight for tropical dense urban environments. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 87-102, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300164>

STOUTZ, R. M; CLARO, A. Análise comparativa de fluxos de trabalho para simulação da iluminação natural em processo de projeto BIM (*Building Information Modeling*). In: *XIV ENCAC E X ELACAC, 2017, Balneário Camboriú*. **Proceedings...** Balneário Camboriú, 2017, p. 1750-1759.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED v4 para projeto e construção de edifícios** (Building design and construction). Available in: <[http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED\\_v4\\_BDC\\_10\\_01\\_14\\_PT\\_3\\_24\\_17.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_BDC_10_01_14_PT_3_24_17.pdf)>. Access: jun. 2018.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

# LÓGICA ALGORÍTMICA-PARAMÉTRICA E URBANISMO: UMA REVISÃO TÉORICA E DE MODELOS COMPUTACIONAIS PARA PROJETOS URBANOS

ARTIGO

**Algorithmic-parametric logic and urbanism: a theoretical and a computational model review for urban design**

**Fernando Lima<sup>1</sup>, Frederico Ribeiro Costa<sup>1</sup>, Ashiley Rosa<sup>1</sup>**

**RESUMO:** A utilização de recursos algorítmico-paramétricos no contexto do pensamento urbano constitui uma perspectiva relativamente nova para o planejamento e o projeto das cidades. No campo do urbanismo, estas aplicações, apesar de estarem em franca ascensão, ainda se encontram ou em menor quantidade, ou não tão desenvolvidas quanto aquelas voltadas ao campo da arquitetura. Neste contexto, o objetivo deste artigo é abordar diferentes modelos de aplicações computacionais orientados para contextos urbanísticos, de maneira a estabelecer um enquadramento sobre a aplicação destes recursos e de modelos computacionais orientados a soluções de questões urbanas, organizando um cenário de pesquisas já desenvolvidas nesta área e sistematizando-os por meio de um quadro comparativo. A análise comparativa dos modelos permitiu identificar as limitações, bem como as potencialidades e os contextos de aplicação de cada modelo. Assim, pode-se concluir a partir desta abordagem que os modelos analisados têm um grande potencial a ser explorado para gerir questões complexas do planejamento urbano, uma vez que permitem a construção de cenários e modificações no ambiente construído de forma paramétrica, ou seja, permitem a análise e a retroalimentação do projeto ainda no ambiente virtual.

**ABSTRACT:** The use of algorithmic-parametric resources in urban context is a relatively new perspective for the planning and design of cities. In the field of urbanism, although growing, they are either in a smaller number or not as developed as those focused on the field of architecture. In this context, the aim of this paper is to address different computational applications models oriented to urbanistic contexts, in order to establish a framework on the application of these resources and computational systems aimed at urban problem solving, and to build a scenario of researches already developed in this area, systematizing them through a comparative table. Thus, it is possible to conclude that the analyzed models have great potential to manage complex urban planning issues, since they allow the construction of scenarios and modifications in a parametrical environment, that is, to allow the analysis and feedback of the project still in virtual environment.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora

---

## How to cite this article:

LIMA, F.; COSTA, F.R.; ROSA, A. Lógica algorítmica-paramétrica e urbanismo: uma revisão teórica e de modelos computacionais para projetos urbanos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v15, n. 2, p.84-97, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.162710>

## Fonte de Financiamento:

Fonte de Financiamento: CAPES.

## Conflito de Interesse:

Declara não haver.

**Submetido em:** 27/09/2019

**Aceito em:** 21/02/2020





## INTRODUÇÃO

O ato de projetar, enquanto disciplina, é uma abordagem baseada em abstração e em avaliação de possíveis cenários, alternativas de configuração e concretizações, sem a necessidade de se realizar fisicamente cada uma das soluções possíveis (MENGES, 2006). Tradicionalmente, a solução para determinado problema era obtida por meio da materialização de desenhos realizados sobre o papel, enquanto na arquitetura contemporânea ela se dá por meio da implementação de métodos e técnicas digitais, desenvolvendo sistemas com alto nível de complexidade (MITCHELL, 2005). Neste sentido, Mitchell (1977) expõe que o desenho computacional vai além apenas da representação, produzindo alternativas de soluções por meio da análise de dados. Para Mitchell e McCullough (1991) a introdução de métodos computacionais foi responsável por apresentar uma alternativa aos processos convencionais de projeto, dado sua alta capacidade de processamento de dados, parâmetros e interações, permitindo visualizar (e avaliar) de maneira mais rápida e dinâmica, diferentes alternativas e soluções para um problema abordado. Segundo Kotnik (2010, p.4, tradução nossa), os computadores “estão moldando ativamente a maneira como os usuários abordam a questão do design”, com os métodos computacionais sendo responsáveis por viabilizar aos arquitetos (ou outros atores envolvidos com processos projetuais) integrar informações de projeto cada vez mais complexas, enquanto as lógicas convencionais estão se tornando cada vez mais obsoletas em um contexto social composto por sistemas em rede (MENGES, 2012).

Os recursos computacionais, no âmbito de processos criativos, se distinguem em duas possíveis posturas frente à sua utilização. A primeira é aquela que entende o computador apenas como uma ferramenta que utiliza recursos avançados, capazes de gerar resultados sofisticados e maior domínio de soluções. Neste raciocínio, infere-se que, ainda que o computador altere significativamente a natureza dos resultados obtidos, não é necessário ou mesmo desejável o aprofundamento em aspectos de seus processos internos.

Já a segunda postura considera inevitável o aprofundamento em questões de programação e dos processos internos algorítmicos para conferir um uso mais frutífero aos recursos computacionais em atividades criativas (PICON, 2006). Para Kotnik (2010, p.13, tradução nossa), “o computador não é uma ferramenta neutra, atuando ativamente e moldando a maneira como os projetistas estão abordando as questões projetuais”. Neste sentido, cabe destacar a diferença entre os termos computação e computadorização. Para Terzidis (2003), enquanto a computação é o processo de calcular, determinar algo por métodos matemáticos ou lógicos, computadorização é o ato de entrada, processamento ou armazenamento de informações em um computador ou sistema computacional. Assim, pode-se compreender também computação como um processo generativo de informações e de resultados intangíveis, enquanto a computadorização limita-se a digitalização das informações e a resultados tangíveis.

O presente trabalho se alinha com a segunda postura apresentada, por entender que o conhecimento básico de programação e o conhecimento de lógica algorítmica para abordagem de problemas tem por objetivo “não limitar o conjunto das soluções consideradas apenas a experiências pré-definidas, mas, pelo contrário, explorar uma ampla gama de soluções potenciais, em contextos menos restritivos” (LIMA, 2017, p.83).

A aplicação de recursos computacionais em contexto urbanístico constitui uma possibilidade relativamente nova para o planejamento e o projeto das cidades. Ainda que a introdução de ferramentas digitais no campo da arquitetura date do final da década de 1960 (HENRIQUES, 2013), com um impacto crescente na prática de projeto arquitetônico, não se encontra, até os dias de hoje, um reatamento equivalente no contexto do projeto e do planejamento urbano. Aplicações computacionais no campo do urbanismo, apesar de crescentes, ainda se encontram ou em menor quantidade, ou não tão abordadas quanto aquelas desenvolvidas no campo da arquitetura (STEINØ e VEIRUM, 2005; GIL et al., 2010; DUARTE et al., 2012; LIMA, 2017).

Entretanto, esses recursos possuem grande potencial para contribuir signi-

ficativamente no suporte a solução de problemas das cidades, pois, entre outros aspectos, podem proporcionar um controle mais dinâmico (intervenção, atualização e avaliação de modificações) das partes componentes de um sistema complexo, como é o caso dos centros urbanos.

Diante do exposto, este trabalho, um desdobramento da tese de doutoramento de Lima (2017) e vinculado a um projeto de pesquisa do Laboratório de Investigação em Arquitetura e Urbanismo – DOMVS, da Universidade Federal de Juiz de Fora, tem como objetivo contribuir para uma maior disseminação de práticas computacionais no contexto do projeto e do planejamento urbano, ao passo que procura estabelecer uma reflexão por meio da abordagem de três conceitos intimamente relacionados: a lógica algorítmica; a modelagem paramétrica; e a lógica algorítmico-paramétrica. Assim, sobre seus aspectos metodológicos, o presente artigo expõe uma pesquisa qualitativa, a partir de: (i) revisão dos conceitos supracitados; seguidos de (ii) uma revisão de modelos<sup>1</sup> computacionais aplicados em contexto urbano e de um (iii) quadro comparativo destes modelos, de maneira a apresentar esta revisão teórica e conceitual de forma sintetizada. Por fim, serão apresentadas (vi) as considerações finais e as discussões acerca dos modelos apresentados e de seus impactos no planejamento urbano, enquanto recursos ainda a serem mais extensamente difundidos e explorados no campo urbanismo e de gestão das cidades.

## LÓGICA ALGORÍTMICA

Terzidis (2006) define algoritmo como um procedimento que utiliza uma sequência finita de instruções para resolver um determinado problema, enquanto Tedeschi (2014) acrescenta que o algoritmo pode ser definido como uma sequência finita de instruções bem definidas, utilizada para prover uma solução a uma pergunta ou para realizar uma determinada tarefa. Ou seja: trabalhar com algoritmos ou na lógica algorítmica significa decompor um determinado problema em um conjunto de etapas simples, que possam ser computadas e associadas de maneira a fornecer, por meio de um conjunto de instruções bem definidas, uma solução ao problema proposto. Isto implica em adotar um pensamento abstrato e associativo, além de clareza na hierarquização de informações.

Neste cenário, Kilkelly (2015) coloca que o pensamento algorítmico é o inverso do pensamento intuitivo, uma vez que consiste em um processo com procedimentos definidos para a resolução de um determinado problema. Neste senso, a ênfase está no objetivo - o problema é resolvido ou não. Isto é, programar requer pensamento algorítmico e pode constituir uma forma eficiente de auxílio a soluções para questões urbanas.

No contexto da arquitetura e do urbanismo, diversos autores consideram que associar o uso de algoritmos com a capacidade de processamento do computador, permite gerenciar de maneira mais eficiente uma grande quantidade de dados, cálculos e interações, potencializando as possibilidades analíticas e propositivas do homem e criando novos cenários criativos e de avaliação (MITCHELL, 1977; OXMAN, 2006; TERZIDIS, 2006; WOODBURY, 2010; SCHEER, 2014; TEDESCHI 2014; VEREBES, 2014).

Assim, adotar a lógica algorítmica como um recurso de suporte a tarefas de projeto urbano pode significar uma postura mais eficiente e dinâmica para o gerenciamento e a proposição de soluções para problemas complexos das cidades. Este paradigma, suportado pelo uso de regras e padrões para lidar com grande fluxo de informações, e baseado na possibilidade de implementar ferramentas ou instrumentos especificamente desenvolvidos (ou modificados) para abordar um ou mais problemas em particular, pode ser empregado em diversos contextos e objetivos. Ou seja, trata-se de uma abordagem ampla (pois potencialmente pode ser aplicada em situações de diversas naturezas) e, ao mesmo tempo, específica (porque pode ser customizada de acordo com diferentes situações) para a procura por soluções.

---

<sup>1</sup> No contexto do presente trabalho, este termo se refere a abordagem de um problema por meio do método da Modelagem Matemática (páginas 5 e 6).

## MODELAGEM PARAMÉTRICA

Velten (2009) descreve a modelagem matemática (ou simplesmente modelagem) como a área do conhecimento que utiliza modelos matemáticos para a simulação de sistemas reais, com o objetivo de prever seu comportamento. Neste cenário, e de uma maneira geral, a modelagem matemática pode ser definida como uma abordagem metodológica que pretende descrever um determinado fenômeno (e. g. distribuição de cargas em um edifício, comportamento aerodinâmico de um automóvel, entre outros) para que se obtenha previsões (ou informações) acerca de seu comportamento. A este respeito, Minsky (1968) acrescenta que para um observador B, um objeto A' é um modelo de um objeto A, na medida em que B pode usar A' para responder às perguntas que lhe interessam sobre A.

A modelagem paramétrica, no entanto, se apresenta como introdutora de uma modificação fundamental aos paradigmas de modelagem convencional, uma vez que possibilita que as partes de um dado modelo se relacionem e se modifiquem juntamente, de maneira coordenada.

Modelar parametricamente, portanto, significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo (WOODBURY, 2010), o que demanda algumas habilidades, entre elas: i) conceber fluxos de dados; ii) pensar abstratamente; iii) pensar matematicamente, e; iv) pensar algoritmicamente. Parametrizar significa definir os parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico (SILVA, 2010).

Para Silva e Amorim (2010), a modelagem paramétrica é regulada pela declaração dos parâmetros de um objeto particular. Isto é, a modelagem paramétrica apresenta uma abordagem essencialmente sistêmica, que permite considerar relações entre os diversos elementos de um código, possibilitando constituir um verdadeiro complexo de elementos em interação - um todo que se caracteriza através das interrelações entre suas diversas partes constituintes. Henriques e Bueno (2010) entendem que a modelagem paramétrica em contexto algorítmico corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, geométricas e paramétricas, em uma determinada sequência, para resolver um problema específico.

Para Silva (2010), a aplicação da modelagem paramétrica como suporte a tarefas de planejamento urbano possui grande potencial para melhorar a sistemática de avaliação e subsequente argumentação para propostas realizadas em áreas urbanas, uma vez que os componentes constituintes de um modelo urbano também compartilham similaridades que podem ser definidas parametricamente. Atributos como densidade, uso, forma, espaço e tipologia - que tipicamente pertencem ao planejamento urbano - podem ser definidos parametricamente (STEINØ e VEIRUM, 2005). Sendo assim, é possível não apenas contribuir para processos de projeto do espaço urbano mais eficientes e dinâmicos, mas também avaliar os prós e contras de cenários com diversos ajustes para diferentes parâmetros e atributos.

## LÓGICA ALGORÍTMICO-PARAMÉTRICA

O termo “lógica algorítmico-paramétrica” é utilizado, no contexto deste trabalho, para se referir a uma abordagem metodológica que pressupõe a associação entre a lógica algorítmica e a modelagem paramétrica, ou seja: a uma forma de pensamento que preconiza o aprofundamento em questões de programação para conferir um uso mais frutífero aos recursos computacionais em atividades criativas (ou, mais especificamente, em atividades de análise e proposição em contextos urbanísticos) por meio de, basicamente: i) a decomposição de

uma determinada questão em um conjunto de etapas simples, que possam ser computadas e associadas de maneira a fornecer, por meio de um conjunto de instruções ou ferramentas, uma resposta a uma questão colocada ou uma solução a um problema proposto, e; ii) a definição dos atributos (ou parâmetros) necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo que se pretende elaborar, possibilitando que diferentes partes deste modelo se relacionem e modifiquem juntamente, de maneira coordenada.

Em resumo, a lógica algorítmico-paramétrica é aquela que implica na especificação dos parâmetros de um objeto particular e que corresponde à codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas, cuja a intenção é a programação, a alteração, a combinação e o compartilhamento de códigos para gerenciar dados e realizar operações lógicas, de maneira a fornecer suporte à diversas tarefas de planejamento urbano.

Implementar a lógica algorítmico-paramétrica ou construir algoritmos parametricamente, neste senso, significa relacionar dados, condições e variáveis, o que implica em pensar na relação entre as partes e nas decorrências de recomposições destas relações. Relacionar e recompor impõem modificações fundamentais na maneira pela qual se empregam os recursos computacionais em tarefas de projeto e planejamento urbano. Sob esta ótica, modelos paramétricos diferem essencialmente dos sistemas tradicionais de modelagem digital, por permitirem a elaboração de propostas flexíveis, capazes de responder a modificações diversas e por manterem a capacidade de um dado modelo alterar-se constantemente, bem como por permitirem gerar (e testar) grande quantidade de versões dentro de um ambiente controlado, a partir da alteração de um ou mais parâmetros específicos.

## MODELOS DE APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS NO CONTEXTO URBANO

A presente seção tem o objetivo de examinar diferentes modelos de aplicações computacionais orientados para contextos urbanísticos, de maneira a estabelecer um enquadramento sobre a aplicação destes recursos, mais especificamente aqueles que podem se relacionar com a lógica algorítmico-paramétrica e de sistemas<sup>2</sup> computacionais voltados a soluções de problemas urbanos, com o intuito de sistematizar um cenário de pesquisas já desenvolvidas nesta área. Vale ressaltar que, durante o processo de revisão narrativa realizado, foi encontrado apenas um modelo brasileiro direcionado a atuar com problemas urbanos adotando as lógicas abordadas por este trabalho.

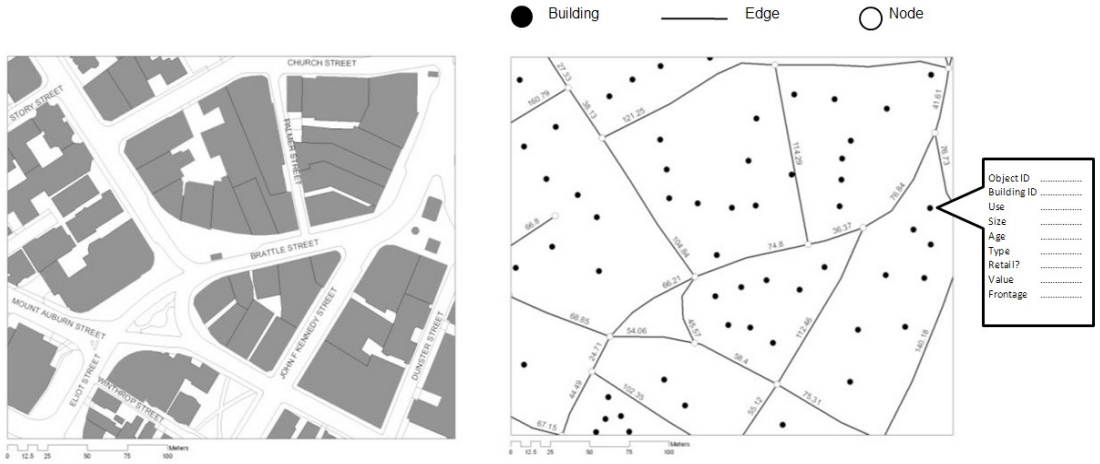
### URBAN NETWORK ANALYSIS – (SEVTSUK E MEKONNEN, 2012; SEVTSUK E KALVO, 2015)

O *Urban Network Analysis* (UNA) consiste em um conjunto de ferramentas desenvolvido inicialmente para atuar junto a plataforma *ArcGIS* (Sevtsuk e Mekonnen, 2012), que mais tarde foi aprimorado para operar parametricamente, junto ao software *Rhinoceros3D* (Sevtsuk e Kalvo, 2015). Os modelos foram desenvolvidos no âmbito do *City Form Lab* (Universidade de Havard - Cambridge, Estados Unidos), com funcionalidades que permitem avaliar distâncias, acessibilidade e encontros entre pessoas ou lugares ao longo de redes espaciais urbanas, visando a tornar a modelagem quantitativa igualmente acessível para a mobilidade de pedestres e bicicletas como é para o veículo motorizado (SEVTSUK e KALVO, 2015; SEVTSUK, 2018).

De acordo com Sevtsuk e Mekonnen (2012), ao contrário das ferramentas de análise de redes urbanas anteriores que operam com dois elementos de rede

<sup>2</sup> O termo “sistema” pode se referir a um “conjunto de elementos distintos, com características e funções específicas, organizadas de forma natural ou por meios artificiais” (MICHAELIS, 1998). No contexto deste paper, este termo se refere de forma mais específica a um conjunto de estratégias, procedimentos, ferramentas e etapas estritamente articulados para auxiliar em tarefas de análise e de otimização de desempenho em configurações formais de áreas urbanas.

(nós e arestas), as ferramentas UNA incluem um terceiro elemento de rede, os edifícios, que podem ser utilizados como unidades espaciais de análise para todas as ferramentas (Figura 01), podendo ser ponderados de acordo com suas características particulares, e por consequência, obtendo resultados mais precisos e confiáveis.



**Figura 1:** Esquerda: Desenho do plano da Harvard Square em Cambridge, MA. Direita: uma representação gráfica do mesmo desenho do plano no ArcGIS.

**Fonte:** MIT City Form Lab.

Todas as análises realizadas pelas ferramentas do UNA exigem que os usuários forneçam três *inputs*: (i) uma rede (dados em GIS, CAD ou *Open Streetmap*), ao longo da qual o movimento é analisado, (ii) as origens da viagem e (iii) os destinos da viagem. As origens e destinos podem, opcionalmente, carregar dados numéricos para atribuir pesos diferentes para as análises, como indicar o número de residentes em cada edifício, por exemplo. É possível, também, avaliar as estimativas de acessibilidade, fluxo de pedestres ou a viabilidade de uma infraestrutura (SEVTSUK, 2018).

Sevtsuk e Kalvo (2015) afirmam ainda que o conjunto de ferramentas do UNA para *Rhinoceros3D* é significativamente mais rápida que no GIS, tendo a capacidade de criar e editar redes mais rapidamente a partir de qualquer “curva” no software e tornando o processo de projeto e de análise mais simples e intuitivo, em que as redes podem ser projetadas, avaliadas e redesenhadas em ciclos contínuos para melhorar suas configurações. Neste sentido, as opções analíticas disponíveis para o usuário na versão para *Rhinoceros3D* se expandiram para 21 ferramentas, possibilitando um controle mais preciso dos resultados e da análise urbana como um todo (Figura 02).



**Figura 2:** Interface UNA Toolbar para Rhinoceros3D.

**Fonte:** MIT City Form Lab

O conjunto de ferramentas do UNA para *Rhinoceros3D* inclui funções-chave que produzem resultados de análise de rede, são elas: (i) *Accessibility Indices*, (ii) *Service Area*, (iii) *Redundant Paths*, (iv) *Betweenness*, (v) *Closest Facility*, (vi) *Find Patronage*, (vii) *Distribute Weights* e (viii) *Clusters*. Neste contexto, Sevtsuk (2018) aponta que essas funções-chave disponíveis permitem: analisar como um determinado conjunto de destinos é acessível a partir de um determinado conjunto de origens ao longo das redes; entender a demanda de viagem não-motorizada; avaliar quais segmentos de rua ou caminhos para pedestres podem ser utilizados em viagens; estimar quantos usuários tendem a frequentar os serviços ao longo do caminho; detectar grupos de destinos próximos na rede, destacando quais conjuntos de serviços e facilidades podem funcionar como aglomerações, atraindo mais visitantes; informar que locais em uma cidade são melhores ou piores para determinados usos e atividades; estimar quantos e que



tipos de usuários os espaços públicos ou investimentos em infraestrutura podem beneficiar, bem como; analisar como uma mudança na forma construída ou nos padrões de uso do solo pode influenciar a atividade dos pedestres e a demanda de serviços em outros locais.

### **CITYMAKER - BEIRÃO (2012)**

O *CityMaker*, um produto da tese<sup>3</sup> de doutoramento de José Beirão, foi desenvolvido no âmbito da faculdade de arquitetura da Universidade Técnica de Delft. A pesquisa, que se concentrou na elaboração de ferramentas generativas desenvolvidas para atuar especificamente em contextos urbanos, também é parte integrante do projeto de pesquisa *City Induction*<sup>4</sup> (DUARTE et al., 2012), e articula ferramentas baseadas em gramáticas da forma (Stiny e Gips, 1972), com uma orientação especial em atuar suportando a realização de tarefas de planejamento urbano. O nome *CityMaker* remete ao conceito de CIM (*City Information Modeling*), uma abordagem que estende o conceito de BIM (*Building Information Modeling*) para o espaço urbano (AMORIM, 2015).

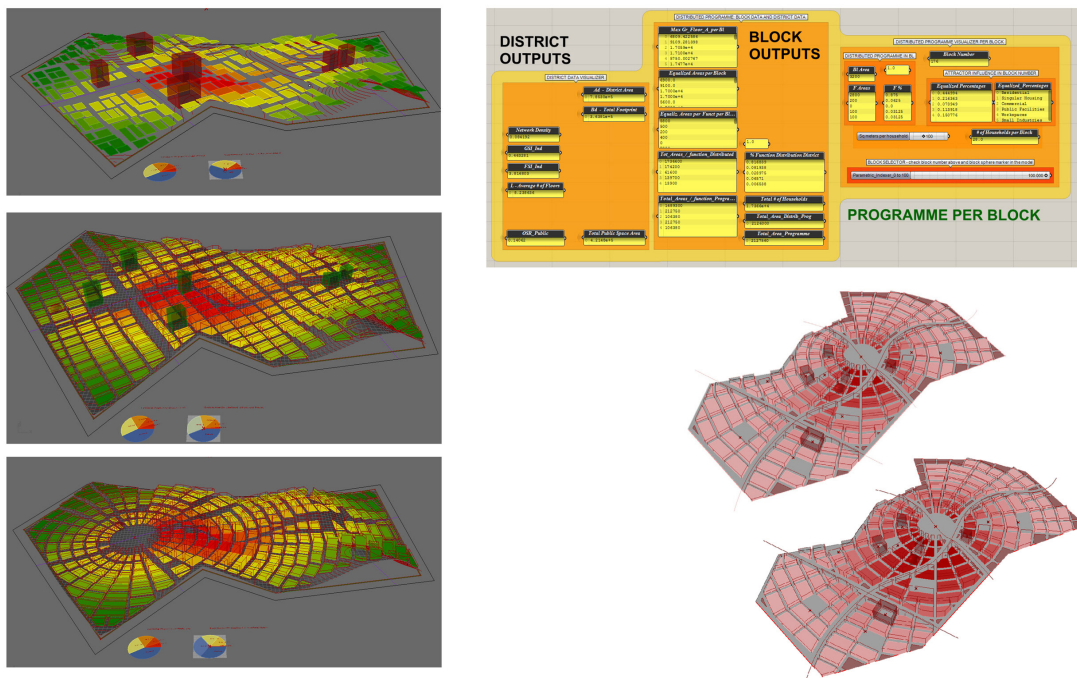
O modelo desenvolvido por Beirão (2012) procura conceber soluções alternativas para um determinado contexto urbano, por meio da combinação de um conjunto de padrões formais de projeto e da “codificação de movimentos tipicamente utilizados em tarefas de projeto urbano” (p.13, tradução nossa). A combinação de padrões objetiva obter diferentes layouts, que podem ser ajustados por meio da manipulação de diversos parâmetros, considerando vários indicadores. Ainda segundo Beirão (2012), o desenvolvimento dos padrões implementados no modelo foi elaborado tomando como base a observação de procedimentos típicos de projeto urbano, codificando-os como gramáticas discursivas e posteriormente transformando-os, por meio da lógica algorítmico-paramétrica, em padrões de projeto.

Em síntese, o modelo *CityMaker* permite que as possibilidades de soluções em um projeto sejam encontradas por meio de um conjunto de premissas programáticas. Dessa forma, as soluções são modificadas de acordo com a alteração dos parâmetros, ao mesmo tempo em que é possível verificar as alterações dinamicamente nos indicadores urbanos referentes a cada uma das soluções avaliada. A Figura 03 ilustra a utilização de *CityMaker* em contexto algorítmico-paramétrico, sob a plataforma do plugin *Grasshopper*, para *Rhinoceros3D*.

<sup>3</sup> BEIRÃO, J. *CityMaker / Designing Grammars for Urban Design*. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Delft University of Technology, Delft, 2012.

<sup>4</sup> Além de José Beirão, também atuaram no projeto de pesquisa *City Induction* os pesquisadores José Pinto Duarte, Nuno Montenegro e Jorge Gil. O projeto foi desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa *Design Computation Group*, da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.





**Figura 3:** Prova de conceito de CityMaker elaborada por Beirão (2012). As três imagens à esquerda mostram três alternativas para a malha urbana. O canto superior direito apresenta a interface de dados em que os indicadores de densidade são mostrados em escalas separadas (neste caso, distrito e quadra). O canto inferior direito apresenta a variação dos usos na malha proposta (uso comercial e residencial).

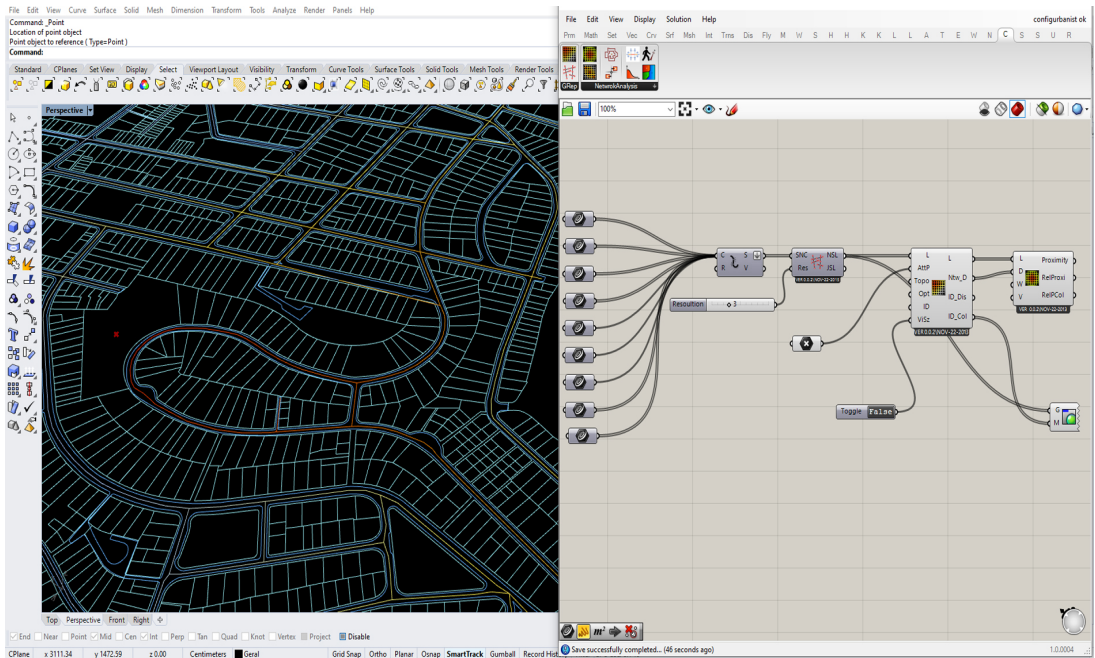
**Fonte:** Beirão (2012, p. 213).

### CONFIGURBANIST - NOURIAN ET AL. (2015)

O modelo foi desenvolvido por Pirouz Nourian, após algumas ideias articuladas junto de José Beirão (autor do modelo *CityMaker*) em projetos desenvolvidos no ano de 2011 (BEIRÃO, NOURIAN e VAN WALDERVEEN, 2011; BEIRÃO, NOURIAN e MASHHOODI, 2011). O *Configurbanist* foi apresentado em 2015 no eCAADe (*Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*), em um artigo submetido por Pirouz Nourian, Samaneh Rezvani, Sevil Sariyildiz e Frank van der Hoeven, todos pesquisadores da Universidade Técnica de Delft.

É composto por um conjunto de ferramentas algorítmico-paramétricas associadas (Figura 04) que, segundo os autores, possui como objetivo contribuir para o desenvolvimento de um método abrangente de se planejar espaços urbanos, respondendo dois questionamentos básicos: “como definir uma localização mais apropriada para facilitar a acessibilidade ao ciclismo para um número de famílias e localidades relevantes?” e “como é possível planejar uma rede de ciclismo, levando em conta a preferências dos usuários para essa ciclovias?” (NOURIAN et al., 2015, p.554, tradução nossa).

Considerando as duas perguntas que impulsionaram o seu desenvolvimento, o modelo pretende contribuir “para análise de redes urbanas, considerando aspectos cognitivos e físicos relacionados às atividades de caminhar e do ciclismo, em relação à configuração espacial urbana, sob aspectos físicos e topológicos” (NOURIAN et al., 2015, p.554, tradução nossa).



**Figura 4:** O plugin Cheetah-The Configurbanist em funcionamento.

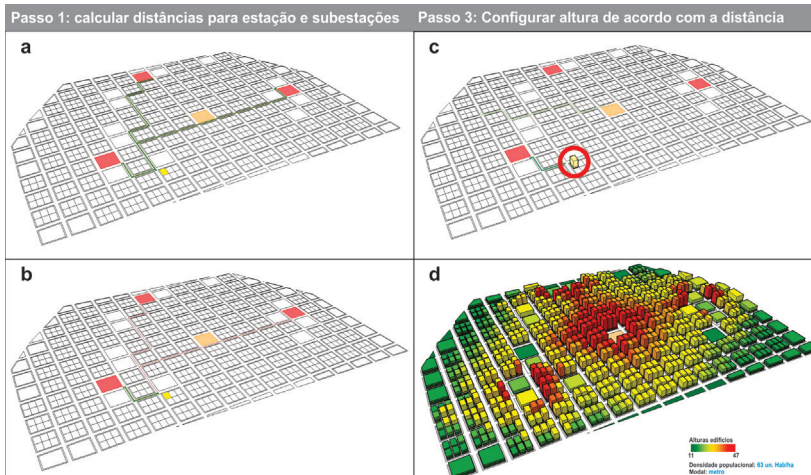
**Fonte:** Dos autores.

### CITYMETRICS - LIMA (2017)

O modelo *CityMetrics*, um produto da tese<sup>5</sup> de doutoramento de Lima (2017), foi desenvolvido no âmbito do programa PROURB (Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro) e na Faculdade de Arquitetura de Lisboa<sup>6</sup>, sob orientação de José Kós, Rodrigo Paraízo e Nuno Montenegro. Se apresenta como um sistema que articula métricas de avaliação de desempenho a recursos e funcionalidades algorítmico-paramétricas, desenvolvido para atuar dentro do plugin *Grasshopper*. O modelo foi desenvolvido para auxiliar tarefas de análise e planejamento urbano, viabilizando inclusive otimizações em diferentes aspectos relativos ao grau de eficiência e às possibilidades de operação de configurações geométricas e algébricas de uma área urbana (Figura 05). O sistema foi elaborado para mensurar e otimizar o desempenho de configurações urbanas por meio de métricas relacionadas a princípios mensuráveis, derivados do DOTS - Desenvolvimento Orientado pelo Transporte Sustentável, utilizando para a construção de Sistemas Generativos a lógica da Linguagem de Programação Visual (LIMA et al., 2019).

<sup>5</sup>LIMA, F. Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2017. Tese (Doutorado em Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

<sup>6</sup>O doutoramento em questão contou com estágio doutoral na Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.



**Figura 5:** Exemplo de utilização de CityMetrics.

**Fonte:** Dos autores.

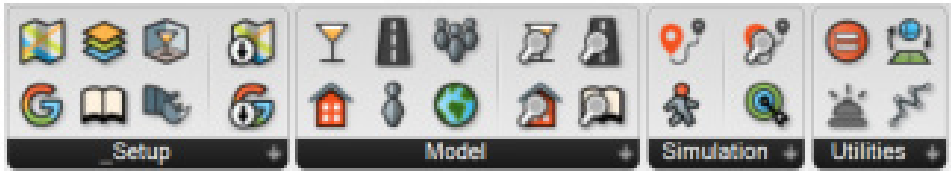
Deste modo, o sistema computacional *CityMetrics* desdobra-se nos seguintes algoritmos (LIMA, 2017): (i) Algoritmo de Proximidade Física (APF) - mede a distância entre um alvo (uma amenidade) e um (ou todos) locais em uma vizinhança (origens). Nesse sentido, o algoritmo proposto calcula o(s) caminho(s) com distância(s) física(s) menor(es) entre um alvo e um (ou todos) destino(s) em um dado recorte urbano, considerando declive(s) no(s) caminho(s); (ii) Algoritmo de Proximidade Topológica (APT) - calcula a proximidade considerando métricas topológicas, usando conceitos da teoria da Sintaxe Espacial (Hillier e Hanson, 1984); (iii) Algoritmo de Variedade de Serviços - calcula as distâncias médias entre uma determinada fonte e todos os alvos próximos em uma determinada categoria de serviços urbanos; (iv) Algoritmo de Recorrência de Serviços (ARS) - calcula a proporção do número de alvos relatados (em cada categoria de serviços) e o número total de locais em uma área pesquisada; (v) Algoritmo de Uso Misto (AMXI) - calcula a proporção entre a soma de todas as áreas residenciais e não residenciais de uma localidade, fazendo uma comparação dessas proporções (Hoek, 2008); e (vi) Algoritmo de Indicadores *Spacematrix* - calcula os atributos de densidade das áreas estudadas, informando três indicadores fundamentais propostos por Pont e Haupt (2010): intensidade (*Floor Space Index*, FSI), Cobertura (*Ground Space Index*, GSI) e Densidade de Rede (*Network Density*, N).

Lima et al. (2019) ressaltam que o *CityMetrics* não se destina a atuar como um solucionador automático independente e nem se restringe a implementações exclusivas do DOT, sendo o papel dos muitos atores envolvidos nas tarefas de planejamento urbano indispensável, uma vez que, serão esses os responsáveis em estabelecer os objetivos, alimentar o sistema e considerar aspectos não-programáveis e subjetivos da análise urbana.

## URBANO TOOLBOX - DOGAN et al. (2018)

O Urbano Toolbox, modelo desenvolvido por Dogan, Samaranayake e Sarraf, (2018), foi apresentado em 2018 no SimAUD (Simpósio de Simulação para Arquitetura e Planejamento Urbano) como um modelo computacional paramétrico, ou um conjunto de ferramentas paramétricas, que permitem mensurar indicadores urbanos relacionados ao transporte ativo. Esse conjunto de ferramentas opera no ambiente CAD Rhinoceros3D, e pode ser executado por meio de um plugin para a plataforma de linguagem de programação visual (VPL) Grasshopper (Figura 6), onde o projetista cria um modelo paramétrico de mobilidade urbana, executando análises de rede e simulações de transporte por meio de uma plataforma computacional.





**Figura 6:** Interface do plugin dentro do Rhinoceros3D.

**Fonte:** Dogan, Samaranyake e Saraf (2018, p. 274).

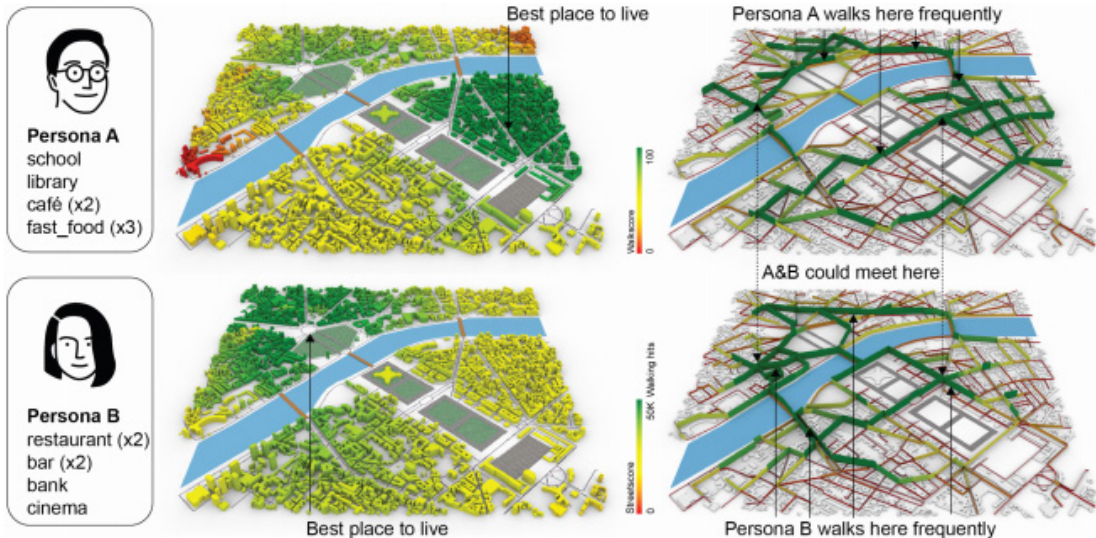
O Urbano Toolbox articula três métricas básicas: (i) Walkscore (BREWSTER et al., 2009): versão específica adaptada ao modelo; (ii) Amenityscore: métrica que computa a demanda geral por serviços urbanos que deve ser esperada, evitando que se adicionem serviços em excesso para equilibrar o Walkscore; (iii) Streetscore: métrica de quantas pessoas usam cada rua, que também é calculada durante as simulações. Isso permite que o projetista meça a utilização dos pedestres de cada rua, o que auxilia decisões como a largura de calçada, posicionamento de faixas de pedestres e até mesmo considerar a criação de ruas exclusivas para o uso de pedestres.

A partir da rede de ruas e dos contornos das edificações (dois requisitos fundamentais para alimentar o sistema), é possível construir um modelo de viagem com as informações mínimas necessárias. O Urbano pode importar esses dados de fontes existentes, como shapefiles, dados GIS municipais e Open Streetmap. Por meio das geometrias estabelecidas no Rhinoceros3D, o projetista começa então a modelar: o sistema de mobilidade (modelo de viagem) é criado a partir da geometria e dos metadados fornecidos e, em seguida, é possível executar as simulações e visualizar os resultados dentro da estrutura Rhinoceros3D + Grasshopper. O modelo procura encontrar a viagem mais curta entre dois pontos ou encontrar uma viagem entre determinada origem e seu serviço urbano mais próximo, considerando uma atividade específica.

Os resultados encontrados pelo modelo (Walkscore, Amenityscore e Streetscore) estão diretamente relacionados com a densidade e a distribuição de serviços urbanos, bem como com a conectividade dentro da rede urbana, o que facilita a compreensão da lógica do sistema e qualifica o modelo ao suporte de análises urbanas e como ferramenta de auxílio à tomada de decisões (Figura 7). O modelo também permite a máxima extensibilidade em termos dos diferentes tipos de simulação que o usuário é capaz de executar, além das métricas que podem ser calculadas. Considerando que o grupo de usuários-alvo é familiarizado com a plataforma Rhinoceros3D e Grasshopper, o Urbano Toolbox pode ser implementado sem muitas dificuldades, reduzindo significativamente as barreiras de entrada planejadores urbanos não especializados que queiram aplicá-lo a um caso de estudo.

**Figura 7:** Visão geral dos elementos de uma simulação no Urbano Toolbox.

**Fonte:** Dogan et al. (2018, p. 278)



## ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS

Os modelos elaborados por Beirão (*CityMaker*), e Nourian et al. (*Configurbanist*), além de confirmarem a grande potencialidade da aplicação computacional em situações urbanas, possuem em comum o fato de se apresentarem sob a forma de sistemas. Em paralelo, o modelo computacional de Lima (*CityMetrics*), é um sistema que apresenta a peculiaridade de avançar na implementação algorítmico-paramétrica de atributos de avaliação de desempenho em tarefas de análise e otimização de configurações geométricas urbanas, visando a tornar estas tarefas mais dinâmicas e eficientes, suportando a tomada de decisão em processos de projeto urbano. No entanto, nem o modelo de Beirão (*CityMaker*) e nem o de Lima (*CityMetrics*) se apresentam sob a forma de plugins, o que restringe as possibilidades de popularização destes sistemas. O modelo de Sevtsuk et al. - um plugin - (*Urban Network Analysis*) pode ser implementado em duas plataformas diferentes (*Rhinoceros3D* e *ArcGIS*), podendo atuar apenas de forma paramétrica ou também sob a lógica algorítmico-paramétrica, enquanto o modelo de Dogan et al. (*Urbano Toolbox*) se apresenta sob a forma de um plugin que pode ser utilizado apenas na plataforma *Rhinoceros3D + Grasshopper*.

Sob o ponto de vista do escopo dos modelos, é possível perceber que: i) o *Urban Network Analysis* aborda questões relacionadas à acessibilidade urbana, ao fluxo e ao encontro de pessoas; ii) o *CityMaker* possui um direcionamento mais voltado para a aplicação da Gramática da Forma e para a elaboração automatizada de desenhos urbanos; iii) o *CityMetrics* aborda mais especificamente ferramentas relacionadas à acessibilidade ao transporte, à caminhabilidade, à diversidade de usos e à densidade; iv) o *Configurbanist* é mais diretamente relacionado à questões de transporte ativo (caminhada e bicicleta) e; v) o *Urbano Toolbox* permite mensurar indicadores urbanos relacionados ao transporte ativo. O Quadro 01 sintetiza as análises comparativas realizadas entre os modelos.

Modelos	É um plugin?	Natureza da abordagem	O que aborda:	Software compatível:
Urban Network Analysis	Sim	Paramétrico / Algorítmico-paramétrico	Acessibilidade / encontros e fluxos de pessoas	ArcGIS e Rhinoceros3D
CityMaker	Não	Algorítmico-paramétrico	Desenho Urbano / Gramática da Forma	Rhinoceros3D / Grasshopper
Configurbanist	Sim	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade	Rhinoceros3D / Grasshopper
CityMetrics	Não	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade, Diversidade e Densidade	Rhinoceros3D / Grasshopper
Urbano Toolbox	Sim	Algorítmico-paramétrico	Caminhabilidade	Rhinoceros3D / Grasshopper

**Quadro 1:** Comparativo dos modelos abordados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ainda não se encontrarem tão frequentemente implementadas como no campo específico da arquitetura, as aplicações computacionais especificamente elaboradas para o contexto urbanístico (mais especificamente aquelas relacionadas à lógica algorítmico-paramétrica) têm sido crescentemente desenvolvidas, uma vez que os componentes constituintes de um bairro ou de uma cidade também compartilham similaridades que podem ser definidas parametricamente. Neste panorama, é fundamental que haja clareza quanto à importância de se utilizar aplicações computacionais nas mais diversas tarefas relativas ao planejamento e ao projeto de bairros e cidades, não como substituta ou suplantadora da atividade humana no processo, mas como ferramentas que podem auxiliar no aprimoramento das possibilidades de análise e proposição em contextos urbanísticos.

Neste cenário, os autores reconhecem que há, no escopo do projeto e do

planejamento urbano, aspectos relativos à temporalidade, precisão, limites e incompletudes (entre outras, como os atores envolvidos) que tornam a natureza do projetar urbanístico significativamente diferente daquela que se refere à elaboração de um objeto arquitetônico isolado, por exemplo. Neste sentido, os processos de projeto e de planejamento urbano podem – e devem – ser beneficiados por métodos (e instrumentos) computacionais especificamente elaborados para sua potencialização.

Cabe ainda mencionar que, dos cinco modelos selecionados, apenas um é brasileiro, o que expõe uma certa lacuna de conhecimento na área da produção científica nacional. Essa escassez pode se dar pelo fato de que os modelos analisados possuem uma relação direta de troca de conhecimentos, como é o caso de *CityMaker* e *Configurbanist*, da inserção do *CityMaker* no projeto mais amplo *City Induction*, e da relação de pesquisa entre os autores envolvidos, fazendo-se necessário aprofundar os estudos nessa área, para estreitarmos nossa relação científica com esse campo.

Em síntese, este trabalho descreve e compara algumas contribuições científicas e objetiva contribuir para a discussão sobre o tema e para uma maior disseminação desta lógica, principalmente no que diz respeito à realidade brasileira e sul-americana de pesquisa e inovação.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M. **A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction**. Nova York: Oxford University Press, 1977.
- AMORIM, A. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v.10, n.2, p.87-100, 6 nov. 2015.
- BEIRÃO, J. **CityMaker / Designing Grammars for Urban Design**. 2012. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Delft University of Technology, Delft, 2012.
- BREWSTER, M.; HURTADO, D.; OLSON, S.; YEN, J. **Walkscore.com: A new methodology to explore associations between neighborhood resources, race, and health**. APHA 137th Annual Meeting, Philadelphia: Pennsylvania, 2009. Disponível em: <https://apha.confex.com/apha/137am/webprogram/Paper205082.html>. Acesso em 16 de jun. 2019.
- DOGAN, T.; SAMARANAYAKE, S.; SARAF, N. **Urbano: A New Tool to Promote Mobility-Aware Urban Design**, Active Transportation Modeling and Access Analysis for Amenities and Public Transport. Proceedings of the Symposium for Architecture and Urban Design. Delft, Netherlands, 2018. DOI: 10.22360/simaud.2018.simaud.028.
- DUARTE, J. P.; BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N.; GIL, J. City Induction: A Model for Formulating, Generating, and Evaluating Urban Designs. In: ARISONA, S.; ASCHWANDEN, G.; HALATSCH, J.; WONKA, P. (Eds.). **Digital Urban Modeling and Simulation**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 73-98.
- GIL, J.; BEIRÃO, J.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. **Assessing computational tools for urban design: Towards a “City Information Model”**. FUTURE CITIES [28th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 978-0-9541183-9-6] ETH Zurich (Switzerland) 15-18 September 2010, pp.361-369.
- HENRIQUES, G. **TetraScript: sistema de aberturas responsivo para controlar a luz, de acordo com fatores externos e internos**. 2013. 448 f. Tese (Doutorado em arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2013.
- HENRIQUES, G.; BUENO, E. **Geometrias complexas e desenho paramétrico**. DROPS Ano 10, fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/10.030/2109>. Acesso em: 14 de jul. 2010.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- KILKELLY, M. **5 razões para arquitetos aprenderem programação**. Archdaily, 2015. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/764687/5-razoes-de-por-que-os-arquitetos-devem-aprender-a-programar-sofware>. Acesso em 15 de jun. de 2019.
- KOTNIK, T. Digital Architectural Design



as Exploration of Computable Functions. In: **International Journal of Architectural Computing**, v.8, n.01, 16 p., 2010.

LIMA, F. **Métricas Urbanas**: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2017. Tese (Doutorado em Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

LIMA, F. T. A.; MONTENEGRO, N.; PARRAIZO, R. C.; KÓS, J. R. Citymetrics: sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas. **Oculum Ensaios**, v.16, n.2, p.409-427, 2019. <http://dx.doi.org/10.24220/2318-0919v16n2a4163>

MENGES, A. **Instrumental Geometry. Architectural Design. Techniques and Technologies in Morphogenetic Design**. Londres: Editorial Offices, v. 76, n. 2, 2006.

MICHAELIS. **Moderno dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 1998. Dicionários Michaelis, 2259 p.

MINSKY, M. **Semantic Information Processing**. Cambridge: MIT Press, 1968.

MITCHELL, W. **Computer-aided architectural design**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1977.

MITCHELL, W; McCULLOUGH, M. **Digital Design Media**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

MONTENEGRO, N. **CityPlan**: Contributo para o desenvolvimento de uma metodologia e ferramenta computacional para apoio ao desenho urbano. 2015. 440 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

NOURIAN, P.; REZVANI, S.; SARIYILDIZ, S.; HOEVEN, F. **Configurbanist**: Urban Configuration Analysis for Walking and Cycling via Easiest Paths. In: 33rd eCAADe CONFERENCE, 2015. Viena, Áustria. Anais da 33ª Conferência eCAADe. Viena, Áustria: Universidade Técnica de Viena, 2015. 553-564.

OXMAN, R. **Theory and design in the first digital age**. Design Studies, 27, p. 229-265, 2006.

PICON, A. Foreword. In TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture**. Nova York: Routledge, 2006.

SCHERER, D. **The death of drawing**: Architecture in the age of Simulation. Nova York: Routledge, 2014.

SEVTSUK, A. **Urban Network Analysis**: Tools for Modeling Pedestrian and Bicycle Trips in Cities. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Design, 2018. Disponível em: [https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA\\_user\\_guide\\_2018.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/pr0g3r1j6x0m89y/UNA_user_guide_2018.pdf?dl=0). Acesso em 17 jul. 2019.

SEVTSUK, A.; KALVO, R. **Urban Network Analysis Toolbox for Rhinoceros 3D**. Singapore: City Form Lab, 2015. Disponível em: [https://urbanterrainsdigitalab.files.wordpress.com/2015/11/cityformlab\\_una\\_eng.pdf](https://urbanterrainsdigitalab.files.wordpress.com/2015/11/cityformlab_una_eng.pdf). Acesso em 17 jul. 2019.

SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M. **Urban Network Analysis Toolbox**. International Journal of Geomatics and Spatial Analysis, 22(2), 2012, 287-305. DOI:10.3166/RIG.22.287-305.

SILVA, R. **Urbanismo paramétrico**: parametrizando urbanidade. Recife: Editora UFPE, 2010.

SILVA, R.; AMORIM, L. **Urbanismo paramétrico**: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. In VIRUS. N. 3. São Carlos: Nomads USP, 2010.

STEINØ, N.; VEIRUM, N. **A Parametric Approach to Urban Design**. In: 23rd eCAADe CONFERENCE, 2005. Lisboa, Portugal. Anais da 23ª Conferência eCAADe. Lisboa, Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2005. 679-686.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture**. In Information Processing 71, 1460-1465. North-Holland Publishing Company, 1972.

TEDESCHI, A. **Algorithms-aided design**: parametric strategies using grasshopper. Brianza: Le Penseur, 2014.

TERZIDIS, K. Algorithmic architecture. In: TERZIDIS, K. **Expressive Form**: a conceptual approach to computational design. Nova York: Spon Press, 2003, 67-77.

TERZIDIS, K. **Algorithmic architecture**. Nova York: Routledge, 2006.

VELTEN, K. **Mathematical modeling and simulation**: Introduction for scientists and engineers. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

VEREBES, T. **Masterplanning**: the adaptive city. Nova York: Routledge, 2014.

WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. Nova York: Routledge, 2010.

# DIRETRIZES PARA PROJETO DE AMBIENTE CONSTRUÍDO INCLUSIVO (PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA): REVISÃO SISTEMÁTICA

ARTIGO

**Design Guidelines for Inclusive Built Environment (Hearing Impaired People): Systematic Review**

**Bianca Maria Vasconcelos, Vanessa Santana Oliveira**

**RESUMO:** A Organização Mundial da Saúde – OMS estima que, até 2050, uma em cada dez pessoas, ou seja, mais de 900 milhões no mundo, apresentará quadros de perda auditiva incapacitante. Entretanto, os espaços públicos e privados existentes dificilmente estão preparados para absorver e atender essa parcela considerável da população. Para a construção de um ambiente acessível, verifica-se a necessidade de incorporação dos conceitos do Desenho Universal desde a concepção, mas a literatura oferece pouco suporte para isso. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura com o intuito de coletar e organizar informações acerca das particularidades das pessoas com deficiência (PcD) auditiva, e assim, definir diretrizes de projetos destinadas ao projeto de espaços inclusivos para PcD auditiva. A revisão sistemática foi realizada de acordo com as diretrizes Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Inicialmente, foram encontrados 572 artigos na base de dados, e após a aplicação dos filtros, 8 artigos foram lidos e incluídos na revisão sistemática. Os resultados quantitativos mostraram a escassez de estudos sobre o tema e os resultados qualitativos foram compilados em uma tabela, que apresentou as diretrizes de projetos sugeridas pelos artigos revisados, segundo os Cinco Preceitos do DeafSpace: alcance sensorial; espaço e proximidade; mobilidade e proximidade; luz e cor; e acústica e interferências eletromagnéticas (BAUMAN, 2010). As diretrizes definiram materiais, dimensões, tecnologias assistivas, padrões aceitáveis e outras medidas a serem respeitadas em ambientes inclusivos. Por fim, um quadro-resumo foi idealizado a fim de servir de guia prático na concepção de futuros projetos arquitetônicos acessíveis para as PcD auditiva.

<sup>1</sup> Universidade de Pernambuco

**ABSTRACT:** The World Health Organization (WHO) estimates that by 2050, one in ten people, that is, more than 900 million worldwide, will present disabling hearing loss. However, existing public and private spaces are hardly prepared to assist this considerable portion of the population. In order to build an accessible environment, it is necessary to incorporate the concepts of Universal Design from conception, but the literature offers little support for that. In this context, the purpose of this study was to carry out a systematic review in order to collect and organize information about the particularities of hearing impaired people and thus, to define design guidelines for the construction of inclusive spaces for hearing impaired people. The systematic review was performed according to the preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) procedure. Initially, 572 articles were found in the database and, after applying the filters, 8 articles were read and included in the systematic review. The quantitative results showed the shortage of studies on the subject and the qualitative results were compiled in a table that presented the design guidelines suggested by the reviewed articles, according to the five concepts of DeafSpace: sensory reach; space and proximity; mobility and proximity; light and color and acoustics (BAUMAN, 2010). The guidelines established materials, measurements, assistive technologies, acceptable standard and other measures that must be taken in inclusive environments. Finally, a summary table was developed to serve as a practical guide in conceiving future accessible architectural designs for hearing impaired people.

**Fonte de Financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq  
**Conflito de Interesse:** Não há.  
**Submetido em:** 30/09/2019  
**Aceito em:** 01/03/2020

## How to cite this article:

VASCONCELOS, B. M.; OLIVEIRA, V. S. Diretrizes para projeto de ambiente construído inclusivo (pessoas com deficiência auditiva): revisão sistemática. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v.15, n. 2, p.98-112, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v15i2.162777>



## INTRODUÇÃO

O decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004 define deficiência auditiva como: perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500Hz, 1.000Hz, 2.000Hz e 3.000Hz (BRASIL, 2004). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015) estima que, até 2050, uma em cada dez pessoas, ou seja, mais de 900 milhões no mundo, apresentará quadros de perda auditiva incapacitante. Entre os brasileiros, a Cartilha do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística revelou que 5,10% da população é composta por pessoas com deficiência auditiva, sendo 1,2% relativos à deficiência auditiva severa (BRASIL, 2012).

A comunidade surda se apropria de uma identidade muito estruturada e dificilmente relaciona a sua condição auditiva a uma deficiência, mas a uma cultura separada, de linguagem e práticas próprias (SOLVANG; HAUALAND, 2014). Assim, com a finalidade de proporcionar maior autonomia às pessoas com deficiência auditiva, o Desenho Universal surge como a ferramenta de criação de espaços inclusivos, que possuem os elementos de identificação na sua estrutura funcional. O Relatório Mundial Sobre a Deficiência (2011, p. 4) esclarece que “o ambiente pode ser mudado para melhorar a saúde, evitar incapacidades, e melhorar os resultados finais para as pessoas com deficiência”. O mesmo relatório ainda esclarece que certos fatores ambientais podem atuar como facilitadores ou barreiras para as pessoas com deficiência (PcD), sendo: produtos e tecnologias; ambiente natural ou construído; suporte e relacionamentos; atitudes, serviços, sistemas e políticas públicas.

Os espaços públicos e privados existentes dificilmente estão preparados para absorver e atender essa parcela considerável da população. Ainda muito pouco da perspectiva auditiva tem sido incorporado aos projetos, considerando que a falta de audição dos usuários demanda uma percepção visual apurada do entorno (TYSIMBAL, 2010). Historicamente, pouca atenção se tem dado aos efeitos psicológicos e sociológicos da experiência das PcD auditiva no ambiente construído urbano (RENEL, 2018). As orientações encontradas na NBR9050 (ABNT, 2015), Acessibilidade a edificações, mobiliário e espaços e equipamentos urbanos, ainda não compreendem uma análise aprofundada e total do ambiente para as pessoas com deficiência auditiva, revelando a escassez de embasamento na literatura sobre o tema.

Entende-se, portanto, que a acessibilidade deve ser planejada desde a concepção dos projetos, a fim de evitar transtornos de adaptações posteriores à etapa de execução. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura, com o intuito de coletar e organizar informações acerca das particularidades das PcD auditiva, e assim, definir diretrizes destinadas ao projeto de espaços inclusivos para os surdos.

## METODOLOGIA

Uma revisão sistemática é um método para identificar, selecionar e avaliar toda a literatura relevante acerca da temática pesquisada, a fim de chegar a conclusões mais confiáveis e apontar lacunas a serem preenchidas por futuras pesquisas (BOOTH; PAPAIOANNOU; SUTTON, 2012). E, por possuir um processo padronizado e racional, a revisão sistemática é um atrativo para ilustrar objetividade e transparência aos leitores (JESSON; MATHESON; LACEY, 2011). Nesse sentido, com o intuito de direcionar o estudo a cumprir o propósito da revisão, foi definido o seguinte protocolo de pesquisa:

**Quadro 1:** Protocolo da pesquisa (continua)

Item	Conteúdo
Objetivos	Analisar os componentes ambientais de conforto e utilização, e as propostas de ambientes acessíveis para pessoas com deficiência auditiva.
Resultados	Diretrizes de projeto a serem seguidas, tendo em vista a plena comunicação de usuários com deficiência auditiva.
Palavras-chave	Lighting, labor performance, inclusive design, environment, built environment, background, labor efficiency, universal design, color, ergonomics, hearing impaired, hearing impaired people, hard of hearing e deaf.
Idioma	Inglês e Português.
Base de dados	Scopus

**Quadro 1:** Protocolo da pesquisa (conclusão)

**Fonte:** Elaborado pelas autoras

Item	Conteúdo
Critérios de inclusão	(I) Artigos entre 2009-fevereiro/2019; (I) Artigos em Inglês ou Português; (I) Artigos com foco em PcD auditiva; (I) Artigos que abordavam as dificuldades enfrentadas pelas PcD auditiva no ambiente; (I) Artigos com proposta de melhorias ou adaptações no ambiente.
Critérios de exclusão	(E) Texto indisponível; (E) Artigos que possuíam foco no desenvolvimento de novas tecnologias assistivas; (E) Artigos que não abordavam componentes do ambiente construído sob a ótica do usuário com deficiência auditiva;
Questões de pesquisa	* Quais as principais dificuldades enfrentadas pelas PcDs auditiva no ambiente construído? * Quais são os principais aspectos ambientais a serem considerados para a usabilidade e o conforto de usuários com deficiência auditiva? * Quais as diretrizes para projeto a serem seguidas a fim de garantir a acessibilidade para os surdos? * Quais as oportunidades para futuras pesquisas acerca da influência dos aspectos ambientais para as PcD auditiva?

A revisão sistemática seguiu as diretrizes *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (LIBERATI *et al.*, 2009). A seleção dos artigos foi realizada preenchendo o campo “Title/Abstract/Keyword” da base de dados Scopus com combinações das palavras-chave mostradas no Quadro 1, utilizando o descritor booleano “AND” a fim de filtrar corretamente os resultados.

Os critérios de inclusão de artigos na revisão sistemática obedeceram aos seguintes aspectos: intervalo temporal definido entre 2009 e fevereiro de 2019, língua inglesa ou portuguesa e estudos que abordaram PcD auditiva, que apontaram as barreiras enfrentadas pelas PcD auditiva inseridas no ambiente construído e que propuseram melhorias ou adaptações ambientais focadas na PcD auditiva.

Simultaneamente, foram excluídos os artigos que não possuíam o texto disponível para leitura; que abordavam o desenvolvimento de novas tecnologias assistivas individuais, como aparelhos auditivos ou implantes cocleares, e que não apontaram componentes do ambiente construído para PcD auditiva.

Inicialmente, os critérios foram aplicados à leitura dos títulos e resumos, selecionando os que preencheram os critérios de inclusão ou que criaram alguma dúvida a respeito da sua relevância ao tema estudado, e excluindo os artigos que se encaixaram nos critérios de exclusão. Em seguida, os mesmos critérios foram empregados na leitura completa dos artigos, e assim a seleção final para a revisão sistemática foi definida. Lidos os textos a serem revisados e extraídas as informações importantes, o tratamento dos dados se deu pela estruturação em gráficos e quadros, segundo análise quantitativa e análise qualitativa.

A análise quantitativa compreendeu três gráficos relativos ao número de publicações por ano, ao número de publicações por país e ao país de origem das instituições às quais os autores estão vinculados. Também compreendeu nuvem de palavras construída com as palavras-chave dos estudos incluídos. A análise qualitativa incluiu quatro tabelas que categorizaram o conteúdo de cada artigo, associando às respectivas frequências, segundo o ambiente construído estudado, o perfil do usuário, as dificuldades enfrentadas pelas pessoas com deficiência auditiva na relação usuário-ambiente e a citação dos Cinco Preceitos do *DeafSpace* (BAUMAN, 2010). O projeto *DeafSpace* foi desenvolvido, em 2005, pelo arquiteto Hansel Bauman e se baseou em diversos experimentos, entrevistas e cursos com professores e funcionários da Universidade Gallaudet, instituição educacional voltada para surdos e pessoas com deficiência auditiva nos Estados Unidos, com a finalidade de formular diretrizes construtivas voltadas para a interação dos surdos no ambiente físico (EDWARDS; HAROLD, 2014). Fransolin *et al.* (2016) explica que há Cinco Preceitos do *DeafSpace*, como mostra o Quadro 2:

Preceitos	Definição
Alcance Sensorial	Facilitar a consciência espacial “em 360 graus”, a orientação e a mobilidade, por meio de pistas visuais e táteis, como sombras, vibrações, leitura de mudança de expressão e posição dos outros ao redor.
Espaço e Proximidade	Permitir comunicação visual clara, por meio de layout dos mobiliários e dimensões do ambiente construído adequadas.
Mobilidade e Proximidade	Promover comunicação visual e verificação dos riscos, enquanto os surdos caminham e se comunicam simultaneamente.
Luz e Cor	Garantir iluminação adequada com controle da luminosidade, luz suave e difusa, contrastes de tons de pele e realce da linguagem de sinais.
Acústica e Interferências Eletromagnéticas	Impedir que o som distraia usuários de aparelhos auditivos de assistência ou implantes cocleares, através principalmente do controle da reverberação das ondas sonoras.

**Quadro 2:** Os Cinco Preceitos do *DeafSpace*

**Fonte:** Fransolin *et al.* (2016).

Ainda na análise qualitativa, um quadro final foi feito para organizar as propostas de intervenções ambientais de cada um dos artigos, estruturando conforme os Cinco Preceitos do *DeafSpace*. Por fim, com base nos resultados encontrados, desenvolveu-se uma discussão de forma a responder as questões de pesquisas definidas no protocolo de pesquisa.

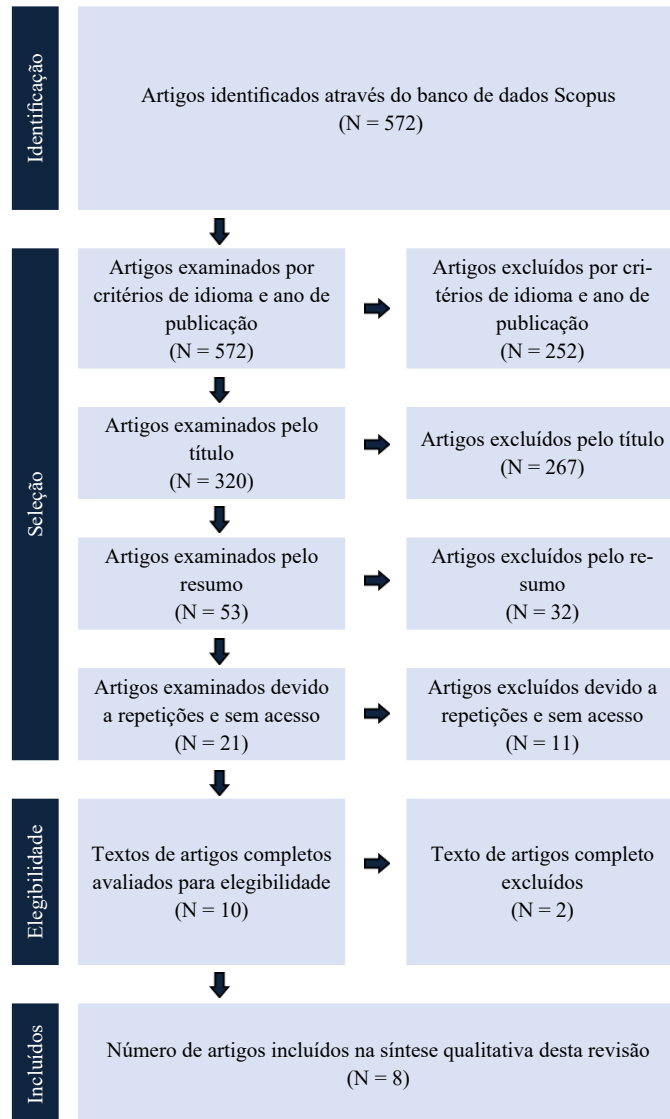
## RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 572 artigos na base de dados Scopus. Após o emprego dos filtros do intervalo temporal, de 2009 a 2019, e do idioma, inglês e português, restaram 320 estudos a serem analisados pelo título.

Através da leitura de todos os títulos, 267 artigos não atenderam aos critérios de inclusão. Dos 53 que tiveram seus resumos lidos, apenas 21 estudos se mostraram relevantes ao tema, porém, 11 estavam repetidos ou não tinham seus textos disponíveis, totalizando 10 artigos para a leitura completa. Finalmente, 2 artigos preencheram os critérios de exclusão, resultando em 8 artigos lidos e incluídos na revisão sistemática. Esse processo é ilustrado em formato de fluxograma na Figura 1.

**Figura 1:** Fluxograma para seleção dos artigos

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

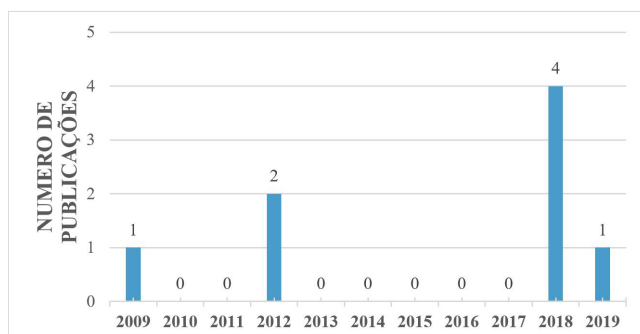


## RESULTADOS QUANTITATIVOS

A análise quantitativa dos artigos revisados contemplou quatro categorias: ano de publicação, país de publicação, nacionalidade dos autores e palavras-chave utilizadas nos estudos, representadas por meio de gráficos. Deste modo, objetivou-se conhecer o cenário dos estudos desenvolvidos sobre o tema no período de 2009 a 2019.



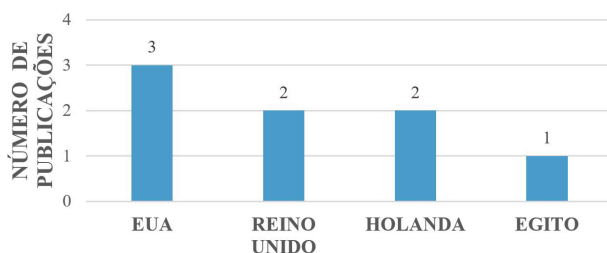
O Gráfico 1 apresenta o número de artigos segundo o ano de suas publicações. Apesar da escassez dos artigos dificultar uma análise consistente, é possível afirmar que há um período considerável, de 2013 a 2017, de ausência de trabalhos desenvolvidos que abordem a relação dos aspectos do ambiente construído e a PcD auditiva. Ao mesmo tempo, o número de artigos de 2012 a 2018 duplicou, ou seja, quatro artigos são de 2018, o que pode indicar um crescimento e gerar grande expectativa para os próximos anos.



**Gráfico 1:** Número de publicações por ano

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

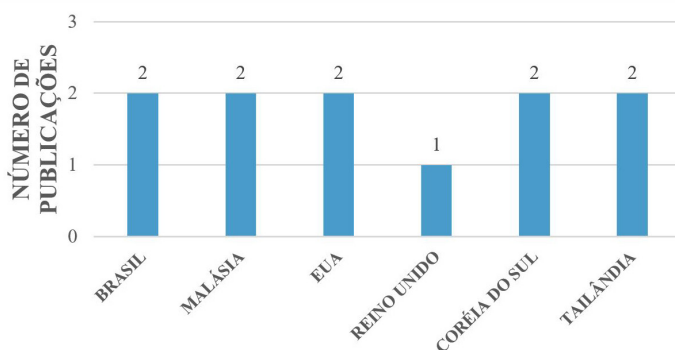
O Gráfico 2 ilustra o número de publicações conforme o país sede da revista ou congresso. Os Estados Unidos ficaram na liderança com três publicações, seguido por Reino Unido e Holanda com dois artigos cada, e por fim, Egito, com uma publicação apenas. Pode-se afirmar que o Brasil não possui expressividade no tema estudado.



**Gráfico 2:** Número de publicações por país

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

De acordo com o Gráfico 3, seis autores estão vinculados a instituições asiáticas, o que pode indicar uma maior necessidade ou interesse desse continente em dar visibilidade à acessibilidade para os surdos. Além disso, a América do Norte e América Latina representam dois autores cada, e por fim, Europa com apenas um autor. É importante esclarecer que autores presentes em mais de um artigo foram considerados apenas uma vez na análise.



**Gráfico 3:** País de origem da instituição a que os autores estão vinculados

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

zada pelo *Google Docs*, e ilustra a frequência das palavras-chaves escolhidas pelos autores dos oito estudos incluídos na revisão sistemática.

**Figura 2:** Palavras-chave com maior recorrência

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.



Como as maiores palavras são as mais frequentes, torna-se claro que a palavra “*Design*” foi a mais empregada, o que pode ser explicado pelo termo ser a tradução de projeto e ter relação direta com as diretrizes do ambiente construído para PcD auditiva. Em seguida, a palavra-chave mais frequente foi “*Environment*”, que significa ambiente, confirmando que os estudos são focados na análise ambiental. Entretanto, os termos “*Deaf*”, “*Hard of Hearing*” e “*Hearing Impaired*”, utilizados para se referir às PcD auditiva, surpreendentemente não apareceram em destaque na nuvem de palavras.

### RESULTADOS QUALITATIVOS

Os resultados qualitativos foram concebidos por meio das tabelas apresentadas a seguir, com a finalidade esmiuçar os oito artigos da revisão sistemática e facilitar a identificação de relações a serem discutidas. Inicialmente, a Tabela 1 categoriza os artigos em relação ao ambiente construído investigado nos estudos, sendo: sala de aula, ambiente de trabalho, casas, ambientes internos e externos à edificação e ambientes não especificados pelos artigos.

**Tabela 1:** Número de artigos por ambiente construído

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Nº	Ambiente Construído	Nº de artigos	Referências
1	Sala de aula	2	([1][3]
2	Ambiente de trabalho	2	[2][6]
3	Casas	1	[5]
4	Ambiente público	1	[7]
5	Não especificado	2	[4][8]

Foi verificado que os artigos também abordaram outros tipos de defi-

ciência. A Tabela 2 identifica os cinco perfis do usuário do ambiente construído discutidos nos estudos, quantificando a aparição de PcD auditiva, visual, física, cognitiva e idosos com audição reduzida nos oito artigos analisados. Cabe ressaltar que o mesmo estudo pode aparecer em mais de um perfil.

Nº	Usuário	Nº de artigos	Referências
1	Pessoa com deficiência auditiva	8	[1][2][3][4][5][6][7][8]
2	Pessoa com deficiência visual	4	[4][6][7][8]
3	Pessoa com deficiência física	2	[6][7]
4	Pessoa com deficiência intelectual	1	[8]
5	Idosos com audição reduzida	1	[5]

**Tabela 2:** Número de artigos por usuário

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Visando verificar as principais dificuldades existentes para as PcD auditiva em ambientes construídos não acessíveis, a Tabela 3 compilou em oito tipos de dificuldades: comunicação, obtenção de informações, distinção de sons, convivência com pessoas sem deficiência, visualização, conforto térmico, conforto do mobiliário ou layout e navegação.

Nº	Dificuldades enfrentadas	Nº de artigos	Referências
1	Comunicação	6	[1][2][3][4][5][6]
2	Obtenção de informações	6	[1][2][3][6][7][8]
3	Distinção de sons	5	[1][2][3][5][8]
4	Convivência com pessoas sem deficiência	4	[1][2][3][6]
5	Visualização	4	[1][4][5][3]
6	Conforto térmico	2	[1][3]
7	Conforto do mobiliário/Layout	2	[1][3]
8	Navegação	1	[1]

**Tabela 3:** Número de artigos por dificuldade enfrentada pela PcD auditiva

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Após identificação das principais dificuldades, tornou-se necessário conhecer os aspectos fundamentais do espaço que influenciam a experiência das PcD auditiva como usuários do ambiente construído. Para isso, a Tabela 4 apresenta, em ordem decrescente de aparição, os componentes ambientais que mais influenciam um ambiente acessível, ou seja, qual a natureza das mudanças a serem feitas com os maiores potenciais de impacto na autonomia das pessoas com deficiência auditiva.

Nº	Preceitos do <i>DeafSpace</i>	Nº de artigos	Referências
1	Alcance Sensorial	7	[1][2][3][5][6][7][8]
2	Acústica e Interferências Eletromagnéticas	5	[1][2][3][5][8]
3	Luz e Cor	4	[1][3][4][5]
4	Espaço e Proximidade	3	[1][3][5]
5	Mobilidade e Proximidade	2	[1][3]

**Tabela 4:** Número de artigos por preceito do *DeafSpace*

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Com o intuito de compreender as propostas de concepção de ambientes que promovem a interação com pessoas com deficiência auditiva, o Quadro 3 sistematiza as diretrizes de projeto formuladas pelos artigos estudados, organizando-as conforme os Cinco Preceitos do *DeafSpace*.

Referência	Preceito do <i>DeafSpace</i>							
	Alcance Sensorial		Acústica e Interferências Eletromagnéticas		Luz e Cor	Espaço e Proximidade	Mobilidade e Proximidade	
[1] Gaudiot e Martins (2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar sistema de sinal colorido para alertar sobre perigo, atenção, intervalos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar espelhos de canto para permitir a visão periférica da classe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar materiais em pisos, paredes e revestimentos de teto que permitam melhor reverberação.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar o brilho do sol no quadro;</li> <li>• Empregar tons claros nas paredes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar layout em um círculo ou posicionar os alunos surdos à frente e em angulação de 45°, para permitir a participação nas discussões;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar quadro grande o suficiente para permitir uma melhor visualização e tempo para escrever as notas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar portas de acesso grandes o suficiente e que permitam a visualização exterior através de viseiras;</li> </ul>
[2] Haynes e Linden (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar a compatibilidade das tecnologias no local de trabalho.</li> </ul>		Não abordado no artigo.		Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.	
[3] Martins e Gaudiot (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar equipamentos eletrônicos para explanação dos assuntos como computadores e projetores;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar sistema de sinal colorido acima do quadro com interruptor perto do professor;</li> <li>• Colocar espelhos côncavos nas extremidades;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir ruído máximo de 40dB;</li> <li>• Utilizar piso de madeira ou vinil para permitir reverberação e auxiliar na acústica;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar teto com material acústico como forro mineral;</li> <li>• Projetar portas de material acústico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar incidência direta de raios solares no quadro com cortinas ou soleiras externas;</li> <li>• Empregar tons claros nas paredes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazer uso de layout em círculo para classes com poucos alunos;</li> <li>• Posicionar os alunos surdos na segunda linha ou na frente e na diagonal;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optar por mobiliário em cadeira e mesa separadas;</li> <li>• Utilizar quadro grande o suficiente para permitir uma melhor visualização e tempo para escrever as notas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar porta de acesso com mínimo de 36 polegadas (91,4 cm) de largura com visor.</li> </ul>
[4] Mathiasen e Frandsen (2018)	Não abordado no artigo.		Não abordado no artigo.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantir aspectos adequados de luminância, forma e padrão de sombras, brilho, luminância, temperatura da cor e renderização de cores.</li> </ul>	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.	
[5] Oh e Ryu (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurar alarmes que operam com luz em vários locais da residência;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar dispositivos de sistema de chamada na sala principal, sala de estar e banheiro para informar sobre situação de emergência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar materiais absorventes acústicos em tetos, pisos e móveis;</li> <li>• Garantir tempo de reverberação do espaço de 0,6 s a 0,8 s;</li> <li>• Manter 40dB para cada fator de ruído interno e 43dB para o nível de ruído resultante;</li> <li>• Promover isolamento acústico de 48dB de paredes entre casas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assegurar isolamento do som de impacto de 50dB para pisos pesado e 53dB para piso leve;</li> <li>• Projetar pé direito máximo dos cômodos de 2,20m;</li> <li>• Integrar dispositivo de exaustão à lâmpada para permitir a exaustão apenas após o usuário sair do banheiro ou da sala de serviço.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar espaços sociais;</li> <li>• Facilitar a leitura labial;</li> <li>• Manter iluminância mínima de 300 lx.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar ambientes de socialização.</li> </ul>	Não abordado no artigo.	

**Quadro 3:** Diretrizes de projeto de acessibilidade das PcD auditiva (continuação)

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

Referência	Preceito do <i>DeafSpace</i>					
	Alcance Sensorial		Acústica e Interferências Eletromagnéticas	Luz e Cor	Espaço e Proximidade	Mobilidade e Proximidade
[6] Pruettkomon e Louhapensang (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar um dispositivo portátil, barato e de fácil utilização para dar instruções aos funcionários com deficiência auditiva;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adequar smartphones, relógios e acessórios para comunicação no trabalho.</li> </ul>	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.
[7] Rahim e Abdullah (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinalizar para dar autonomia aos usuários.</li> </ul>		Não abordado no artigo.		Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.
[8] Renel (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecer informações visuais e sonoras simultaneamente.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empregar materiais absorventes acústicos para reduzir ruído ambiente;</li> <li>• Promover pequenos períodos de reverberação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar design de espaços planos e abertos;</li> <li>• Criar divisórias em espaços maiores para espaços sonoros individuais.</li> </ul>	Não abordado no artigo.	Não abordado no artigo.

De acordo com o Quadro 3, as propostas de melhoria dos aspectos de alcance sensorial estão presentes em sete artigos. Já o conceito de acústica e interferências eletromagnéticas é mencionado em cinco artigos, englobando usuários com uso de aparelhos auditivos ou implantes cocleares. Melhoramentos na experiência do usuário com deficiência auditiva no ambiente construído através de orientações de luz e cor são propostos em quatro estudos, e através de diretrizes de espaço e proximidade, em três. Por fim, as soluções menos frequentes são as de natureza de mobilidade e proximidade, em dois estudos. Todavia, não houve categoria contemplada por todos os oito estudos, revelando uma heterogeneidade nas propostas analisadas.

**Quadro 3:** Diretrizes de projeto de acessibilidade das PcD auditiva (conclusão)

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A presente revisão objetivou encontrar diretrizes de projeto relevantes para intervir no ambiente, de forma a melhorar a percepção da PcD auditiva ao se relacionar com o meio físico em que se encontra. Portanto, foi realizada uma discussão quantitativa dos artigos revisados a respeito do número de publicações por ano e por país, do país de origem da instituição a que os autores estão vinculados e das palavras-chave de maior recorrência. Em seguida, a discussão qualitativa se baseou na análise do ambiente construído, dos usuários, das dificuldades enfrentadas pelas PcD auditiva e dos Preceitos do *DeafSpace* estudados pelos artigos.

Devido à pouca quantidade de artigos que abordam a PcD auditiva e o ambiente construído, não foram identificadas diferenças significativas nos resultados quantitativos. Consequentemente, não é possível fazer afirmações acerca de linhas de tendência, como países ou períodos que lideram as pesquisas. Todavia, constatou-se que o tema ainda não é uma preocupação mundial no meio científico, ainda que seja uma necessidade imediata para as PcD auditiva.

O tipo de atividade desenvolvida no ambiente determina como o usuário interage com os componentes ambientais, logo, diferentes dificuldades são encontradas dependendo da função do ambiente construído. Verificou-se que dois artigos estudaram as salas de aula, dois estudaram o ambiente laboral, um estudou casas, um estudou espaços públicos e dois não especificam o

tipo de ambiente. De acordo com a frequência, as salas de aula e o ambiente de trabalho foram os principais focos dos pesquisadores da área.

Foi verificado que a maioria dos estudos não aborda apenas PcD auditiva, mas associam a outros tipos de deficiência. Dessa forma, quatro artigos avaliam pessoas com deficiência visual e dois avaliam pessoas com deficiência física. Pessoas com deficiência intelectual são discutidas em um estudo e os idosos com audição reduzida por causas naturais são tratados em um artigo. As pessoas com baixa visão são as mais relacionadas às PcD auditiva e isso se deve ao fato de que ambos precisam se relacionar com o ambiente visual, a fim de potencializar a visão remanescente e fazer uso da leitura labial, respectivamente (MATHIASSEN; FRANDSEN, 2018).

Em relação às principais dificuldades enfrentadas pelos usuários com deficiência auditiva no usufruto do ambiente construído, a comunicação e a obtenção de informações foram as atividades mais problemáticas, estando presentes em 6 artigos.

De fato, o principal problema resultante da perda auditiva é a comunicação, uma vez que essa é dificultada pela necessidade de mais informações visuais nos ambientes (MARTINS; GAUDIOT, 2012; MATHIASSEN; FRANDSEN, 2018; GAUDIOT; MARTINS, 2019) e por relações sociais complexas (OH; RYU, 2018; HAYNES; LINDEN, 2012; PRUETTİKOMON; LOUHAPENSANG, 2018).

Semelhantemente, a obtenção de informações é outro importante desafio para as pessoas com deficiência auditiva. Portanto, seja pela falta de sinalização (RAHIM; ABDULLAH, 2009), dificuldade de aprendizagem (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019) ou pela interpretação de informações visuais e sonoras (RENEL, 2018; HAYNES; LINDEN, 2012; PRUETTİKOMON; LOUHAPENSANG, 2018), a autonomia dos usuários é prejudicada. Além disso, a dificuldade de distinguir sons com altos tempos de reverberação (RENEL, 2018; OH; RYU, 2018) e com um alto ruído ambiente (MARTINS; GAUDIOT, 2012; RENEL, 2018; OH, 2018; HAYNES; LINDEN, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019) está presente em cinco artigos.

Em quatro estudos, a convivência com pessoas sem deficiência é um fator que, por mais que não seja ambiental, pode ser melhorada através de componentes ambientais. Por exemplo, sinalização (PRUETTİKOMON, 2018) e mobiliário adequados (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019), e tecnologias assistivas móveis (HAYNES; LINDEN, 2012) podem repercutir positivamente.

A dificuldade da visualização é discutida em quatro artigos, no que se refere ao fornecimento de imagens de clara interpretação e livres de qualquer obstáculo (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019), facilidade de fazer uso da linguagem de sinais (OH; RYU, 2018) e garantia de iluminação de qualidade (MATHIASSEN; FRANDSEN, 2018).

Outras dificuldades discutidas foram: o conforto térmico (dois artigos), que prejudica o rendimento dos alunos surdos em sala de aula (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019); o conforto do mobiliário ou layout (dois artigos), que precisam ser confortáveis e planejados (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019); e a navegação da PcD auditiva (um artigo), que é prejudicada em espaços como corredores escolares, que impõem ruptura visual pela existência de diversos ângulos (GAUDIOT; MARTINS, 2019).

Sobre os aspectos a serem trabalhados no ambiente, de acordo com os Cinco Preceitos do *DeafSpace*, alcance sensorial foi apontado em sete artigos; acústica e interferência eletromagnética em cinco; luz e cor em quatro; espaço e proximidade em três e mobilidade e proximidade em dois estudos.

Em relação ao alcance sensorial, Martins e Gaudiot (2012), Renel (2018), Rahim e Abdullah (2009), Oh e Ryu (2018), Gaudiot e Martins (2019) frisam a necessidade de garantir a autonomia dos usuários por meio de sinalizações visuais, pois, somente sons não são capazes de chamar sua atenção. Haynes e Linden (2012) e Pruettkomon e Louhapensang (2018) focam na



melhoria da orientação e desempenho no ambiente de trabalho por meio de tecnologias assistivas especializadas, como dispositivos de escuta assistida (PALD), que amplificam o som diretamente ao ouvido, ou dispositivos portáteis, como relógios smartphones.

A acústica e interferência eletromagnética é apontada como de grande impacto à acessibilidade. Nesse aspecto, chama-se atenção para a falta de projetos direcionados à ampla diversidade dos níveis de audição entre os usuários, partindo do equívoco de que todos os usuários possuem a plena função auditiva (RENEL, 2018). Além disso, é discutido o uso de materiais acústicos, como a madeira, para boa absorção e reverberação do som (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019; OH; RYU, 2018) e para o controle de ruídos excessivos (HAYNES; LINDEN, 2012).

Além do impacto do som, luz e cor devem ser respeitados, pois, a iluminação adequada também facilita a conversação ao garantir a leitura labial durante conversações (OH; RYU, 2018; MATHIASSEN; FRANDSEN, 2018). Ainda, evitar brilhos excessivos auxilia na visualização de elementos do ambiente (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019).

Outra preocupação importante é a adequação do espaço e proximidade, que garante mais conforto para que os surdos consigam interagir e visualizar outros indivíduos no mesmo cômodo. Isso é possível, quando há uma organização espacial inclusiva e segura para a comunicação por linguagem de sinais (MARTINS, 2012; GAUDIOT, 2019). A criação de espaços sociais para usuários surdos, por exemplo, facilita a comunicação por promover uma visualização clara e ampla para a leitura labial (OH; RYU, 2018).

O preceito de mobilidade e proximidade é abordado de forma mais preocupante no ambiente da sala de aula. Isso é devido à influência aos alunos surdos pelo mobiliário inadequado, sem o uso de materiais que permitem uma visualização mais ampla de ambientes, como o vidro (MARTINS; GAUDIOT, 2012; GAUDIOT; MARTINS, 2019).

## **QUADRO-RESUMO: DIRETRIZES DE PROJETO**

O Quadro 4 foi fruto de um trabalho de compilação e adaptação das diretrizes estudadas, e organizadas de acordo com os Preceitos do *DeafSpace*, a fim de servir de guia prático na concepção de futuros projetos arquitetônicos. Somado a isso, foram adicionadas novas diretrizes a partir da reflexão das autoras. Cabe salientar que nem todos os artigos que abordaram os impactos dos Preceitos do *DeafSpace* de forma teórica trouxeram as respectivas propostas de projeto.

Diretrizes/Recomendações				
Alcance Sensorial	Acústica e Interferências Eletromagnéticas	Luz e Cor	Espaço e Proximidade	Mobilidade e Proximidade
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar espelhos côncavos;</li> <li>• Utilizar alarmes sonoros com luzes coloridas;</li> <li>• Utilizar sinalizações sonoras;</li> <li>• Utilizar tecnologias assistivas individuais;</li> <li>• Instalar dispositivos de comunicação entre cômodos;</li> <li>• Instalar tecnologias visuais de ensino em salas de aula;</li> <li>• Instalar janelas em paredes entre cômodos;</li> <li>• Empregar paredes de vidro;</li> <li>• Instalar piso de madeira que permita transmitir vibração a outros cômodos;</li> <li>• Ampliar o campo de visão do usuário;</li> <li>• Promover a visibilidade entre os andares de edifícios;</li> <li>• Identificar a finalidade dos ambientes através de diferentes texturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir ruído máximo de 40dB;</li> <li>• Empregar materiais absorventes sonoros, como manta acústica;</li> <li>• Evitar projetar espaços em planos abertos;</li> <li>• Respeitar tempo de reverberação máximo de 0,6s para pequenos espaços;</li> <li>• Respeitar tempo de reverberação máximo de 0,8s para grandes espaços;</li> <li>• Garantir pé direito máximo de 2,20m;</li> <li>• Posicionar equipamentos emissores de ruídos em locais apropriados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar tons claros e que contrastem com os tons de pele nos ambientes;</li> <li>• Evitar o emprego de materiais e tintas brilhosas;</li> <li>• Posicionar corretamente as janelas de forma a reduzir o brilho e evitar a incidência direta de luz;</li> <li>• Evitar brilho excessivo;</li> <li>• Utilizar contrastes de luz;</li> <li>• Valorizar a criação de sombras para melhor dimensão do ambiente;</li> <li>• Garantir iluminância mínima de 300 lx.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projetar layout em que os usuários estejam em círculos;</li> <li>• Utilizar mobiliário desvinculados entre si para auxiliar na linguagem de sinais;</li> <li>• Utilizar mobiliário que permita ser movimentado conforme a preferência do usuário;</li> <li>• Utilizar grandes quadros em sala de aula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar portas com largura mínima de 36 polegadas (91,4 cm);</li> <li>• Utilizar portas com visores de material transparente;</li> <li>• Projetar corredores largos que permitam a linguagem de sinais enquanto caminham;</li> <li>• Instalar portas automáticas;</li> <li>• Projetar curvas suaves ou de vidro nos corredores.</li> </ul>

**Quadro 4:** Diretrizes projetuais para pessoas com deficiência auditiva.

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos que discutem a relação ambiente construído com o exercício da autonomia, segurança e conforto da pessoa com deficiência auditiva ainda são escassos e heterogêneos. Além disso, encontrar guias ou diretrizes de projeto que contemplem todos os níveis de audição existentes entre os usuários é ainda mais desafiador.

Os surdos assim como as pessoas com baixa visão possuem alta dependência de uma visualização clara e fácil do ambiente construído para auxiliar na sua experiência como usuário. Visando estabelecer conceitos de ambiente construído inclusivo a todos, é fundamental integrar principalmente ambas as perspectivas para determinar o padrão ideal de construção acessível.

A falta de acessibilidade encontrada pelas pessoas com deficiência auditiva tem complicado o entendimento e o diálogo de informações. Portanto, é imprescindível que o ambiente, por si só, forneça todo o conhecimento necessário para que a pessoa com deficiência auditiva seja autônoma, capaz de compreender plenamente a realidade do local.

A interação usuário-ambiente é impactada principalmente por melhorias da sinalização, acústica e iluminação, pois, promovem uma maior percepção de conforto por parte dos surdos. Verificou-se ainda, que a mobilidade e proximidade devem ser garantidas por materiais que permitam a integração entre ambientes, como o vidro em portas. Cores claras e ilumina-

ção difusa, que permitam boa orientação espacial e de profundidade, e com iluminância mínima, contemplam o preceito de luz e cor. O atendimento ao preceito de acústica e interferências eletromagnéticas deve assegurar ambientes com ruídos controlados e pequenos tempos de reverberação, com o auxílio de materiais acústicos e dimensões adequadas. O posicionamento adequado dos mobiliários destinados aos usuários com deficiência auditiva permite clareza visual e liberdade de movimentação para boa comunicação e integração a outras pessoas, contemplando o preceito espaço e proximidade. Os ambientes acessíveis devem ser providos de acessórios para aumentar o campo de visão dos usuários, como espelhos; tecnologias assistivas, para fornecer informações de mais fácil entendimento; e sinalizações que usem fontes de transmissão visuais e sonoras.

Para estudos futuros, cabe validar as diretrizes desenvolvidas por meio de sua concretização em um ambiente construído adaptado e avaliar a partir da experiência de seus usuários com deficiência auditiva. Igualmente, convém investir em pesquisas científicas para o aprofundamento do tema, colaborando com a conscientização da sociedade, e conseqüente transformação cultural.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Norma Técnicas. **NBR 9050/2015: Acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 148p.
- BAUMAN, H. **Deafspace Design Guideline**, Working Draft. Washington, DC: Gallaudet University, 2010.
- BOOTH, A.; PAPAIOANNOU, D.; SUTTON, A. Systematic Approaches to a Successful Literature Review. **SAGE Publications Ltd.**, Thousand Oaks, CA, United States, 2012.
- BRASIL. Decreto nº7.000, de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 dez. 2004. Seção 1. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5296-2-dezembro-2004-534980-publicacaooriginal-21548-pe.html>>. Acesso em: 23 mai. 2019.
- BRASIL. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência** / Luiza Maria Borges Oliveira / Secretariade Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) / Coordenação-Geral do Sistemade Informações sobre a Pessoa com Deficiência; Brasília : SDH-PR/SNPD, 2012. 32p.
- EDWARDS, C; HAROLD, G. Deaf-Space and the principles of universal design. **Disability and Rehabilitation**, v. 36, n.16, p. 1350-1359, 2014. DOI: 10.3109/09638288.2014.913710
- FRANSOLIN, L. C; RODRIGUES, J. C.; ANTONINI, B.; BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **O Jogo Da Arquitetura: Discutindo a Acessibilidade Para Surdos**. Blucher Design Proceedings, v. 2, n. 7, p. 517-258, 2016.
- JESSON, J.K.; MATHESON, L.; LACEY, F.M. Doing Your Literature Review – Traditional and Systematic Techniques. **SAGE Publications Ltd.**, Thousand Oaks, CA, United States, 2011
- LIBERATI, A.; ALTMAN, D.G., TETZLAFF, J., MULROW, C., GÖTZSCHE, P.C., IOANNIDIS, J.P.A., CLARKE, M., DEVEREAUX, P.J., KLEIJNEN, J., MOHER, D. Annals of Internal Medicine Academia and Clinic The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, 2009.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Relatório Mundial Sobre a Deficiência**. São Paulo, 2011. 334 p. ISBN: 978-85-64047-02-0.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **1.1. billion people at risk of hearing loss**. Fevereiro de 2015. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/>>

en/>. Acesso em: 20 set. 2019.

SOLVANG, P. K.; HAUALAND, H. Accessibility and diversity: Deaf space in action. **Scandinavian Journal of Disability Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2014.

TYSIMBAL, K. A. **Deaf space and the visual world – buildings that speak: an elementary school for the deaf**. Thesis. School of Architecture Planning, and Preservation. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, EUA. 2010.

#### ARTIGOS DA RSL

1. GAUDIOT, D.M.F.; MARTINS, L.B. The Classroom Built Environment as an Inclusive Learning Process for the Deaf Students: Contribution of Ergonomics in Design. **Springer Nature**, p. 531-540, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94706-8\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94706-8_56)

2. HAYNES, S.; LINDEN, M. Workplace accommodations and unmet needs specific to individuals who are deaf or hard of hearing. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 7, n. 5, p. 408-415, 2012. DOI: 10.3109/17483107.2012.665977

3. MARTINS, L. B.; GAUDIOT, D. M. The deaf and the classroom design: A contribution of the built environmental ergonomics for the accessibility. **IOS PRESS**, v. 41, p 3663-3668, 2012. DOI:10.3233/wor-2012-0007-3663

4. MATHIASSEN, N; FRANDSEN, A.K. Lighting Design as a Universal Design Strategy to Support Functional Visual Environments. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 256, p. 752-759, 2018. DOI: 10.3233/978-1-61499-923-2-752

5. OH, Y.; RYU, J.K. Acoustic design guidelines for houses for hearing impaired seniors – In the framework of Korean building code. **Indoor and Built Environment**, 2018. DOI: 10.1177/1420326X18789228

6. PRUETTİKOMON, S.; LOUHAPENSANG, C. A Study and Development of Workplace Facilities and Working Environment to Increase the Work Efficiency of Persons with Disabilities: A Case Study of Major Retail and Wholesale Companies in Bangkok. **Scientific World Journal**, v. 2018, article number 3142010, 2018. DOI: 10.1155/2018/3142010

7. RAHIM, A.A.; ABDULLAH, F. Access audit on universal design: The case of Kota Kinabalu Water Front. **The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences**, v.4, 2009 ISSN:18331882

8. RENEL, W. Auraldiversity': Defining a Hearing Centred Perspective to Socially Equitable Design of the Built Environment. **Built Environment**, v 44, p. 36-51, 2018. DOI: 10.2148/benv.44.1.36