

# ARQUITETURA, MATERIALIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS

APLICAÇÕES NA PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO  
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

MÔNICA SANTOS SALGADO  
MARCOS MARTINEZ SILVOSO  
THIAGO MELO GRABOIS  
(Orgs.)

## DADOS INTERNACIONAIS PARA CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

A772 Arquitetura, materialidade e tecnologias digitais: aplicações na construção e conservação do ambiente construído. Organização: Mônica Santos Salgado, Marcos Martinez Silvoso e Thiago Melo Grabois. Rio de Janeiro: PROARQ-FAU/UFRJ, Paisagens Híbridas, 2020.

351 p. Il. 16 x 23 cm.

ISBN: |978-65-88335-06-2 | 978-65-87833-06-4

Inclui Bibliografia.

1. ARQUITETURA 2. TECNOLOGIAS DIGITIAS 3. AMBIENTES 4. BIM 5.SUSTENTABILIDADE I. SALGADO, Mônica S., II. SILVOSO, Marcos Martinez III. GRABOIS, Thiago Melo IV. Universidade Federal do Rio de Janeiro V. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo VI. Programa de Pós-graduação em Arquitetura-PROARQ

CDD: 720  
CDU: 72

Universidade Federal do Rio de Janeiro | UFRJ  
Centro de Letras e Artes | CLA  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | FAU  
Programa de Pós-graduação em Arquitetura  
PROARQ-FAU/UFRJ

Reitora

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. *Denise Pires de Carvalho*

Vice-Reitor

Prof. Dr. *Carlos Frederico Leão Rocha*

Decana do Centro de Letras e Artes

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. *Cristina Tranjan*

Diretora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. *Andrea Queiroz Rego*

Vice-Diretor

Prof. Dr. *Guilherme Lassance*

Coordenadora PROARQ-FAU/UFRJ

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. *Ethel Pinheiro Santana*

Vice-Coordenador PROARQ-FAU/UFRJ

Prof. Dr. *Marcos Martinez Silvoso*

Coordenação Adjunta de Editoria

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. *Vera Regina Tângari*

### CONSELHO EDITORIAL

*Guilherme Chagas Cordeiro* | UENF

*Jardel Pereira Gonçalves* | UFBA

*Leopoldo Eurica Gonçalves Bastos* | PROARQ-FAU/UFRJ

*Maria Angela Dias* | PROARQ-FAU/UFRJ

*Marcio Minto Fabricio* | IAU USP

*Patrícia Tzortzopoulos Fazenda* | University of Huddersfield



UFRJ

FAU



CAPES



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

### NÃO PODE SER COMERCIALIZADO

#### Projeto Editorial GEPARQ - Grupo de Pesquisa Gestão de Projetos em Arquitetura: tecnologia, sustentabilidade e BIM.

Capa e projeto gráfico | *Rubens de Andrade*

Diagramação | *Arano Olivas*

Ficha catalográfica | *Nara Ferreira Oliveira*

Todos os direitos sobre o conteúdo dos textos e imagens contidos nesta publicação são reservados ao selo editorial da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ, à Editora Paisagens Híbridas e aos autores, sendo de sua responsabilidade exclusiva. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma ou quaisquer meios, eletrônicos ou mecânicos, incluindo fotocópias e gravação, ou arquivada em qualquer sistema de banco de dados sem permissão por escrito dos editores.

#### EDITORIA PROARQ

Programa de Pós Graduação em Arquitetura- PROARQ-FAU/UFRJ

Av. Pedro Calmon, 550, Sala 433 | Prédio da Reitoria.

Ilha do Fundão Rio de Janeiro- RJ 21941-590

Telefones: +55 (21) 3938-0288 | [editoria.proarq@fau.ufrj.br](mailto:editoria.proarq@fau.ufrj.br)

Editora Paisagens Híbridas

[editorapaisagenshibridas@gmail.com](mailto:editorapaisagenshibridas@gmail.com)

# ARQUITETURA, MATERIALIDADE E TECNOLOGIAS DIGITAIS

## APLICAÇÕES NA PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

MÔNICA SANTOS SALGADO  
MARCOS MARTINEZ SILVOSO  
THIAGO MELO GRABOIS  
(Orgs.)





# SUMÁRIO

7	<b>PREFÁCIO</b> <i>Paulo Afonso Rheingantz</i>
13	<b>APRESENTAÇÃO</b> <i>Mônica Santos Salgado, Marcos Martinez Silvano e Thiago Melo Grabois</i>
17	<b>INTRODUÇÃO</b> <i>Mônica Santos Salgado, Marcos Martinez Silvano e Thiago Melo Grabois</i>
	<b>PARTE I</b> <b>DIGITALIZAÇÃO NA PRESERVAÇÃO, REABILITAÇÃO E CONSERVAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES</b>
26	From BIM to Digital Twins: the impact of information technology on building design processes <i>Ricardo Codinhoto</i>
52	Preservação da memória através do HBIM: o Palácio Gustavo Capanema <i>Cristiane Lopes Canuto</i>
78	Reabilitação de edificação visando à qualidade ambiental através do processo BIM <i>Fabiana Dias da Silva</i>
102	Em direção à interdisciplinaridade no diagnóstico do patrimônio arquitetônico via correlação de imagem digital <i>Thiago Melo Grabois</i>

## **PARTE II SUSTENTABILIDADE E MATERIALIDADE NA PRODUÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

- 128      Arquitetura de emergência  
          *Luis Manuel Palmero Iglesias e Graziella Bernarndo*
- 152      Modelagem paramétrica e otimização multiobjetivo para melhoria do desempenho  
          térmico de habitações sociais  
          *Angélica Saccol Berleze*
- 180      Simulações de desempenho termo-energético para sistemas de vedações verticais  
          em habitações de interesse social  
          *Tatiane Pilar de Almeida, Marcos Martinez Silvano e Alice Barros Horizonte  
          Brasileiro*
- 206      Arquitetura com terra na construção sustentável  
          *Beatriz Temtemples de Carvalho e Marcos Martinez Silvano*

## **PARTE III TECNOLOGIAS DIGITAIS NA PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES E CIDADES**

- 234      Propostas de uso das TIC's no ensino de construção e geometria  
          *Bianca Marques Figueiredo Leal*
- 258      BIM na verificação de requisitos em projetos de arquitetura  
          *Eduardo Ribeiro dos Santos*
- 280      Diretrizes da avaliação do ciclo de vida aplicadas à tomada de decisão em projeto  
          *Tathiana do Nascimento Carvalho*
- 314      Tecnologias digitais, pandemia e sustentabilidade nas “smart cities”  
          *Mônica Santos Salgado*

338      **AUTORES/AUTORAS**

342      **COMITÊ CIENTÍFICO**

345      **ÍNDICE REMISSIVO**

348      **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

---

## **PREFÁCIO**

Arquitetura, materialidade e tecnologias digitais: aplicações na construção e conservação de ambiente construído

---



**E**ste livro, organizado pelos professores Mônica Santos Salgado, Marcos Martinez Silvano e Thiago Melo Grabois, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), enriquecido com trabalhos de colaboradores internacionais<sup>1</sup>, reúne parte dos resultados da contribuição do Grupo de Pesquisas *Gestão de Projetos em Arquitetura: tecnologia, sustentabilidade, BIM* (GEPARQ)<sup>2</sup> ao longo de seus 25 (vinte e cinco) anos de existência.

Considerando que o grupo se produziu em um ambiente de histórico descaso com o ensino e com a pesquisa de tecnologia nas escolas de arquitetura e urbanismo brasileiras, ousa afirmar que sua existência pode ser entendida como um processo ou ação de resistência, como qualidade de resistir a uma ação externa. Um processo de resistência que remonta à própria origem do PROARQ: o Curso de Mestrado em Arquitetura com áreas de concentração em Conforto Ambiental e Racionalização da Construção.

Inicialmente o PROARQ contou com o apoio e a participação de docentes dos programas de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica e Engenharia Civil da

---

<sup>1</sup> Professores Graziella Bernardo (*Università della Basilicata*, Itália), Luis Manuel Palmero Iglesias (*Universitat Politècnica de València*, Espanha) e Ricardo Codinhoto (University of Bath, Reino Unido).

<sup>2</sup> Disponível em: <https://geparqproarq.wixsite.com/gestaoprojetos/nossa-historia> Acesso em: 18.mar.2020.

COPPE<sup>3</sup> e, e, também, da École Nationale d'Architecture de Toulouse, da École des Mines de Paris e da École d'Architecture de Grenoble, cuja parceria em pesquisa alinhou o PROARQ com a necessária internacionalização para o avanço dos conhecimentos em arquitetura, tecnologia e construção. A partir de meados da década de 1990-1999, o Programa expandiu com a criação de outras áreas de concentração e linhas de pesquisa, que surgiram a partir do aumento da participação de docentes da própria FAU, como resultado dos processos de qualificação e de renovação do quadro de docentes da FAU, especialmente nos departamentos de Tecnologia da Construção e de Estruturas.

Criado em 1996, em meio a esse processo de ajustamento do programa, o GEPARQ surgiu em um momento em que o processo de organização de sistemas de gestão da qualidade ainda era uma novidade para o setor da construção civil. A partir de 2001 o grupo passou a se dedicar à gestão do processo de projeto – gestão da qualidade, organização de empresas e técnicas para a realização do projeto integrado – entendendo sua importância fundamental para a produção de edificações sustentáveis.

Em parceria com o Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP São Carlos, em 2011 o GEPARQ organizou o *2º Simpósio Brasileiro da Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP/ANTAC)* e *X Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, realizado no recém inaugurado CENPES II/ Petrobras, que resultou na publicação do livro *Projetos Complexos e Seus Impactos na Cidade e na Paisagem* (SALGADO; RHEINGANTZ; AZEVEDO; SILVOSO: 2012).

A partir de 2016 seu interesse se ampliou ao iniciar estudos relacionados com a sustentabilidade dos materiais, tecnologias e sistemas construtivos. Esse processo consolidou o entendimento da importância de integrar o processo de projeto desde sua concepção e execução até a gestão pós-uso dos edifícios e do ambiente construído. Os avanços na área da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) possibilitaram aprofundar os estudos sobre o processo de racionalização da construção e sobre seus reflexos na integração da operação das equipes de projeto no processo de gestão, colaboração e execução. Ao incluir as simulações a partir do modelo BIM (*Building Information Modeling*), associados com as possibilidades oferecidas pela Realidade Virtual (RV) e pela Realidade Aumentada (RA), possibilitaram explorar novas alternativas que se estendem até a fase de uso-operação, manutenção e preservação do edifício (HBIM).

Com a publicação deste livro o GEPARQ consolida sua produção e suas parcerias internacionais, evidenciando seu bem sucedido esforço na divulgação e na

<sup>3</sup> Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, unidade que coordena os programas de pós-graduação em engenharia da UFRJ.

popularização do conhecimento no campo da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo. Em seus capítulos, estruturados em três partes, você poderá se familiarizar:

Com os avanços, possibilidades e impactos das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no processo de projeto, na digitalização, na preservação, na reabilitação e na conservação das edificações ilustrados por estudos de caso em edifícios emblemáticos como o Projeto do Complexo Manchester Town Hall (Ricardo Codinhoto), Palácio Gustavo Capanema (Cristiane Lopes Canuto), no Projeto de Reabilitação do Edifício-Sede da Petrobras (Fabiana Dias da Silva) e Edifício Jorge Machado Moreira – FAU/UFRJ (Thiago Melo Grabois).

Com as possibilidades das TICs nos estudos relacionados com a sustentabilidade e a materialidade na produção do ambiente construído e suas aplicações em arquitetura de emergência (Luis Manuel Palmero e Graziela Bernardo); na modelagem paramétrica e otimização multiobjetivos na avaliação e melhoria do desempenho térmico de habitações sociais (Angélica Saccol Berleze), em simulações de desempenho termoenergético de diferentes materiais dos sistemas de vedações verticais em habitações de interesse social (Tatiane Pilar de Almeida, Marcos Martinez Silvano e Alice Brasileiro); a possibilidade de considerar o protagonismo das práticas de construções com terra comprimida na busca por ações sustentáveis na produção de habitações (Beatriz Temtemples de Carvalho e Marcos Martinez Silvano).

Com aplicações das TICs na produção de edificações e cidades explorando as possibilidades de incorporar o BIM, a RA, a RV, a PR e a FD em propostas e atividades didáticas no ensino de construção e geometria (Bianca Marques Figueiredo Leal); discutir os impactos da adoção do BIM na verificação dos requisitos da construção sustentável no desenvolvimento de projetos de arquitetura (Eduardo Ribeiro dos Santos); conhecer os resultados de uma pesquisa sobre aplicabilidade e potencial da Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar os impactos dos materiais que compõe a alvenaria estrutural na como ferramenta de verificação de requisitos e de tomada de decisão em projeto de edificação unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida (Tathiana do Nascimento Carvalho); e, por fim, conhecer os resultados, relacionados com a discussão sobre os efeitos da Quarta Revolução Industrial na formulação de estratégias inovadoras a serem adotadas para a concepção, produção e gestão de edificações e Cidades Inteligentes, sustentáveis e resilientes; e com o confrontamento das tendências evidenciadas pelas pesquisas com as demandas evidenciadas durante a pandemia da Covid-19, a partir das ações adotadas em uma cidade considerada “inteligente” (Monica Santos Salgado).

As três partes do livro revelam (ou desvelam) o fio condutor das inovadoras pesquisas que vem sendo desenvolvidas pelos pesquisadores e pesquisadoras do

GEPARQ, do empenho em registrar e divulgar as suas experiências e reflexões sobre aquilo que está sendo feito, bem como a diversidade e a riqueza das contribuições para o campo da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo. Ao diluírem as fronteiras separando o “físico” do “não-físico”, os relatos dos encontros e conexões entre os autores e autoras com as TICs confirmam a declaração de Donna Haraway, em *Modest Witness*, de que o ciborgue – coletivo híbrido resultante da associação entre humanos e tecnologias – habita “um regime espaço-temporal modificado”. Esse outro regime, possibilita expandir os horizontes dos modos como criamos mundos, concebemos, construímos, gerenciamos e operamos os edifícios e ambientes construídos. Ainda em alinhamento com Donna Haraway, este livro pode ser entendido como um convite para expandir nossa compreensão sobre os múltiplos modos de performar *como as coisas são* e, também, as múltiplas maneiras *como as mesmas coisas poderiam ser*. Seu conteúdo evidencia que os sistemas de imagens, sonografia, *scanners*, câmeras, computadores, *softwares*, internet, etc., podem aperfeiçoar indefinidamente nossa visão de mundo e das coisas, sejam elas reais ou imaginárias. Boa leitura!

Rio de Janeiro, 20 de dezembro de 2020.

*Paulo Afonso Rheingantz*



---

## **APRESENTAÇÃO**

---



**O** GEPARQ - Grupo de Pesquisas Gestão de Projetos em Arquitetura - iniciou suas atividades em 1996, época em que a organização dos sistemas de gestão da qualidade nas empresas construtoras (no Brasil) ainda era novidade. A partir de 2001, o foco do trabalho voltou-se às questões próprias da gestão do processo de projeto, em função do incremento na quantidade de especialidades envolvidas na construção da edificação. Observa-se a necessidade de repensar o processo de projeto, que deve migrar do formato tradicional-sequencial para o método inovador-colaborativo. Em 2016 tiveram início as pesquisas relacionadas com a sustentabilidade dos materiais, tecnologias e sistemas construtivos. Entende-se que para a produção do projeto integrado é fundamental considerar o processo de projeto desde a concepção arquitetônica até a execução da obra.

O interesse na produção de edificações com alta qualidade ambiental e a publicação da norma brasileira NBR 15575 (Desempenho nas Edificações) trouxe mais dados à discussão, justificando o desenvolvimento de estudos em torno dos métodos de tomada de decisão durante o processo de projeto. A possibilidade de realizar simulações a partir do modelo BIM (*Building Information Modeling*), associado às possibilidades oferecidas pela Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) oferecem novas alternativas desde a concepção do edifício, até sua fase de uso-operação e manutenção. Paralelamente, os avanços na área da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) tem possibilitado o estabelecimento de novos esquemas entre as equipes de projeto (gestão, colaboração e integração).

Cabe destacar, ainda, as possibilidades oferecidas pelas novas ferramentas, que vão desde alternativas para a fabricação digital até a preservação virtual do patrimônio edificado e gestão de *facilities*.

Neste sentido, o GEPARQ desenvolve investigações em torno do tema, discutindo os métodos e técnicas que auxiliam o desenvolvimento do projeto colaborativo e seus impactos na organização das equipes de projetos; investigando e propondo estratégias e tecnologias voltadas ao atendimento dos critérios e requisitos de sustentabilidade e desempenho; avaliando os impactos das tecnologias na gestão do processo de projeto e obras.

Neste livro são reunidos textos que expressam parte dos resultados das pesquisas desenvolvidas e em desenvolvimento no grupo. Os textos selecionados tem o objetivo de atrair o leitor para as possibilidades oferecidas pelas tecnologias construtivas (físicas e digitais) ao universo da arquitetura, engenharia e construção.

*Mônica Santos Salgado*  
*Marcos Martinez Silvano*  
*Thiago Melo Grabois*

---

## INTRODUÇÃO

Mônica Santos Salgado | Marcos Martinez Silvano | Thiago Melo Grabois

---



O presente livro traz como ênfase a gestão do processo de projeto e produção do ambiente construído, explorando as possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais e físicas. Dentro dessa visão, observam-se discussões específicas, que vão desde a formação profissional até o uso de novos materiais de construção e a preservação do patrimônio.

Foi com o objetivo de reunir diferentes abordagens que este livro foi construído, sempre com foco na contribuição para a melhoria da qualidade da edificação – objetivo final das pesquisas aqui apresentadas.

Com esse propósito, o livro divide-se em três partes, levando o leitor à reflexão sobre a intrínseca relação entre o mundo digital e físico, e suas formas de interação. Entendemos a importância da interação entre as tecnologias para a qualidade da arquitetura e urbanismo, e seus reflexos na ambiência dos espaços das edificações e cidades.

A primeira parte do livro traz a discussão sobre preservação do patrimônio edificado, com discursos que vão desde a associação entre tecnologias digitais até a adoção de técnicas inovadoras no diagnóstico de patologias visando à recuperação e conservação do ambiente construído.

No primeiro capítulo, Ricardo Codinhoto explica algumas questões relacionadas à implementação de BIM e *Digital Twin* no contexto do setor AECO do Reino Unido. O autor entende que a rápida velocidade com que essa área está evoluindo torna os dados rapidamente redundantes e substituíveis. Por outro lado, a narrativa baseada em evidências proposta concentra-se na experiência de implementação de BIM em primeira mão, o que raramente se torna redundante e sempre apoia as práticas.

O capítulo seguinte traz o trabalho de Cristiane Canuto, apresentando as potencialidades oferecidas pelo HBIM na documentação na preservação do patrimônio cultural arquitetônico, com ênfase no patrimônio moderno. O texto traz o relato de um estudo de caso, que teve como objeto de estudo o Palácio Gustavo Capanema – ícone da arquitetura moderna carioca.

Trazendo para a discussão da preservação do patrimônio os desafios da reabilitação das edificações, Fabiana Dias da Silva reúne BIM, sustentabilidade e preservação digital do patrimônio na avaliação do processo de projeto de reabilitação do Edifício Sede de uma importante empresa sediada na cidade do Rio de Janeiro. Sua pesquisa identifica os pontos positivos e negativos da abordagem combinada, destacando os erros cometidos no passado de forma a traçar estratégias para outros projetos.

Finalizando essa parte do livro, Thiago Melo Grabois apresenta em seu capítulo as possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais relacionadas à preservação do patrimônio. A abordagem integra questões de conservação (e reparo) do patrimônio edificado, criando uma interface com a utilização de ferramentas computacionais de correlação de imagem digital para a caracterização do progresso de fissurações e das deformações sofridas ao longo do tempo.

A Parte 2 do livro tem como destaque a questão da sustentabilidade na produção do ambiente construído, com ênfase na adoção de requisitos de desempenho ambiental que possam contribuir para a qualidade dos espaços edificados.

Logo na abertura dessa parte do livro, os professores Luis Manuel Palmero Iglesias e Graziella Bernarndo chamam a atenção para o preocupante aumento da frequência e gravidade dos desastres naturais, em grande parte devido a fatores relacionados às mudanças climáticas (efeito estufa, derretimento do gelo, aumento do nível do mar, aumento da temperatura do oceano, destruição da camada de ozônio, emissões de CO<sub>2</sub>, etc.). Os autores discutem sobre a resposta que a arquitetura pode trazer para abrigar as populações, garantindo a qualidade dos espaços de emergência.

A melhoria da qualidade ambiental é a tônica do trabalho de Angélica Saccol Berleze, que apresenta a modelagem paramétrica aplicada à avaliação do desempenho térmico visando a melhoria da qualidade nas habitações sociais. A autora considera que o projeto de novas edificações eficientes é um problema de otimização complexo, uma vez que envolve múltiplas variáveis (alternativas de projeto) e múltiplos objetivos que podem, com frequência, ser conflitantes entre si

Ainda na discussão sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações, Tatiane Pilar de Almeida, Marcos Martinez Silvos e Alice Brasileiro apresentam os resultados da pesquisa baseada em simulações computacionais de desempenho termo-energético. Os autores realizaram diferentes simulações para uma das tipologias de



HIS multifamiliares empregadas no Rio de Janeiro, e analisaram o comportamento dos materiais empregados nas simulações, considerando a influência deles no desempenho termo-energético da edificação selecionada, a fim de ressaltar a importância dos fechamentos opacos dos sistemas de vedações verticais na adequada interação entre edificação e clima.

Essa parte do livro encerra com o texto de Beatriz Temtemples de Carvalho e Marcos Martinez Silvos. Os autores chamam a atenção para a necessidade de uma escolha consciente dos materiais de construção visando à produção de edificações sustentáveis, e apresentam os resultados de uma pesquisa que pretendeu reunir e aprofundar o conhecimento sobre o sistema construtivo do bloco de terra comprimida como uma alternativa sustentável para produção de habitação dentro do contexto das práticas de processos participativos.

A terceira e última parte do livro retoma a discussão das tecnologias digitais aplicadas à produção de edificações e cidades sustentáveis e inteligentes, trazendo uma reflexão sobre a inserção destas tecnologias desde o ensino até a prática profissional. Neste sentido, Bianca Marques Figueiredo Leal apresenta de que forma as tecnologias digitais (BIM – *Building Information Modeling*; RA – Realidade Aumentada; RV – Realidade Virtual; PR – Prototipagem Rápida; e FD – Fabricação Digital) podem ser incorporadas às práticas didáticas adotadas pelos docentes dos cursos de graduação no ensino de construção e geometria.

A verificação de parâmetros de projetos visando à qualidade ambiental é outro aspecto tratado neste livro a partir do texto de Eduardo Ribeiro dos Santos. O autor apresenta alternativas a serem adotadas não apenas pelos arquitetos, mas também pelos órgãos fiscalizadores na verificação do cumprimento de regulamentos e normas. O capítulo apresenta exemplos práticos demonstrando algumas possibilidades que podem facilitar a tomada de decisão do arquiteto interessado nas questões de sustentabilidade – outra tendência no setor.

Enfatizando o processo de tomada de decisão no desenvolvimento de projetos, Tathiana do Nascimento Carvalho exploram o método de ACV – Análise do Ciclo de Vida – como ferramenta de decisão de projeto em Arquitetura. Através de metodologia proposta fundamentada em normas técnicas e publicações acadêmicas, diretrizes da ACV foram aplicadas em edificação unifamiliar do PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida.

O último capítulo do livro retoma as discussões sobre as possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais, porém com abordagem para além da edificação. O capítulo desenvolvido por Mônica Santos Salgado, discorre sobre as “smart cities” (cidades inteligentes), apresentando os desafios enfrentados pelas cidades em decorrência da

pandemia da COVID-19. A autora descreve as políticas adotadas na cidade de Nova York durante o primeiro surto da pandemia, e as tendências observadas visando à construção de cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes.

A ampla abordagem apresentada neste livro não esgota todas as questões relacionadas ao tema, mas certamente apresenta de parte significativa dos aspectos que precisam ser discutidos tendo em vista a rapidez das mudanças pelas quais passa a sociedade brasileira.





# PARTE I





**DIGITALIZAÇÃO NA  
PRESERVAÇÃO, REABILITAÇÃO  
E CONSERVAÇÃO DAS  
EDIFICAÇÕES**

---

# **From BIM to Digital Twins: the impact of information technology on building design processes**

Ricardo Codinhoto

---

**P**rofessionals within the Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) have likely realised how inefficient the construction sector is and how it often fails to design the right thing and build it right. Contributing to that is the widespread inefficient production and management of information. Design firms can spend as much as 80% of their time producing, changing, or updating documentation instead of developing better buildings. However, it is essential to say this inefficiency results from various uncontrollable factors, such as sector supply chain fragmentation, the lack of formal information management and the fact that most design firms are small practices fighting for survival. Thus, this built-in inefficiency creates a vicious circle that prevents firms from moving forward.

It is not only inefficiency that should drive improvements in the sector. Significant changes in worldwide demographics in the last century has taken its toll on the environment. Global warming and climate change are here and will remain for the foreseeable future, requiring an immediate attitude change of all AECO's professionals. Designing buildings that are environmentally friendly and energy-efficient will not suffice. Building resilience is crucial and must be embedded in our buildings and cities. For that to be achieved, designing, constructing, and operating buildings requires advanced and novel approaches that enable efficiency on what and how the sector does things.

For significant changes to happen, the sector must embrace computing as an ally. This is already happening as we see projects supported by Building Information

Modelling (BIM) worldwide. BIM has become a path significantly contributing to moving the AECO sector to the next generation of professional practice. Information modelling and management tools are much more accessible, thus enabling a whole new approach to designing, building, and operating buildings. Also emerging are digital twin technologies that link synchronous to asynchronous communication channels. Such integration is critical for understanding building use and user behaviour.

However, although considerable progress has been achieved in technological terms, much confusion exists about BIM implementation processes. Therefore, the aim of this chapter is to explain some of the issues related to BIM and Digital Twin implementation in the context of the UK AECO sector. Demonstrating that BIM is beneficial is outside the scope of this chapter, for there are thousands of other scientific peer-reviewed articles that do that. Unorthodoxly, a narrative is chosen to the detriment of a data-heavy analytical approach. The fast speed at which this area is evolving makes data quickly redundant and superseded. Conversely, the proposed evidence-based narrative focuses on the first-hand BIM implementation experience that rarely becomes redundant and supports practices.

## **BIM AND DIGITAL TWIN CONCEPTS AND ITS ADOPTION IN THE UK**

Building information modelling is a complicated concept to explain. The terms building information modelling and building information model are often used interchangeably, although they signify different things. That happens because the word ‘building’ can mean the physical asset or the action of constructing something (a model, for example). Modelling (the action) is often mistaken with the model (the digital artefact). The model is often associated with the 3D digital model.

To distinguish the words and clarify the concepts, the term ‘information modelling’ is used here to refer to the action of modelling information. In practical terms, that means linking information within various documents through computer coding so that if the information is updated in one document, all other documents are updated. This process generates the information model composed of graphical (e.g., 2D and 3D) and non-graphical information (such as cost spreadsheets, construction schedules, and quantities). Various software (such as ArchiCAD, Revit and Tekla SD) have some built-in modelling codes already. Building additional ones requires acquiring programming skills that have become more accessible through visual programming software such as Grasshopper and Dynamo.

The building information model is part of what has been called a digital twin. The building model contains all information about the building fabric except for live data such as indoor temperature, occupancy, or even which lights are on and which ones



are off. For the building information model to have that information, it is necessary to link the digital model to the real twin (the real building). The link is done using sensors collecting live data from the building and sending it through the internet to the building information model. With the Internet of Things movement growing, these sensors can be placed anywhere to collect data about almost anything.

However, linking synchronous data from sensors to the building information model is not enough for obtaining a digital twin. More advanced programming codes and algorithms are necessary for analysing the data from sensors within the digital twin. In this respect, artificial intelligence (AI) plays a pivotal role in the data analytics process, particularly the sub-area of machine learning. Machine learning enables simulating what is happening, identifying patterns, and predicting possible outcome scenarios.

A digital twin is very useful in the occupancy phase of a building as a live post-occupancy evaluation mechanism. However, it can also be advantageous to support design. Data from existing projects generated and interpreted through machine learning can now feed into new designs. This idea is at the foundation of 'Generative Design' approaches. Since much can be known about building use and users, design alternatives can be automatically created that respond to the various predicted outcome scenarios mentioned above. The idea of Generative Design solutions is gaining momentum and known software providers already have built-in solutions within mainstream design software.

Many people question whether these data-centric design approaches are likely to replace designers. The simple answer is NO! Computers can do two things better than humans. That is storing and computing data. The one thing that computers cannot do is conceptualising new ideas that respond to or promote changes. All the above mentioned 80% of the time that designers use to produce documentation can then be replaced by computers, thus freeing time for designers to think about what matters most in a project, i.e. its concept.

However, there will be a change in how designers think about design and validate their design solutions. More often, we will see design firms embracing data-led approaches. Clients will also want their design to be informed by such approaches. Moreover, they will also want to access the building information model to increase the efficiency in which buildings are operating. The long-term results will be buildings that cost less to be run, are safer, and above all, are more sustainable. That also applies and extends to urban design and city development.

These key aspects led the UK government to adopt and implement a data-driven approach to public buildings. In simple terms, to adopt means to decide to use something, whereas implementing means to act and use whatever has been adopted. The decision of adopting BIM in the UK was made back in 2011 through the BIM mandate. Many

people mistake the BIM mandate with something that obliges designers to adopt and implement BIM in their firms. Not at all, the BIM mandate in the UK simply constitutes the Government informing the Treasury that all contracts for public buildings can only be established with firms that can use and deliver projects through BIM. In other words, if you are a designer and do not want to adopt BIM, that is ok if you do not participate in public projects.

Whilst the adoption was made in 2011, the implementation only happened in April 2016. The UK government granted companies five years to create processes that would lead to efficiency gains through BIM implementation. In particular, the UK government was interested in improving health and safety, profitability, completion on time and budget and sustainability records of public projects. There was also a hope that such a mandate would overcome the sector’s inertia in adopting advanced data-led approaches for designing and building, thus resulting in a more efficient AECO sector.

The effect of the mandate has been positive. As shown in Figure 1 (left), 73% of the sector’s firms are currently using BIM and data from the last twelve months. Figure 1 (right) shows that it is not only public projects that have been using BIM. Stricter regulations concerning the environmental impact of building projects have significantly influenced private clients to demand the use of BIM by their design and construction teams. However, there is still much to do as small projects and small design practices still find BIM implementation challenging.

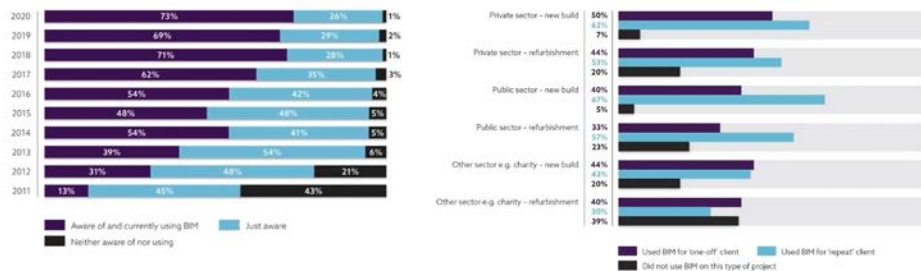


Figure 1 – (Left) UK BIM adoption between 2011 and 2020 and (Right) adoption per client type in the last 12 months (Source): NBS, 2020.

Companies should see BIM implementation as a medium to long-term objective. The UK mandate has shown that it can take up to five years to implement BIM in general. Also, many firms that focus their efforts on exclusively implementing software fail to implement BIM successfully. The decision to adopt BIM must be based on the value it brings to design and construction businesses in the first place. The implementation requires a strategy focused on the features that resolve more relevant and costly problems first. Newer technologies and workflows can gradually be implemented once the lessons

from the initial implementation have been consolidated. This way, the payback time can be reduced, and the return on investment higher. All that applies to BIM implementation also applies to digital twins, generative design, and any other technology-based innovation.

**BIM AND DIGITAL TWIN USES IN DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION**

The number of BIM use cases is continuously increasing as new technologies are continually emerging. In this respect, a large variety of uses is already readily available. For example, the CIC BIM Project Planning Execution Planning Guide 2.2 identifies 23 common examples of BIM deliverables. The most popular in BIM literature include 3D coordination and clash detection, phase planning 4D modelling, automated quantity take-off and cost estimation, sustainability (LEED/BREEAM) evaluation, and others. Table 1 below shows the CIC list classified according to different project phases.

Table 1 – CIC (2019) list of BIMs uses.

DESIGN	CONSTRUCTION	USE & OPERATION
Building system analysis	Site utilisation planning	Building (preventive) maintenance scheduling
Disaster resilience planning	Construction system design (virtual mock-up)	Asset Management
Record modelling	3D control and planning (digital layout)	Space management and Tracking
Digital fabrication	Programming	Facility energy analysis
3D coordination	Site planning (health & safety)	
Design authoring	Phase planning (4D modelling)	
Engineering analysis (structural, lighting, energy, mechanical, etc.)	Quantity take-off and cost estimation	
Sustainability evaluation		
Code validation		
Design reviews		
Site analysis		
Existing conditions modelling		

It is essential to highlight that BIM is not just about 3D building geometry modelling. Even though 3D can be a part of modelling, it is not necessary for all modelling. 3D, as the term indicates, refers to geometry parameters (dimensions) in the X, Y and Z axis, i.e., the dimensions of an object represented in a digital format such as a brick, a pillar, a foundation block, a window, etc. The emphasis on 3D in the BIM literature comes from the fact that it is easier to link other parameters to the digital 3D object. In Figure 2, for example, you can see the 2D view of a 3D model in Autodesk Revit, which is organised in

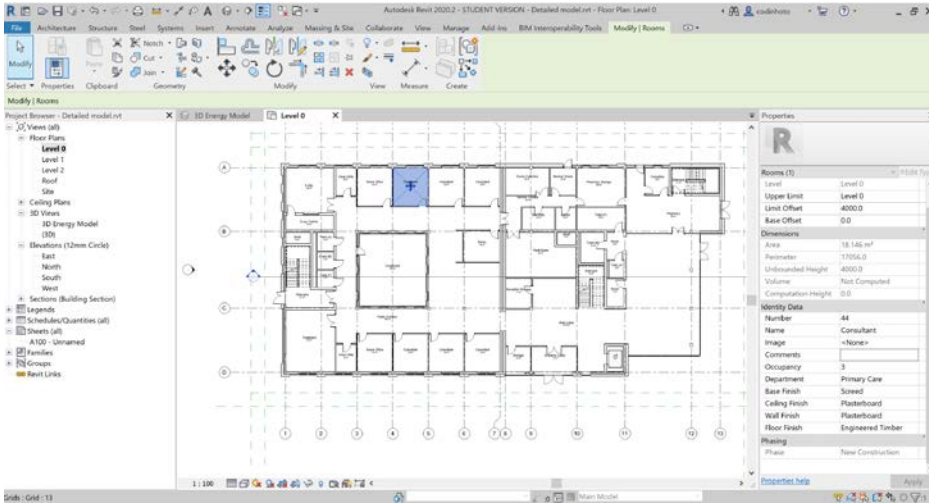


Figure 2 – Autodesk Revit Room parameters.

‘families’ such as windows, doors, rooms, etc. Note within ‘Properties’ (right) that various parameters exist concerning room dimensions. Also, there are other properties related to ‘Material and Finishes’ and construction phases. The information model contains dimensions, but it can also contain other types of information for each building element used in the model.

In Figure 3, however, the software’s built-in space function enables the design team to set different parameters related to the mechanical and electrical systems used for heating, ventilation, and air conditioning (HVAC). There are also energy consumption

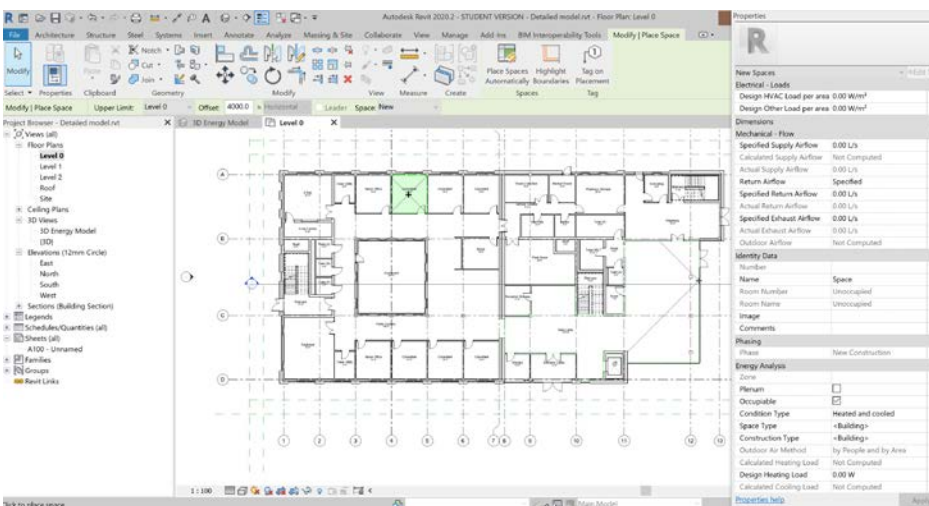


Figure 3 – Autodesk Revit Space parameters.

parameters, such as room occupancy. The data within these fields are also used to simulate the building's energy performance in other software. This way, the information is re-used rather than re-entered from application to application.

Many who re-uses information know that that is easier said than done. That is because transferring information from one software into another is not always a straightforward task. Like designers and contractors, software developers also fail in adopting a standardised approach for data structuring. Thus, transferring information means to deal with more complex information importing and exporting functions when two or more software are not fully interoperable. These complex processes aim to guarantee that the correct information is transferred, and that no relevant information is left behind.

The same principle of modelling information related to buildings applies to cities and an entire country. Many are familiar with the idea of smart cities. Early research in this area has shown that as technology evolves from time to time, it is essential to revisit the troublesome multifaceted smart cities concept. That is because the fast developments in technology expand our understanding of smart cities and what can be done to make them smarter. In the context of this chapter, smart cities are defined as “an urban (data) ecosystem that emphasises the use of digital technology, shared knowledge, and cohesive processes to underpin citizen benefits in sectors such as mobility, public safety, transport, air quality, health and productivity.” Fundamental to this definition is the concept of a digital twin. This way, the smart city concept is framed as an expanded version of a building digital twin focused on tackling issues related to a growing population, increased traffic and pollution, increased waste generation, reduced access to homes and public spaces, and water and energy resources. This approach also offers a solution to tackle global warming because of uncontrolled carbon emissions in the context of tighter city budgets and ageing infrastructure. Like the concept, the complexity of the problem and the solution also expands, for realising smart cities requires more significant efforts and a multi-disciplinary integrated approach.

In the UK, the smart cities subject has also been explored through the AECO sector's lens. Much like everything else, the AECO sector is undergoing a digital transformation. Technologies that heretofore were restricted to digital solutions are permeating the pre- and post-construction building industry. Organisations can now create building data ecosystem grids to capture and analyse data trails from building users and enhance building performance. The scalability of these building data ecosystem grids (digital twins) ranges from parts of a building to entire cities. As such, they seed the development of smart cities when inter-connected. In other words, on the one hand, BIM becomes a platform for building data integration; on the other hand, it can be linked to data ecosystems built around service and use analytics platforms that tie the ecosystems

together, thus creating a digital twin. Such a transformation has been fostered by several disruptive Information and Communication Technologies such as BIM, AI, the Internet of Things (IoT), and the Internet of Behaviour (IoB). However, in the UK, this transformation is still slow. While a unified platform does not exist, organisations continue to develop smaller parts of a bigger reality, i.e., ‘dizygotic’ digital twins.

Various points have been discussed to this point in the chapter. In the introduction, we explained why digital tools are needed. Then a few key concepts were explained that are relevant for understanding BIM and digital twins. Then, a short narrative explains the adoption and implementation in the UK. In the next section, we will continue to discuss BIM uses by also presenting a narrative based on a longitudinal case study conducted between 2011 and 2017 in the UK.

### **Manchester Town Hall Complex Project**

Manchester City Council was the client in a complex project to refurbish the interiors of two of Manchester’s finest public buildings: the iconic Central Library originally built in 1934 and the Town Hall Extension built in 1938. Connecting the two Grade II\*-listed buildings, the scheme had to protect important heritage features while creating a more accessible, multi-functional public facility. This includes installing measures to improve long-term energy efficiency and facilities management of both buildings. A completely new glass and steel stairway and lift were installed within the Central Library to improve accessibility. A completely new underground connection between the two buildings was created to link the two buildings while extending the library. The costs were estimated at over £100 million. Although a technically aware client, Manchester City Council had little BIM experience at the start of its refurbishment and yet had more experience than many in the country in such an early stage of adoption. The project began in September 2010, just before the BIM mandate and completed in March 2014. It was deemed relevant for research because of its character involving new built and the refurbishment of a heritage building and its unique intention to adopt BIM for design, construction, and facilities management (FM). This was the first significant case of BIM for FM in the UK.

The research had three main focuses: Phase 1 (P1) - BIM for design and construction (between 2010 and 2012); Phase 2 (P2) - BIM for Facilities Management (2012-2014); and Phase 3 (P3) - Post Occupancy Evaluation (POE) (2016-2017) using sensors. Note that there are various inherent difficulties in conducting a longitudinal study such as this. This included changes in the personnel of all organisations involved and our understanding of BIM then and now. The research started in 2010 and finished in December 2017. Seven researchers were involved (four in P1, four in P2 and two in P3). For those concerned with the methods used for data collection, this research project involved extensive data

collection. Evidence about BIM implementation (P1 and P2) was generated through one-hour interviews with three client representatives, fourteen designers of all disciplines, six facilities managers, and six staff members within the library. It also involved extensive document and model analysis. That included (but is not restricted to) project briefings, design and construction documentation and models, facilities management governance documentation. The research team attended circa 40 project meetings. Triangulation was reached through shadowing the design, construction and FM teams working on this project. Over two hundred hours of observations were carried out. Also, ninety-three survey questionnaires were collected in P3, and 2160 hours of raspberry PI sensor data was collected for temperature, humidity, air quality and light levels. These were calibrated through 25 spot measurements. Such a heavy data-driven process was necessary to build an accurate narrative of the implementation. If further assurance is needed from the reader, details of methods and findings can be found in (Codinhoto *et al.*, 2011; 2013a; and 2013b).

In the following, a narrative of the BIM implementation process for this case is presented according to different BIM deliverables. These are organised according to the project's different phases, from design, construction and use and operation.

### **Acquiring data and surveying existing buildings**

The project started with an attempt to laser scan the building. A building so old and with so many architectural details could not be surveyed in a traditional way. Also, libraries containing 3D objects were not so common in 2010 and did not have parametric objects representing the construction techniques used in the first half of the 20<sup>th</sup> century.



Figure 4 – Manchester Central Library.  
Source: Manc360, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.



The initial idea was that modelling the building up-front would enable the design team to run various existing building simulations. These simulations would elicit areas where the existing building was underperforming (e.g., areas too hot, too cold). The simulation would then inform the project brief in a targeted manner.

Although the existing literature indicated gains through laser-scanners, these were expensive and not widely available at the time. Soon the design team realised that the task was too big for the available technology. A contractor's risk analysis showed that the level of precision needed for building representation did not require a point-cloud description of the existing building. It also showed that it would require considerably more time for generating the point-cloud and modelling the building from the point-cloud model. Thus, the idea of accurately model the facility through laser scanning was abandoned. Such a decision also had negative implications because more effort was needed to create a library of objects representing the historical building elements and systems. So, although time was saved overall, the model's precision was compromised, but not to the extent that it would impact the project. Figure 5 shows a failed attempt to use laser scanning technology to generate a point-cloud model. It became clear from the very early days of the project that technology was only going to be used when there was no impact on the project budget and schedule.



Figure 5 – The use of a laser scanner  
Source: the Author.

### **Coordination and datum**

The two main buildings were (re)designed and modelled by two different architectural practices. The architectural office responsible for the library had some experience with BIM, whereas the other was using it for the first time. A truthful spirit of collaboration existed in this project. At that point in time, not much was known about BIM and even less about BIM for FM. Also, not much was known about the coordination system, as shown in Figure 6 (left). As the façade could not be changed due to heritage



regulations, a less detailed model was created (right) that represented the primary geometry. Unfortunately, the original building's performance was not simulated, so an opportunity to establish a baseline for comparison before and after refurbishment was missed. That was because much time had passed when the two buildings were finally modelled. Also, datum information was not part of the Employers Information Requirements (EIR). (Exchange Information Requirements in today's terms – see BS EN ISO 19650:1). It is essential to remind the reader that in 2010 when this research started, there were no set standards for the implementation of BIM. The RIBA Plan of Works also did not cover the delivery of projects through BIM.

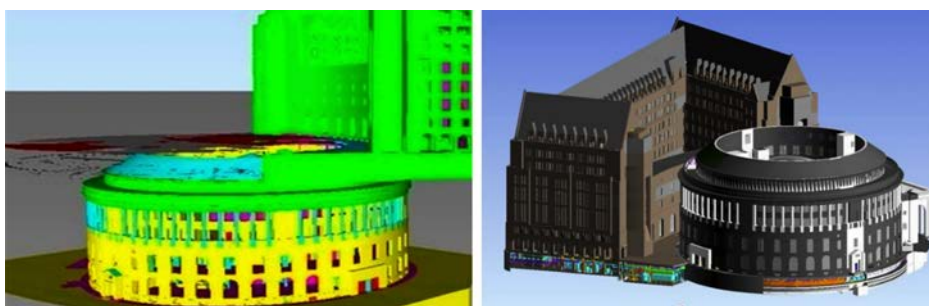


Figure 6 – Coordination datum error and corrected 3D model.  
Source: the Author.

It is widely known today that EIRs set out the managerial, commercial, and technical aspects of producing project information. It is an essential document that should be prepared by the client before designers and contractors are assigned to the project. However, very little guidance for clients exists to date that is meaningful for building operations and maintenance purposes. EIR templates are often biased and mostly represent designers and contractors' views (Comlay and Codinhoto, 2017). Problems such as the ones presented below are less common today. However, it illustrates the importance of having documentation that explains what and how the information will be structured and delivered across the various stages of the design process. That includes, but is not restricted to, the EIR, the BEP (BIM execution plan), the MIDP (Master Information Delivery Plan) and the TIDP (Task Information Delivery Plan). Documentation that, unfortunately, is often seen as unnecessary "red tape". Note: within this project, these documents were not widely available. The only version of EIR that existed was the American's CIC BIM Implementation Guidelines. The experience within the project team was limited; the experience of the client was none. By principle, it was clear to all parts that the projects information management requirements had to be formalised to facilitate collaboration.

### Classification systems and data structuring

The adoption of BIM means choosing an approach for information management based on standardised data structures. Various inter-related standards exist for the various aspects of information modelling. Admittedly, it can be unclear for a novice user to understand the plethora of standards that apply to BIM. However, it is the sector’s general perception that standards do not add value that is problematic. For example, the Uniclass 2015 (Figure 7) system in the UK (the equivalent of Master Format and Ominiclass in the USA) is a classification system for the specification of building elements that has existed since 1997. Yet, its adoption in the sector is very low. Utilising this system means that even if different stakeholders call an object differently, a common and standardised code will be available as part of the project’s description. That code enables linking information from different software because it is standardised. For example, independently of the architect calling an element ‘column’, or the structural engineer calling it a ‘pillar’, this element will have a unique code within Uniclass. Note: in 2010, only an embryonic version of the Uniclass system was available, and it was not widely used. However, the contractor

Search Uniclass2015:  Filter by:

Code	Title
Pr_20_85_16_62	Plastics columns
Pr_20_85_16_81	Softwood structural columns
Pr_20_85_16_84	Stainless steel structural columns
Pr_20_85_16_85	Stainless steel column shoes
Pr_20_85_16_86	Stone columns
Pr_25_71_14_16	Column casings
Pr_35_90_43_13	Column guards
Pr_75_75_94_19	Column voice alarm loudspeakers
Pr_80_77_48	Lighting columns, brackets and bollards
Pr_80_77_48_01	Aluminium column luminaire brackets

Figure 7 – Uniclass 2015 version 1.20, 2020.  
Source: NBS, 2020.

had its classification system, and that was used in the project. The contractor also had a four-level protocol to evaluate the digital models created by third parties. Level 0 meant that the model had to be completely re-done, while Level 4 meant that only small parts had to be re-modelled. As the project evolved, the design team learned how to create digital models that the various disciplines could re-use.

In this respect, Figure 8 shows images that help explain some of this project's complexity. On the left, the main reading room, also known as the dome, is prepared for disassembly. Being a listed building required all elements to be protected from heavy-duty work processes that could cause damage to the building fabric. In this case, the colonnade around the dome was protected. On the right, you see that the central piece that connects different levels. A significant new feature in the Great Hall was the insertion of a circular glazed floor below the dome, allowing daylight to penetrate the archives' floor below. In both cases, the building elements had to be protected from damage during construction or disassembled, catalogued, and removed until the site was ready to receive these elements again. The contractor's classification was used to categorise each element (real and digital), thus facilitating the refurbishment process.



Figure 8 – Disassembling the dome room.  
Source: the Author.

### Optioneering

Optioneering refers to the systematic examination of alternative designs and product performance to better meet project challenges. It considers each solution's impact on a project's cost, environmental footprint, and safety issues. This process is standard in UK projects, and it is used when there are conflicting requirements. The drawback of this process is that creating alternative solutions can usually take up a considerable amount of time and add uncertainty to the budget. That is because detailed information is needed for each candidate solution to be appropriately assessed.

Figure 9 shows a design detail concerning maintenance access and the amount of natural light inside the building (natural light analysis was performed using the BIM model as a data source). The right (B) solution had reduced costs, reduced light ratio, and increased access for maintenance. The visualisation of the 3D model enabled the FM team to understand that the initial option (A) would prevent them from having ideal access to maintenance in certain areas of the building. While the project progressed, the design team had to conceptualise option B to resolve its problems. Using a 3D modelling approach helped with the automated generation of plans, sections, and elevations. However, there was uncertainty related to the additional costs of changing the design in such a case. Because the design team and contractor had a model and a cost database with structured and standardised data (as described above), the new alternative design was proposed. Its costs were estimated within 24 hours of the client's request. Noting that, also, the project programme was linked to the model and impacts on construction time were also assessed.



Figure 9 – Roof skylight options A (left) and B (right).  
Source: the Author.

The project team and the facilities management team could then assess the feasibility of adopting one or the other solution in relation to the project budget and the building's future maintenance. The original solution (A) was kept because of the increased amount of natural light provided to the room without interfering with the tall arched doors. Although the ideal access for maintenance was compromised, the FM team understood the value of having additional natural light inside the building. Various instances of optioneering took place in this project. Although not all compromises were eliminated, the most beneficial aspect was the inclusion of various building performance criteria in addition to the traditional cost-time based analysis. In other words, design

trade-offs were informed by evidence generated through BIM-enabled simulation. Figure 10 shows the construction in progress according to alternative A.



Figure 10 – Roof skylight optioneering.

Source: the Author.

### Coordination and Automated Clash Detection

Anyone can imagine that modernising a listed building from the 1930s to conform to current standards is likely to present challenges. For this project, significant changes were proposed for the mechanical, electrical, and plumbing systems (MEP). Also, the heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems were updated. The challenge here was to harmoniously add new and incredibly complex systems to a building that was treasured for its heritage status. Figure 11 (1 and 2) illustrate the complexity of such systems within the building. Figure 11 (3) shows an example of a clash identified (and rectified) before the construction started. The detail shows that an electrical inspection meter was incorrectly placed in front of an existing door. Because the box is suspended, it would only appear as a projection in a 2D drawing. Physically, the model has no clash as the box is in front of the door. However, in this case, the door as a digital object had an additional geometry component to indicate the area where doors would open. This modelling approach enables the software to identify a clash between the box and the door automatically. The visualisation in 3D is another feature that enabled better coordination across the various disciplines. Finally, Figure 11 (4) shows a multi-disciplinary design meeting where identified clashes were discussed and resolved. These meetings were attended by the various stakeholders who monitored the project's requirements while the design evolved.

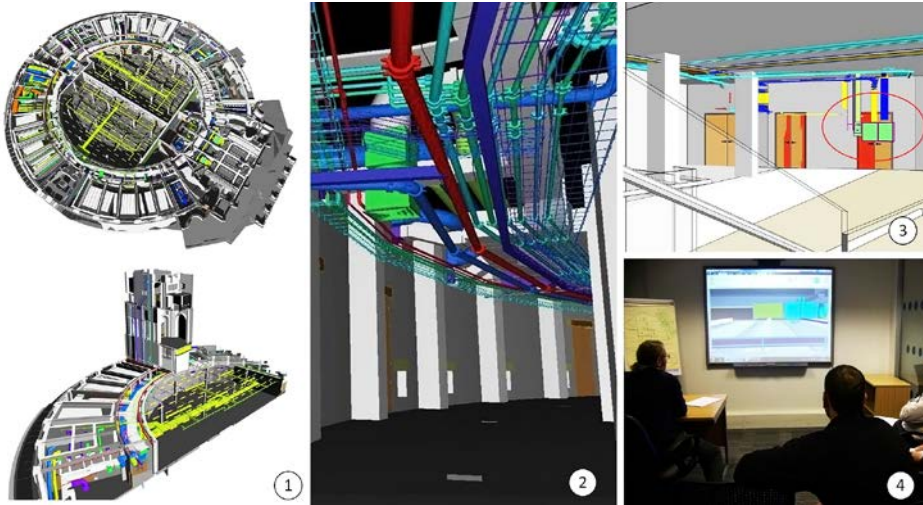


Figure 11 – Coordination and clash detection.

Source: the Author.

### Safety and Fire Strategy

In terms of engineering, various aspects of energy consumption and other environmental criteria were modelled and simulated. Figure 12 (1) shows a computation fluid dynamics (CFD) smoke dispersion analysis. The results range from red areas indicating the level 0 of visibility where people (including the fire brigade) cannot see through the smoke in the occurrence of a fire and the blue areas indicating some level of visibility. In this case, the simulation results showed that people inside the main reading room have approximately 14 minutes to evacuate the building before it becomes impossible to see through the smoke. Such information was critical for the client's team because evacuation plans, and maintenance strategies Figure 12 (2) can be informed by the CFD analysis. It enables the identification of safer evacuation routes and areas for refuge and re-assembly. Once again, data structuring was pivotal because data had to be exported from Revit to Ansys (CFD simulator used). Once again, building performance was incorporated in the design decision-making process.

### Planning demolition and reconstruction

It has been already highlighted in this chapter how important it was protecting the heritage within this building. So, BIM was also utilised to support better planning of the demolition. Demolition had a high importance rate in this project because anything being demolished had to be safely removed from the construction site. Primarily, workers' safety had to be considered, and the safety of the original elements that remained on-site during construction. Figure 13 below shows in red all elements that had to be removed from level 0 of the existing building.



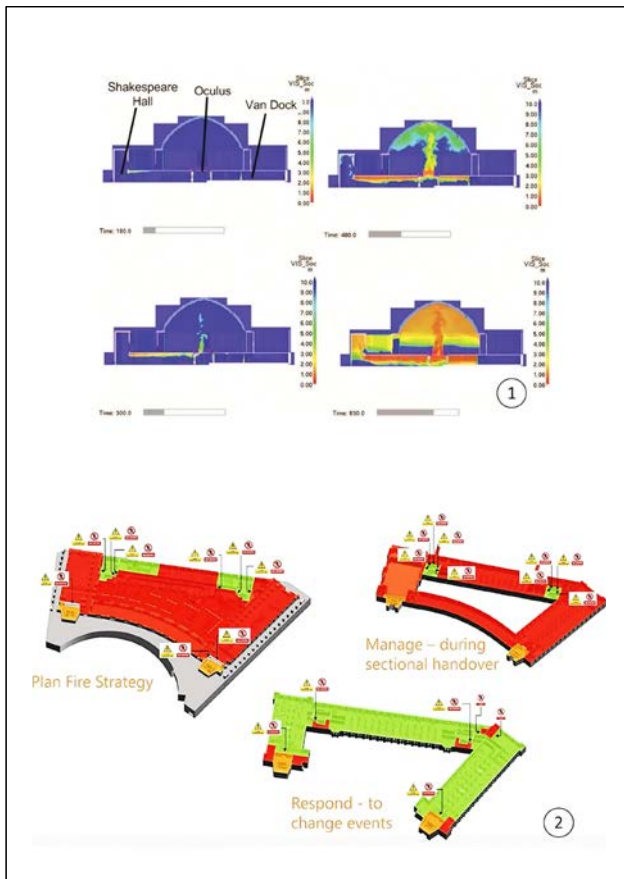


Figure 12 – CFD smoke dispersion analysis (1) and statutory maintenance plan (2).  
Source: the Author.

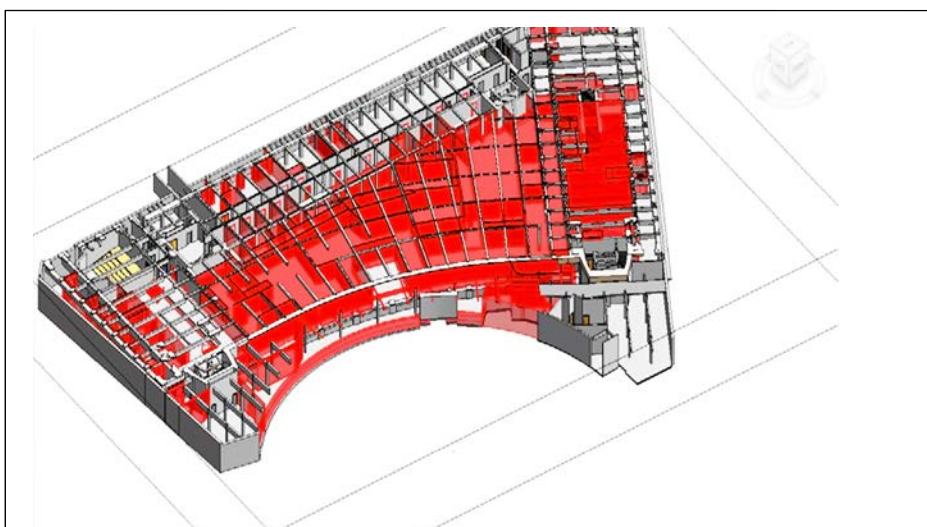


Figure 13 – Demolition sequencing.  
Source: the Author.

The extent of demolition involved in this project needs to be understood by readers; Figure 14 shows an internal photo of the building after all slabs, internal doors and other elements were removed. Note at the top half of the images that the columns shown in Figure 8 remained during construction, even though everything else was removed. An additional level was added below the ground level seen in this photo taken before excavation started, making the demolition process even more important.



Figure 14 – Demolition during execution.  
Source: the Author.

As well as the demolition, the reconstruction of all slabs was a critical process to this project. The original building was not universally accessible to people in wheelchairs or with any other disability. Thus, lifts had to be introduced so to enable access to all. For that to be possible, a hybrid structural system combining concrete and steel frame was utilised. Figure 15 shows how both systems were conceptualised and how construction was planned in sequence. Also, at the bottom left, the green image reveals clashes between the new structural system and the openings within the existing building envelope that remained. In addition, the openness of the steel structural solution was an intentional aspect of this project that enabled the heating strategy for this building. A coil heating system was introduced to the new underground level. The opening within the steel structure enabled the convection and radiation of heat to all levels above. The use of BIM also enabled the simulation of such a novel system within the building in IES-VE.



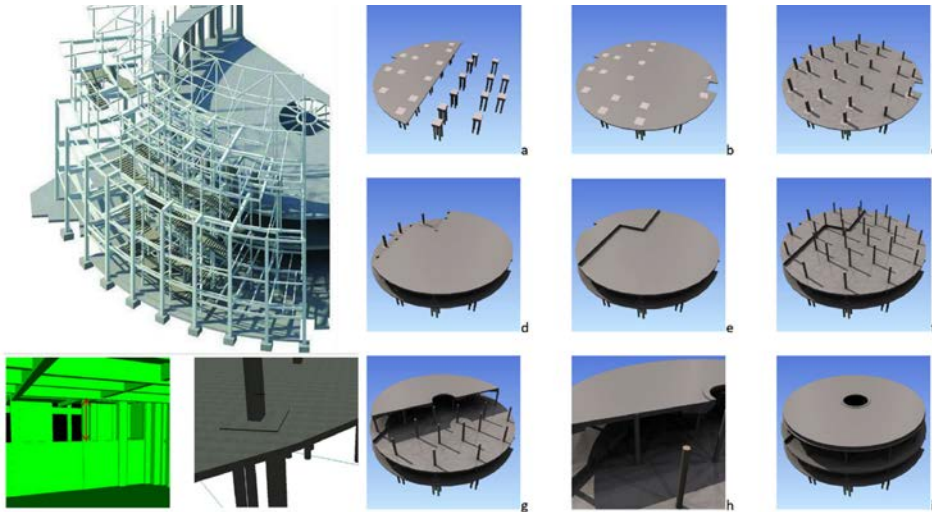


Figure 15 – Reconstruction coordination and sequencing.  
Source: the Author.

### Use and operation.

Both buildings (the library and the town hall extension) had rooms that can be privately booked for events such as conferences. Any problem with the building occurring days before these events was considered a source of stress for the FM team. Before this project started, data about the building was kept in its ‘traditional’ way. Copies of as-built drawings and documentation such as maintenance manuals, receipts, warranties were kept in a room (Figure 16). Access to these documents was constant for a variety of reasons, in particular maintenance. However, it was often difficult to find a set of information related to the building’s specific parts requiring urgent repair. Our interviews with the FM team and documental analysis revealed that finding these documents, interpreting the information, proposing a maintenance solution, and executing the maintenance use to take anything between two and three months. That (low) level of service provision was unacceptable, and the project team had to act upon it.

The solution found for this project was simple. Each element within the model had a code, as discussed above. Each element also received a digital tag (a location-based asset identifier) with a hyperlink to a folder within a cloud-based storage. All documents related to each element were stored in these folders (Figure 17). This way, anytime a service order was created to maintain a part of the building, the facilities manager could immediately access the relevant information by simply clicking on the object tag within the model on his phone or tablet. The maintenance of the model and the cloud-based folder was established as a simple process. The object’s geometry only changes if a person with competence for doing so is part of the maintenance process.



Figure 16 – Reconstruction coordination and sequencing.  
Source: the Author.

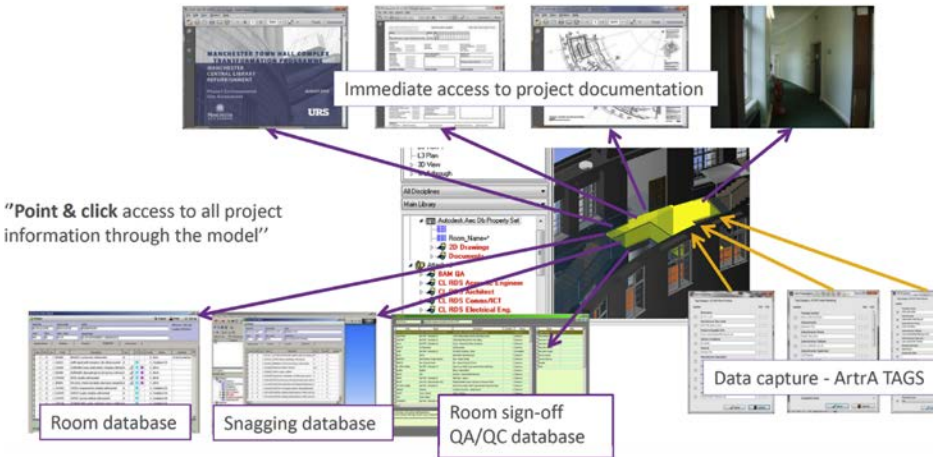


Figure 17 – Reconstruction coordination and sequencing.  
Source: the Author.

In most cases, that is not what happens as only the in-house facilities management team is available. On such occasions, the model geometry is maintained, but the documents within the folder are updated and if the geometry changes, a photo is added to the folder. All members of the facilities management team can conduct such a simple process. Once the project was finished and the project information handed over to the client, all three types of maintenance, i.e., planned, reactive and statutory maintenance, were assigned through the model created. Ten simulations were carried out for comparing

maintenance performance based on the traditional paper-based approach and the digital one. All results showed substantial reductions in time and cost by using the digital BIM informed approach. In the long-run, the additional costs of creating and maintaining the BIM model were substantially outweighed by the efficiency gains.

Various other aspects of facilities management service provision were linked to the BIM model. These include a link to fire strategy and evacuation plan, a link to security strategy, a thermal modelling of building changes, a link to digital signage, using BIM for handheld technologies, a link to the energy management system (including zoning, out of hours use, event management, etc.). The model is also used as a staff induction tool, a customer communication tool (linked to the website), a marketing tool, events, and community schemes (clicks and links), links to operational zones, cleaning, events etc., and the ability to run logistical tests and models (flow and movement). Figure 18 shows how the information has been organised for the low-temperature hot water and heating (LTHW) system, which is also part of the final model that is currently used by the FM team. This aspect can be considered an early-stage digital twin since the sensor-based BMS system's data is directly linked to the BIM model. Note: the sensors are based on pieces of equipment rather than the building.

### **Post Occupancy and Digital Twin**

The building is equipped with various types of sensors (e.g., smoke, CO<sub>2</sub>, and light). None of the environmental sensors were connected to the BIM model because, at the time they were installed, not much was known about digital twins for construction projects. Nevertheless, the use of sensors such as smoke alarms, CO<sub>2</sub> sensors for air quality, and the Building Management System (BMS) are amongst those that are currently operating.

The BMS system is considered of high importance in this project. The BMS is an overarching control system responsible for the automatic regulation and control of facility subsystems, maintaining predefined parameters (or setpoints) and controlling their functionality. The primary aim of the BMS is to guarantee the safety of building operations while also monitoring and optimising the use and efficiency of its supervised subsystems to allow more efficient operation. The use of such systems reduces the efforts required for the conduction of post-occupancy evaluation exercises. The sensors informing the BMS system were placed within the equipment monitoring the use of energy. For that, a benchmarking approach is used to define if the building is performing adequately. In other words, if the building is using too much or too little energy and fuel. In this project, the research team spent an additional six months within the building two years after project completion. As shown in Figure 19, various sensors were installed within the building to monitor the space's performance (as opposed to the performance of the HVAC

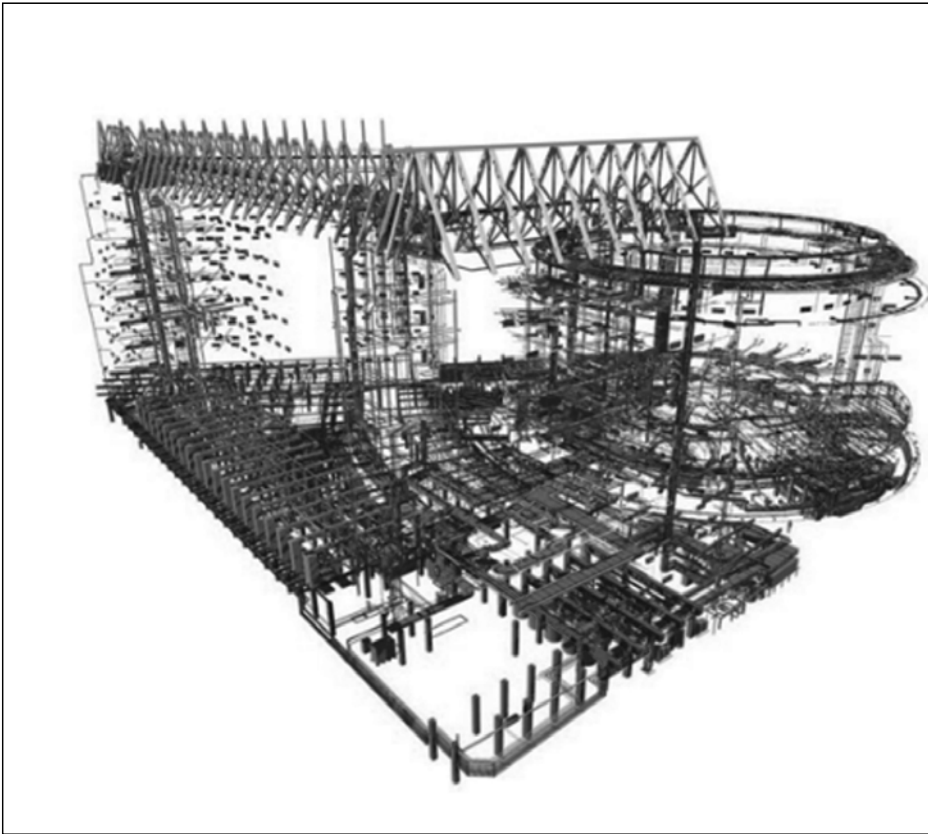


Figure 18 – Low-Temperature Hot Water and Heating System (LTHW) Model.  
Source: the Author.

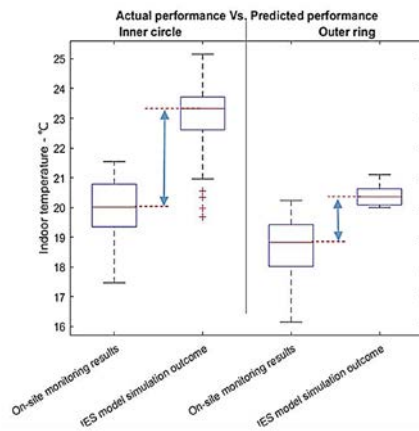
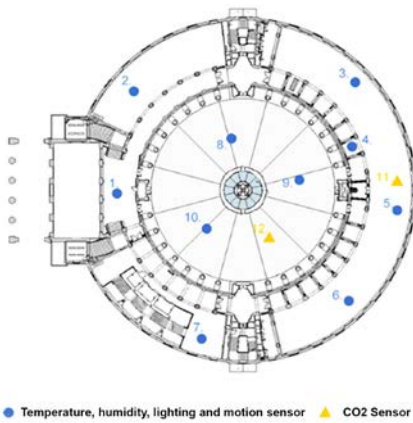


Figure 19 – The dome room after completion.  
Source: the Author.

equipment). The results were compared with the BMS system results and with the results predicted with the building performance IES\_VE simulation done before construction in 2010. Although a discrepancy was identified between actual and predicted performance, the building is still performing within the comfortable range specified by UK regulations and codes. In other words, there is no significant performance gap between what was designed and how the building is performing.

However, through a survey questionnaire, it was found that a significant percentage of building users were dissatisfied with the performance. Building users felt cold while indoors, despite its performance within the 18.5° to 23° Celsius range of thermal comfort. Movement monitoring data showed us that building users were spending circa six hours within the reading rooms. Such behaviour reduces metabolism, which explains why individuals were feeling cold. This approach was also an early version of IoB (internet of behaviour). Even though sensors were linked to the BIM model, these were removed once the research was completed. However, the proof-of-concept that a data-driven approach can support better building design, construction, use, operation, and maintenance remained.

## **FINAL REMARKS**

At the beginning of this chapter, a series of issues were raised concerning the AECO sector's inefficiencies. It was argued that part of the sector's root problem is the lack of a structured and standardised approach for information management. Such an approach leads professionals to spend a considerable amount of their time on documentation production rather than conceptualising and developing the design and construction solutions.

It is also argued that BIM is a potential solution for some of these problems. Throughout this chapter, the use of BIM within the Manchester Central Library project is presented as a source of evidence that such an approach leads to significant improvements. From the experience obtained through this longitudinal research project, various lessons were drawn:

First, there are two things that computers are better than humans: calculating and storing information. There is an urgent need for AECO professional to admit that and focus on what computers cannot do, i.e., creating new concepts that challenge the status quo of our design solutions and the impact they have on our environment. Spending 80% of the time on documentation production is not efficient nor an intelligent way of work. The case presented in this chapter shows that time can be saved due to information modelling.

Second, there is a need to increase certainty for what we design before we build. Certainty regarding our design solution's impact on the environment, our health, and



organisations operational budgets. Again, the case illustrates that information modelling can lead to a better understanding of our design solutions and their impacts on all phases of a project's life cycle.

Third, there is a need to monitor the impact of our decisions during the design process so that the requirements carefully gathered upfront are not lost, as they commonly are. There is a need to keep design and construction within the pre-established costs, environmental performance, etc. This study shows that information modelling supports the monitoring of requirements.

Fourth, there is a need to engage in collaborative practices truly. For that, communication is crucial and can only happen if we approach information exchange professionally. That means structuring data and information according to shared standards rather than specific ones. Data was shared across professionals from the project, design, construction, and facilities management team in the presented case. That information created up-front was re-used throughout the project because standards were implemented up-front.

Fifth, there is a need to monitor the performance of what has been built and to learn from it. Professionals must learn whether what was proposed during design has been achieved, and if not, there is a need to understand why. This is the only way we can advance our design practices. This project also shows that information modelling supports this process to happen and that it can be automated.



Figure 20 – The dome room after completion  
Source: the Author.

Finally, the key issue that must be stressed is that BIM is not only about using software that automatically generates 2D documentation from a 3D model. The key aspect of BIM lies beyond this aspect. The standardised way that data is structured enables professionals to break their discipline silos and meaningfully collaborate in a multi-disciplinary fashion. For that to happen, professionals of the AECO sector must recognise that it is imperative to formalise and agree in writing the process, the structure and the standards that are to be used in all projects before its beginning.

Figure 20 is an image of the dome room after building completion. This image shows that such an organised process leads to efficient, safer, and sustainable developments and support AECO professionals in maintaining our architectural heritage.

## ACKNOWLEDGEMENT

Various people contributed to this research, including the Manchester Town Hall Complex Project team, the research team formed by Prof. Arto Kiviniemi, Dr Sergio Kemmer, Dr Cecilia G. da Rocha, Ms Lais Tonso, Dr Vincenzo Donato and Shiqi Shen; also, to all people that contributed through interviews and observations.

## REFERÊNCIAS

Codinhoto, R., Kiviniemi, A., Kemmer, S. and da Rocha, C.G. *BIM Implementation: Manchester Town Hall Complex*. The University of Salford, 2011.

Codinhoto, R., Kiviniemi, A., Kemmer, S. and da Rocha, C.G., BIM-FM implementation: an exploratory investigation. *In: International Journal of 3-D Information Modelling (IJ3DIM)*, 2(2), 2013a, p. 1-15.

Codinhoto, R., Kiviniemi, A., Kemmer, S., Essiet, U.M., Donato, V. and Tonso, L.G., *In: Research Report 2-BIM-FM-Manchester Town Hall Complex*. Manchester City Council. 2013b.

Comlay, J., Codinhoto, R., Facilities Management: Granularity of Information for a Digital -Information Platform. In (Aouad, G., Al-Hajj, A., Egbu, C. – eds) *Proceedings. International Conference on Sustainable Futures (ICSF) 2017 Section 5*, nº 6, p. 421, Kingdom of Bahrain., 2017. Available at: <file:///C:/Users/rc784/Downloads/ASU-ICSF-2017-Proceedings.pdf>

### Platform

BSI (2018) BS EN ISO 19650-1: Organisation and digitisation of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)—Information management using building information modelling—Part 1: Concepts and principles. British Standards Institute, 2018.

NBS (2020) Uniclass. Accessed November 2020 from <https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015#classificationtables>. 2015.

---

# **Preservação da memória através do HBIM: o Palácio Gustavo Capanema**

Cristiane Lopes Canuto

---



**A**rquitetura constitui um testemunho excepcional como patrimônio cultural, sendo um fator importante para formação da memória e identidade dos povos. A preservação desse patrimônio é essencial para transpor esse testemunho para gerações futuras (UNESCO, 1972). A documentação representa uma parte importante nesse processo de preservação do patrimônio e da memória, uma vez que atividades tanto na conservação como na restauração, exigem o registro preciso, completo e confiável da edificação (AMORIM, 2010).

O patrimônio cultural edificado é único e a sua perda tem consequências irreversíveis, no entanto suas informações digitais têm possibilidades de serem permanentemente armazenadas e compartilhadas. As alternativas de integração das tecnologias digitais permitem a criação de modelos cada vez mais fidedignos e facilita o acesso às informações sobre os bens culturais (BRUMANA, 2014; MURPHY, MCGOVERN e PAIVA, 2009). Observa-se que, frequentemente, a documentação e o registro histórico dessas edificações encontram-se distribuídos entre diferentes órgãos e o trabalho de resgate das informações originais torna-se extremamente complexo (CANUTO, RIBEIRO e SALGADO, 2016).

Nos últimos dez anos, houve uma grande evolução na utilização de tecnologias de aquisição como a Varredura a Laser Terrestre (ou TLS - *Terrestrial Laser Scanning*), Fotogrametria Aérea e Terrestre. Além disso, avanços na gestão, estruturação e disseminação de dados, como a Modelagem da Informação da Construção (BIM - *Building Information Modelling*), Sistema de Informação Geográfica (GIS - *Geographic Information System*), *Big Data*, Internet das coisas (IoT- *Internet of Things*), etc. (JOHUN e HALLOT, 2020;

MAXWELL, 2014). A associação dessas tecnologias digitais é uma tendência evidenciada entre os trabalhos da área de patrimônio cultural, e o HBIM tem se mostrado um poderoso aliado na documentação do bem patrimonial (CANUTO, 2019). O termo HBIM é recente e surge justamente como um desdobramento do uso BIM na área de patrimônio cultural (*H = Historic, Heritage ou Historical*).

Nesse contexto, o capítulo tem como objetivo apresentar as potencialidades oferecidas pelo HBIM na documentação para preservação do patrimônio cultural arquitetônico, com ênfase no patrimônio moderno. Para isso, realizou-se um estudo de caso com o objeto de estudo: o Palácio Gustavo Capanema - PGC (Figuras 1 e 2) (CANUTO, 2017). A escolha de uma obra do estilo moderno esta relacionada à problemática em preservar esse legado, pela falta de reconhecimento das obras como patrimônio, como também à carência de pesquisas relacionadas a esse estilo que sirvam como base para uma apropriada preservação (CANUTO, 2017; CARVALHO, 2005; SEGRE, 2013). Quanto ao objeto de estudo, o Palácio Gustavo Capanema (PGC) é um ícone da arquitetura moderna brasileira e a sua escolha deve-se ao seu valor histórico cultural, como também ao fato de a obra apresentar uma documentação diversificada e dispersa em diferentes locais.

Desse modo, o capítulo apresenta como resultado o HBIM do PGC, representando a reconstrução digital da edificação em sua fase de construção 1937-1945. A modelagem documental histórica foi executada utilizando o estudo de caso como uma estratégia para ser replicada na preservação de outros bens da arquitetura do período moderno. O modelo pode ser acessado publicamente por meio de um aplicativo e os resultados demonstram as possibilidades oferecidas pelo HBIM reunindo aspectos históricos, construtivos e cronológicos em um único modelo parametrizado (CANUTO, 2017).



Figura 1 – Palácio Gustavo Capanema.  
Fonte: Acervo da Autora.



Figura 2 – Pavimento térreo – Pilotis  
Fonte: Acervo da Autora.

## HBIM - HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING

Uma nova aplicação do BIM tem se destacado nos últimos dez anos, o HBIM. O termo HBIM foi introduzido como *Historic Building Information Modelling* por Murphy, McGovern e Pavia (2009) que o definem como:

*Historic Building Information Modelling* (HBIM) é uma nova solução em que objetos paramétricos interativos que representam elementos arquitetônicos construídos a partir de dados históricos, esses elementos (incluindo detalhes além da superfície de digitalização) são mapeados com precisão em uma nuvem de pontos ou levantamento com fotogrametria digital (MURPHY, MCGOVERN E PAVIA, 2009 p. 89, tradução nossa).

Quanto ao conceito HBIM, inicialmente estava mais relacionado com a combinação de TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) e seus processo de aquisição de dados/geometria, processamento, modelagem e divulgação. Contudo, o universo HBIM engloba também processos, políticas e pessoas. Tendo em vista os diversos conceitos dentro da literatura, entende-se por HBIM como o desenvolvimento de modelos com métodos de engenharia reversa, a partir de dados e informações confiáveis como levantamentos precisos e documentação existente, integrando a noção de significância cultural e trabalhando em processos de apoio à colaboração multidisciplinar para uma melhor gestão da informação.

Alguns pesquisadores denominam HBIM como *Historic Building Information Modelling* (HISTORIC ENGLAND, 2017; JOUAN e HALLOT, 2019), *Heritage Building Information Modelling* (ARAYICI *et al.*, 2017; KHODEIR, ALY e TAREK, 2016) *Historical Building Information Modelling* (BRUMANA *et al.*, 2014; CHENG *et al.*, 2015), atualmente o conceito é bem parecido entre os autores. O que difere no trabalho desses autores são os objetivos para o desenvolvimento do HBIM, ou seja, os usos HBIM. Dentre esses usos encontra-se: restauro (BRUMANA *et al.*, 2014; KHODEIR, ALY e TAREK, 2016), gestão de intervenções em um ambiente comum de dados (JORDAN-PALOMAR, *et al.*, 2018), processo semi-automático de desenvolvimento de biblioteca paramétrica (DORE e MURPHY, 2014), documentação (CHENG *et al.*, 2015; MURPHY, MCGOVERN e PAVIA, 2009) documentação com visualização em *timeline* (FAI *et al.*, 2011), etc.

Outra questão sobre o conceito HBIM, assim como mencionado no guia *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information*, desenvolvido pelo *Historic England* em 2017, o modelo não precisa necessariamente ser baseado em dados de nuvem de pontos ou fotogrametria digital. Vários projetos de pesquisa publicados sobre o HBIM aplicaram uma abordagem mais convencional de criação de modelos baseados em desenhos AutoCad 2D e medição direta como base, além dos documentos históricos, caso existam (ANTONOPOULOU e BRYAN, 2017). Esta pode ser uma abordagem apropriada

para um patrimônio cultural mais simples e adequadamente documentado em CAD, como também pode ser uma alternativa se o uso de dados de nuvem de pontos ou fotogrametria digital não for uma opção devido à habilidades de modelagem, orçamento ou outras restrições). O patrimônio moderno, por exemplo, por apresentar uma geometria mais simples, se encaixa nessa abordagem dependendo do uso HBIM (CANUTO, 2017; CUNHA, SANTOS e SALGADO, 2015; FRANCO JUNIOR, COSTA e FABRICIO, 2018).

## **DIVULGAÇÃO E SALVAGUARDA DO PATRIMÔNIO CULTURAL NO MEIO DIGITAL E VIRTUAL**

Assim como o mundo virtual vem fazendo parte do nosso cotidiano, o patrimônio virtual vem ganhando espaço dentro da área de patrimônio cultural. Uma questão que está presente em vários trabalhos que envolvem o meio virtual e o patrimônio cultural é a salvaguarda e o acesso desses produtos (modelos, arquivos, fotos, vídeos, etc.). Nesse sentido, com o intuito de assegurar a preservação e o acesso universal ao patrimônio documental mundial, a UNESCO, um dos agentes mais importantes e decisivos para o processo de *patrimonialização digital*, lançou em 2003 o documento “Preservação do Patrimônio Digital”. Nos últimos quinze anos cresceu a preocupação com a questão da instabilidade dos documentos produzidos diretamente no meio virtual e a falta de política pública que assegure a sua preservação. Após a carta da UNESCO um grande número de iniciativas internacionais começou a retratar questões em relação a salvaguarda e a democratização do patrimônio digital com destaque para a Carta de Londres (2009), e, posteriormente, com a intenção de melhorar as condições de aplicabilidade da Carta de Londres, foi lançado os Princípios de Sevilla (2011)<sup>1</sup>. Ambas definem princípios para o uso de métodos de visualização computadorizada no âmbito da integridade intelectual, fidelidade das informações, documentação digital, sustentabilidade e acesso.

A carta de Londres (2009) “Para Visualização Computadorizada do Patrimônio Cultural”, versão editada 2.1, aborda princípios válidos na investigação e divulgação do patrimônio cultural<sup>2</sup>. Em continuidade a Carta de Londres, visando a implementação das suas diretrizes no campo da arqueologia virtual<sup>3</sup>, tem-se o Princípios de Sevilha, documento divulgado em 2012 no Fórum Internacional de Arqueologia Virtual. Os Princípios de Sevilha foram essenciais para o entendimento e divulgação da virtualização do patrimônio

<sup>1</sup> Disponível em: <[http://www.arqueologiavirtual.com/carta/?page\\_id=397](http://www.arqueologiavirtual.com/carta/?page_id=397)>

<sup>2</sup> A carta de Londres adota uma definição ampla do termo Patrimônio Cultural, abrangendo todos os domínios de atividade humana que se preocupam com a comunicação da cultura imaterial e intelectual (CARTA DE LONDRES, 2009).

<sup>3</sup> É a disciplina científica que tem por objeto a pesquisa o desenvolvimento de formas de aplicação da visualização por computador e gerenciamento integral do patrimônio arqueológico.

cultural arqueológico, difundindo também conceitos de termos como: Restauração Virtual, Reconstrução Virtual, Recriação Virtual e Anastilose Virtual (recomposição das partes existente, porém desmembradas em modelo virtual). Esse documento reconhece que a importância do registro do patrimônio vai além da documentação, análise e divulgação, mas também para gestão, pois as técnicas de levantamento de aquisição de dados (3D) podem ser usadas para aumentar a qualidade da documentação científica, consequentemente, aumenta a chance de monitorar e obter réplicas históricas e valiosas.

Consoante a literatura, apesar de toda essa abordagem, a prática de implementação ainda é desconecta e recente, principalmente no que diz respeito, ao acesso e preservação, tanto da documentação histórica digital, quanto do patrimônio cultural virtual. No Brasil, ainda é remanescente a prática de digitalização de acervos, iniciativas no âmbito nacional sobre patrimônio digital como a “Carta para Preservação do Patrimônio Arquivístico Digital” – Preservar para garantir o acesso, foi lançada em 2004 pela CONARQ – Conselho Nacional de arquivos.

O IPHAN desenvolve desde 2013 a Rede de Arquivos IPHAN, que almeja em ser um repositório de documentos digitalizados que reúne o material do IPHAN acumulados desde a década de 40 e distribuídos em várias unidades. O acesso às informações é pelo site do IPHAN e o sistema permite buscas a partir dados do bem. Dentre os documentos estão: inventários, imagens, processos de tombamento, além de documentação iconográfica e cartográfica. De acordo com a busca feita em 2016 e 2020, encontra-se digitalizados no estado do Rio de Janeiro apenas 15 obras, com as informações se restringindo ao processo de tombamento.

### **OBJETO DE ESTUDO: O PALÁCIO GUSTAVO CAPANEMA - RIO DE JANEIRO**

Pensando na preservação do legado do Movimento Moderno brasileiro foi feita a escolha do objeto de estudo para o HBIM. O Palácio Gustavo Capanema apresenta inovações do período moderno, na arquitetura, engenharia, paisagismo e obras de artes. O edifício foi projetado para ser a sede do Ministério da Educação e Saúde (MES), contudo, passou por diversas mudanças em sua organização administrativa e hoje é denominado de Palácio Gustavo Capanema.

O projeto foi realizado através da promoção de um concurso público em 1935. Todavia, o projeto vencedor não foi construído e só viria a ser definido em 1937 pela equipe de Lúcio Costa composta por Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Mendes Vasconcelos, Carlos Leão e Jorge Machado Moreira com a consultoria do arquiteto Le Corbusier. Além disso, o edifício apresenta murais de azulejos, pinturas e esculturas de diferentes artistas, dentre eles, Candido Portinari, José Pancetti e Alberto da Veiga, Bruno Giorgi, Celso Antônio e Adriana Janacopulos. Assim, exploraram o uso das artes, para a

integração do projeto com as diversas manifestações artísticas, ao mesmo tempo com a plena materialização dos cinco pontos da nova arquitetura – janela em fita, terraço-jardim, planta livre, fachada livre, e pilotis (Figuras 3 e 4).



Figura 3 – Terraço-jardim 2º Pavimento.  
Fonte: Acervo da Autora.



Figura 4 – Cobertura.  
Fonte: Acervo da Autora.

O projeto definitivo, que viabilizou o início da construção em 1937, pode ser considerado como a primeira etapa do projeto do MES, ou seja, a primeira etapa do *work in progress*, termo usado devido às sucessivas modificações, intervenções e adições realizadas durante os oito anos de construção do edifício. O distanciamento entre o desenho do projeto e a construção do edifício ainda era muito grande, a representação gráfica adotada e o fato dos desenhos serem realizados à mão, dificultavam o seu entendimento durante a execução da obra.

Diferente da maioria dos exemplares do período moderno, o MES teve seu tombamento apenas três anos após sua inauguração. A obra foi tombada em março de 1948 pelo SPHAN - Serviço do Patrimônio Artístico e Nacional, atualmente IPHAN – Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. De acordo com o processo, o tombamento se justificava por ser da primeira edificação monumental, destinada a sede de serviços públicos, planejada e executada no mundo, em estrita obediência aos princípios da moderna arquitetura. O tombamento compreende toda a área de terreno situada entre a Rua da Imprensa e a Rua de Santa Luzia, a Avenida Graça Aranha e a Rua Araújo Porto Alegre, necessária a preservação de sua perspectiva monumental<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> BRASIL. IPHAN. Processo de Tombamento n°. 375-T-48.



Os protagonistas da vanguarda arquitetônica carioca eram também integrantes do recém-inaugurado SPHAN em 1937: Lúcio Costa, Carlos Leão, Joaquim Cardoso, entre outros, e Rodrigo Melo Franco como seu diretor. Essa combinação repercutiu em proteger os edifícios do período colonial, na identificação, como patrimônio a ser preservado, o legado do movimento moderno, precedendo em algumas décadas a ação internacional desenvolvida pelo DOCOMOMO<sup>5</sup> – *International Working Party for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of Modern Movement* – que se tornou mais abrangência nos anos 1990.

O PGC passou e tem passado por diversas medidas de restauro e conservação, as constantes intervenções ocorreram em decorrência de fatores que envolvem: histórico de indevidas técnicas de restauro, falta ou inadequada manutenção, e a fragilidade dos materiais e sistema construtivos de um estilo marcado pela racionalização e funcionalidade. A essas ações somam-se algumas reformas que visaram a adaptação do edifício às mudanças organizacionais do ministério ao longo dos anos (CANUTO, 2017; SEGRE, 2013).

## MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

A pesquisa tem como estratégia a simulação de fatos históricos importantes (GROAT & WANG, 2013), para a compreensão e documentação do patrimônio cultural. O Palácio Gustavo Capanema é utilizado como objeto de estudo para o desenvolvimento do HBIM da edificação relativo ao seu período de construção entre 1937-1945.

De acordo com a abordagem metodológica na criação de modelos HBIM, realizou-se a pesquisa (CANUTO, 2017) foi estruturada em três etapas fundamentais: (1) Revisão da literatura e levantamento de dados (espaciais e documentais); (2) processamento de dados (3) modelagem HBIM (4) divulgação (Figura 5).



Figura 5 – Etapas de trabalho da pesquisa.

Fonte: Elaborada pela Autora.

<sup>5</sup> De acordo com o site do DOCOMOMO internacional. O DOCOMOMO foi uma instituição criada para promover a salvaguarda dos edifícios onstruídos plos movimentos culturais europeus dos anos 1920 e 1930, especificamente, construtivismo e do funcionalismo – foi fundado com a seguinte designação *International Working-Party for Documentation and Restoration of Early Modern Architecture* em 1988, na Holanda.

## Revisão da literatura e levantamento de dados

O conhecimento aprofundado sobre a obra e suas especificidades é essencial para o processo de modelagem HBIM (ARAYICI, *et al.*, 2017; BRUMANA, *et al.*, 2014; JOUAN e HALLOT, 2019; MURPHY, MCGOVERN e PAVIA, 2009). Observa-se que o edifício possui uma grande quantidade de documentação, projetos, registros de alterações, fotos, bibliografia, levantamentos, facilitando o foco do trabalho. Por se tratar de um bem tombado, os registros dessas intervenções foram guardados até a década de 90 no Arquivo Central do IPHAN no Rio de Janeiro - ACI/RJ, arquivados em uma série intitulada Obras. Esses registros foram a base para o HBIM do edifício.

Na pesquisa (CANUTO, 2017), outros materiais foram reunidos para no final da investigação, obter uma bagagem teórica e documental para se desenvolver um trabalho coerente. Destacam-se as visitas ao edifício, a literatura sobre a edificação e sua contextualização urbana. Além disso, foram obtidas informações pelos profissionais do ACI/RJ e por envolvidos no projeto de modernização do Palácio Gustavo Capanema. Esses relatos foram essenciais para o entendimento dos acontecimentos do ciclo de vida da edificação.

Após a investigação sobre objeto de estudo foi possível concluir a importância de todo o processo conceitual até seu Projeto Definitivo Arquitetônico, suas características principais e a mudanças feitas ao longo da obra, muitas a pedido do ministro Gustavo Capanema. O processo de modelagem da edificação consiste em duas fases: Projeto Definitivo Arquitetônico (*as-designed* 1937) e Inauguração do PGC (*as-built*, 1945), obtendo-se assim duas renovações. Essas duas fases estão no mesmo modelo e a partir dele se obtém todo o desenho técnico do Palácio Gustavo Capanema, sendo a base para adicionar modificações futuras (CANUTO, 2017).

Como o objetivo da modelagem era retratar um recorte temporal, com o foco no período de construção, os registros documentais foram considerados com maior relevância para a modelagem. A pesquisa de campo permitiu identificar que o projeto já está registrado em AutoCAD (levantamento cadastral 1996). Além disso, o edifício possui inúmeros registros originais (cópias em papel), assim como estratégia para o trabalho proposto, o processo de modelagem teve início a partir dos registros existentes (CANUTO e SALGADO, 2016).

## Pesquisa Iconográfica

A pesquisa iconográfica (CANUTO, 2017) foi de suma importância, considerando que o modelo HBIM demanda, precisa recolher o máximo de informações (levantamento cadastral, fotografias, ofícios, etc.) para possibilitar a compreensão do processo de projeto do objeto de estudo. Para a pesquisa iconográfica foram identificados materiais nos seguintes locais do Rio de Janeiro:



**Arquivo central IPHAN (Arquivo Noronha Santos) – ACI-RJ**

Superintendência do IPHAN

Fundação Oscar Niemeyer

Casa de Lúcio Costa

Instituição Getúlio Vargas

Para essa investigação foi levantado o material encontrado no Arquivo Central do IPHAN - ACI/RJ, localizado na Rua da Imprensa, nº 16, 8º andar, Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro/RJ. Em meio digital é possível ter acesso aos nomes dos bens inscritos nos Livros de Tombo<sup>6</sup>, no entanto, o seu conteúdo (documentação textual, mapas, plantas e processo) não está digitalizado. Com isso, em relação ao acesso à documentação, a consulta só foi possível pessoalmente. O problema é como adquirir cópias dos documentos, pois O ACI/RJ não possui fotocopadora e não pode sair do local para fazer cópias do material, a única alternativa é fotografar o material de interesse.

O Arquivo central do IPHAN no Rio de Janeiro foi responsável pelo recolhimento da documentação do IPHAN de todas as obras com interesse em preservação do Brasil, tendo atuado no fim da década de 1930 até os anos 1990. Depois desse período, iniciou-se uma nova etapa nos acervos arquivísticos do IPHAN, quando a documentação passou a ser recolhida pelas superintendências regionais, sub-regionais e escritórios técnicos. Portanto, ele é o primeiro passo para começar uma pesquisa iconográfica e, além disso, localiza-se no oitavo andar do objeto de estudo, sendo muito importante para agregar mais conhecimento sobre a obra.

Para a pesquisa, foram feitas visitas em fevereiro de 2016. Essas consultas facilitaram o entendimento da estrutura do Arquivo Central ACI/RJ e da documentação específica do objeto de estudo<sup>7</sup>. Grande parte desse acervo é referente ao PRPPC - Projeto de Recuperação e Preservação do Palácio da Cultura, que funcionou entre os anos de 1981 e 1992, e destaca-se por seu acervo não só volumoso, mas rico em informações.

Esse acervo ainda hoje serve de subsídio para as intervenções no edifício, além disso, nele encontra-se também registros do Projeto de Restauração e Revitalização do Palácio Gustavo Capanema, projetado pela Sociedade de Amigos do Palácio Gustavo Capanema – SAPGC na década de 1990 (MARTINELLI, 2015). A organização da

<sup>6</sup> Preservados no Arquivo Noronha Santos, os Livros do Tombo do IPHAN constituem, portanto, o suporte físico no qual estão inscritos todos os bens protegidos pelo Decreto- Lei nº. 25.

<sup>7</sup> A quantidade de material é extensa, portanto, a assessoria dos funcionários e pesquisadores foi essencial para adquirir o material adequado para a pesquisa. Os seguintes funcionários auxiliaram na busca da documentação e com relatos sobre o edifício: A coordenadora e historiadora Maria José Soares, o historiador Hilário Figueiredo Pereira filho e a estudante do curso de especialização do PEP (Programa de Especialização em Patrimônio) Francesca Dalmagro Martinelli.

documentação no ACI/RJ se separa em dossiês, onde todo material referente a um único bem está reunido e indexado a partir da localização geográfica do bem cultural. O acervo se divide em séries:

Série tombamento - 1938

Série arqueologia - 1961

**Série obras - 1930 a 1992**

Série inventário - Século XIX e XX

Outras séries

Apesar das dificuldades com a documentação em termos de estado de conservação e aquisição de cópias, o Arquivo Central forneceu o levantamento cadastral de 1996 em CAD 2D, realizado para as obras dos anos 1990, esse material é correspondente ao registro que está sendo incorporado ao acervo. Esse levantamento cadastral de 1996 é a base da modelagem histórica BIM do edifício. Outros desenhos técnicos foram utilizados para a modelagem, com intuito de destacar as seguintes fases históricas documentadas (*as-designed* 1937 e *as-built* 1945):

Projeto Legal – 1937. Estado de conservação: ruim;

Projeto - Divisão de Obras (MEC) – 1947. Estado de conservação: regular/ruim (Figura 6);

Projeto - Divisão de Obras (MEC) – 1961. Estado de conservação: regular;

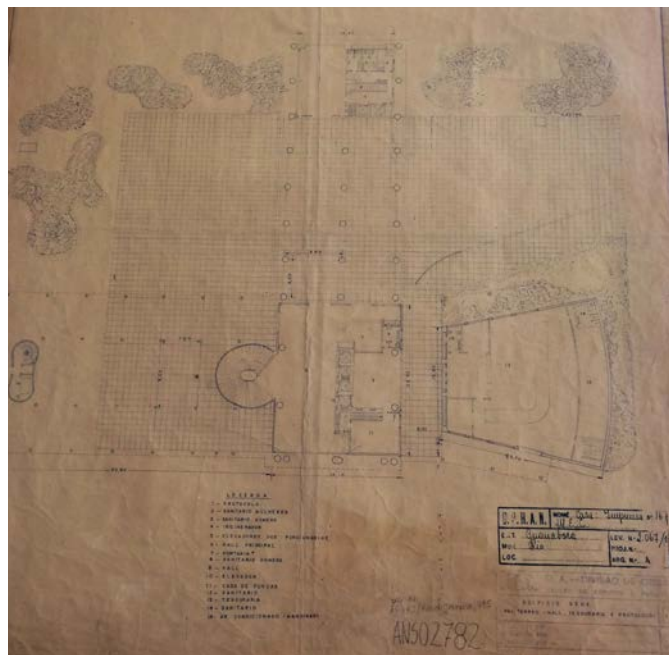


Figura 6- Foto documentação Projeto as-built, 1947- Pavimento. Térreo  
Fonte: Arquivo Central ACI/RJ

Detalhes do projeto desenvolvido pelo PRPPC – SAPGC (arquitetônicos, estruturais, bens integrados e móveis, informações de materiais, etc.) Estado de conservação: bom (Figura 7)

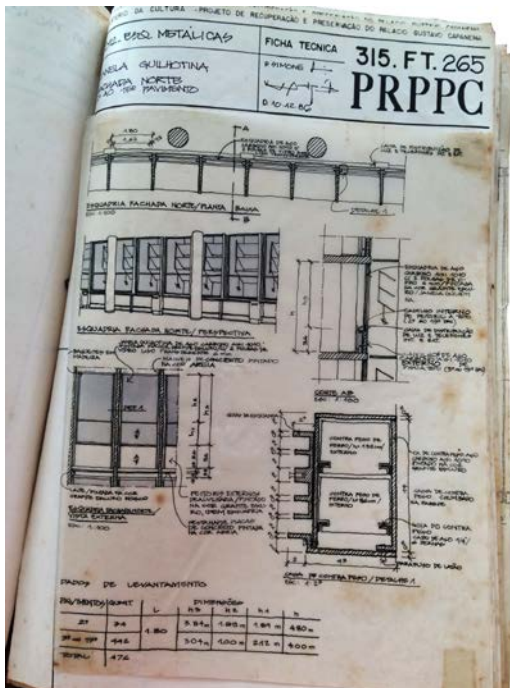


Figura 7 – Foto documentação PRPPC. Detalhe Portas de abrir Hall Privativo. Fonte: Acervo da Autora.

### Análise dos dados

Como destacado na pesquisa iconográfica, com o projeto PRPPC da década de 1980, houve uma grande produção de documentação à mão, entretanto foi na década de 90 que se teve o primeiro levantamento cadastral digital da edificação, no qual foi desenvolvido em AutoCad em 1996. O Palácio Gustavo Capanema se encontrava entre dois contextos, o patrimonial e o tecnológico. Pode-se dizer que na área de preservação e restauração já estava mais amadurecido quanto à prática de mais de 30 anos de intervenções com intuito de restaurar, adaptar e conservar a edificação. E em relação às tecnologias digitais, ter o levantamento cadastral em CAD 2D em 1996, demonstra como o grupo SAPGC estava atualizado em relação às ferramentas digitais, tema este que até hoje não é muito destacado dentro da área do Patrimônio Cultural, principalmente quando se trata a nível nacional. Esse fato reflete novamente, a questão de arquitetos que atuavam na “nova” arquitetura serem os mesmos autores do projeto do PGC e, ao mesmo tempo, estarem envolvidos com a questão de preservação do Patrimônio do Movimento Moderno, como Lúcio Costa e Oscar Niemeyer.

O levantamento cadastral<sup>8</sup> apresenta as plantas de implantação e todos os pavimentos, nelas estão especificadas – esquadrias, acabamentos, pontos de elétrica, pontos de iluminação, lançamento da estrutura e tipos de alvenaria. Os arquivos foram analisados em termos de compatibilização de desenhos, coerência nas informações, diagramação (pranchas, tabelas, apresentação das informações).

A compatibilização no desenho foi algo que restringiu e aumentou o tempo da modelagem HBIM e acabou resultando em uma consulta maior de documentação e visitas à edificação. Por se tratar de desenhos de vinte anos atrás, as ferramentas do programa *AutoCad*, a forma como se desenhava com o programa e os recursos, o nível era muito inferior aos desenhos de CAD atuais. Assim, coisas simples, como posicionamento de pilares, paredes das fachadas (Figura 8), elevadores e escadas possuíam incompatibilidade de um pavimento para o outro.

Em relação à coerência das informações, também dificultou o detalhamento dos elementos da edificação, pois muitas informações que estavam na tabela não correspondiam com o desenho, por exemplo, tamanho de esquadrias, tipo de esquadrias, quantitativo das instalações e sequência da numeração dos acabamentos (Figura 9). As lacunas para modelagem 3D se dividiram em informações diferentes para o mesmo tipo de elemento fornecido pelo levantamento cadastral 1996, e falta de informação para que o elemento fosse representado em 3D.

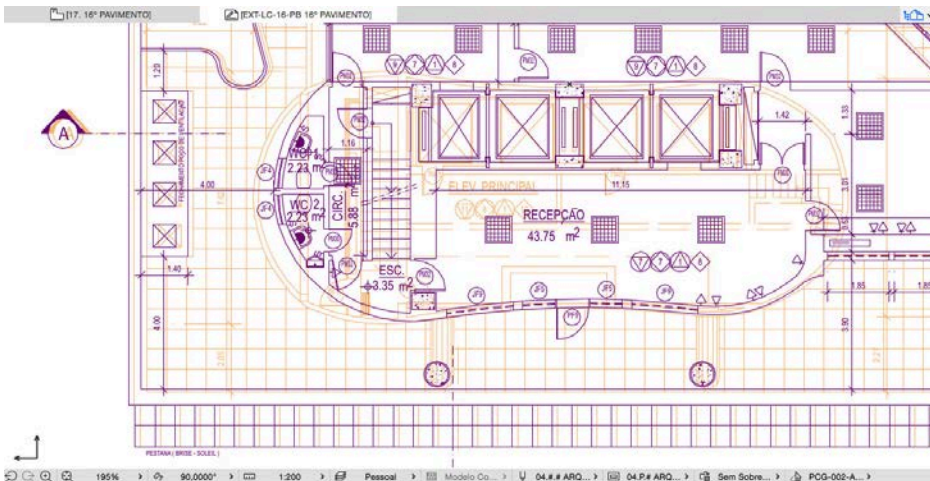


Figura 8 – Incompatibilidade das paredes da fachada- Cobertura.

Fonte: CANUTO, 2017.

<sup>8</sup> O levantamento cadastral 1996 consiste em 19 plantas baixas (1º Pavimento ao 16º Pavimento, sobrelojas, casas de máquinas da Cobertura e situação), um corte transversal, um corte longitudinal e três fachadas (leste e norte).

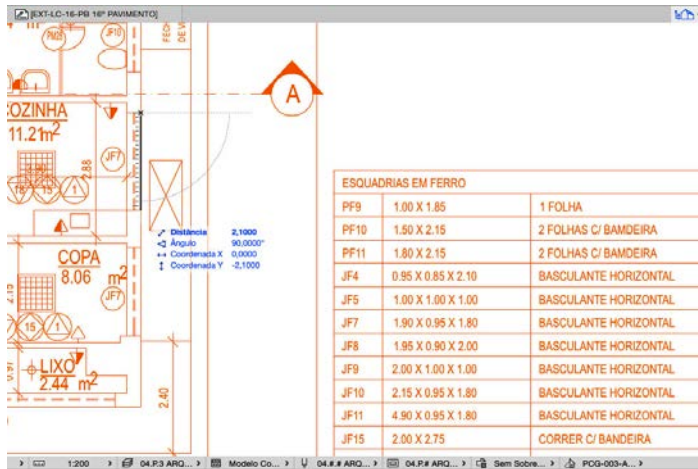


Figura 9 – Incompatibilidade desenho e quadro de esquadrias- Cobertura  
 Fonte: CANUTO, 2017.

Portanto, reconstrução histórica do PGC a partir de documentação existente facilitou a princípio no processo de modelagem. Contudo a falta de informação e incompatibilidades da documentação produziram muitas lacunas no modelo mostrando a necessidade de conferência e levantamento de dados na edificação.

Para tentar resolver essas questões, algumas informações foram conferidas e adquiridas *in loco* por medição direta, levantamento fotográfico e DSM (*Dense Stereo Matching*). Várias lacunas no modelo não foram solucionadas, no entanto, elas foram identificadas e caracterizadas ao longo do processo de modelagem.

### Modelagem HBIM PGC

O processo de modelagem da edificação consiste em duas fases históricas, 1937 e 1945, obtendo-se assim duas renovações. Essas duas fases estão no mesmo modelo e, a partir dele, se obtém todo o desenho técnico do PGC. A modelagem parte do levantamento cadastral 2D em CAD 1996, para o *software* de modelagem BIM ArchiCAD e a partir dos levantamentos documentais foi desenvolvido a fase *as-designed* 1937 e a fase *as-built* 1945.

Na fase *as-designed* 1937, tem como objetivo a compreensão do processo de projeto da época, ressaltando a fase conceitual, refletindo o nível de detalhamento do projeto feito pela equipe de arquitetos. Já a fase *as-built* 1945, tem o objetivo de apresentar o edifício como inaugurado, sendo a base para atualização do modelo para informações futuras, passadas e também conhecimento histórico sobre o edifício que na época era chamado de MES (Ministério da Educação e Saúde).

O *as-built* 1945 mostra evidências históricas com elementos construtivos e artísticos da edificação, enfatizando seu valor quanto ao interesse em preservação. Para isso, foram realizados levantamentos de alguns elementos por medição direta, fotogrametria digital e DSM. A fase 1945 é um repositório de informações que tenta reconstruir o edifício dessa época destacando os principais elementos de acordo com sua atribuição de valor. A figura 10 apresenta a *timeline* das modificações realizadas no projeto utilizando filtros de renovação do *software*.

No processo de modelagem, primeiramente buscou-se como poderiam ser representadas, utilizadas e divulgadas as fases históricas (construtivas) no modelo. A divulgação da pesquisa se restringiu ao *software* Archicad e *plug-ins* como MEP, *model*

*port* e BIMx. Essa escolha foi pela familiaridade com as ferramentas e objetivos propostos com a modelagem.

A modelagem seguiu a sequência: definição de pisos, implantação, lançamento dos pilares e lajes, circulações verticais, fachadas, incluindo a cobertura. Após essa etapa - biblioteca de objetos, esculturas e parte do seu interior. Na figura 11, destaca-se a estrutura e as lajes. Após seu lançamento, iniciou-se a modelagem das circulações verticais - escadas e elevadores (Figura 12).

Tendo em vista a importância arquitetônica, histórica e artística das fachadas e seus elementos, concentrou-se em identificar no modelo seus acabamentos e esquadrias, refletindo parametricamente a junção dos detalhes fornecidos pelas documentações e visitas (Figura 13). O objetivo foi a criação de uma biblioteca de objetos paramétricos do edifício ao longo do processo de modelagem, essas bibliotecas se baseiam nos estudos sobre o HBIM (ARAYICI, *et al.*, 2017; KHODEIR, ALY e TAREK, 2016; DORE e MURPHY, 2014).

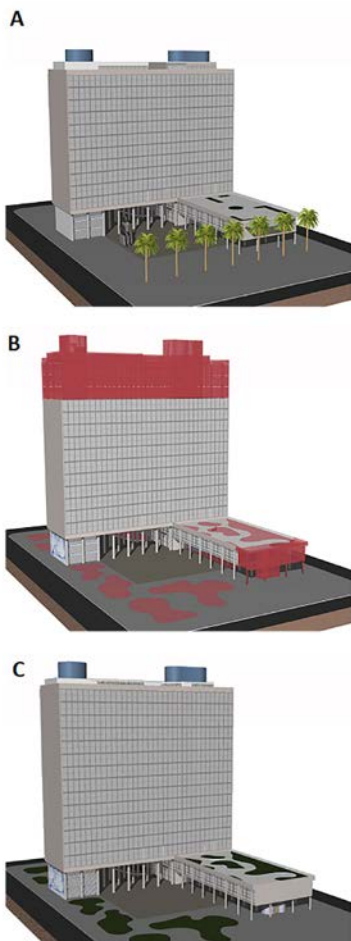


Figura 10 – No Archicad timeline da esquerda para direita A (as-designed, 1937), B (construção, destacando as principais modificações) e C (as-built, 1945)

Fonte: CANUTO, 2017- modificado.



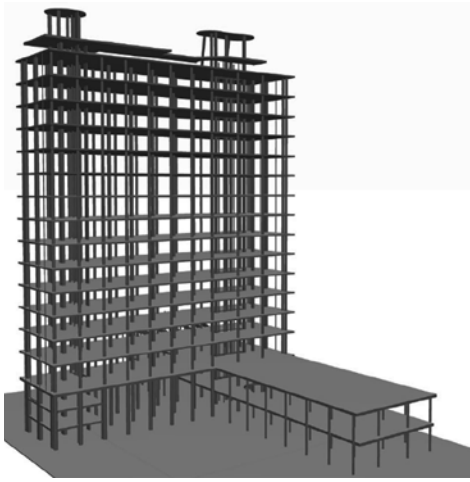


Figura 11 – Modelo estrutural PGC.  
Fonte: CANUTO, 2017.

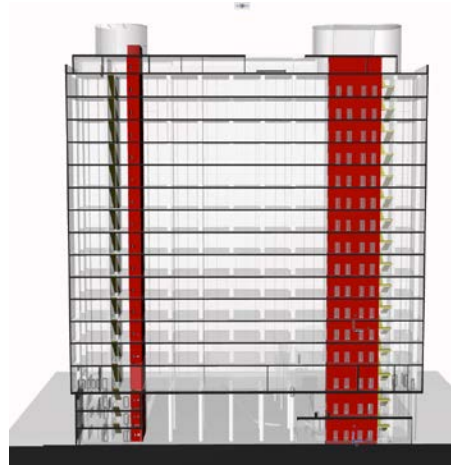


Figura 12 – Circulações verticais PGC.  
Fonte: CANUTO, 2017.



Figura 13 – Fachada norte do modelo PGC.  
Fonte: CANUTO, 2017.

A biblioteca e a identificação dos objetos no modelo aconteceram durante todo o processo de acordo com a etapa a ser modelada (Figura 14). O destaque para os objetos paramétricos no modelo BIM foi dado para os elementos de importância em preservação já determinados por estudos anteriores, no caso temos *brise-soleil*, esquadrias (Figura 15), acabamentos da fachada, parede de tijolo de vidro e também elementos internos como a luminária da marca britânica *Holophane*, presente em quase todos os andares do bloco vertical, feita exclusivamente para o edifício (Figura 16).



Figura 14 – Modelo BIM ilustrando corte no 9º Pavimento  
 Fonte: CANUTO, 2017.

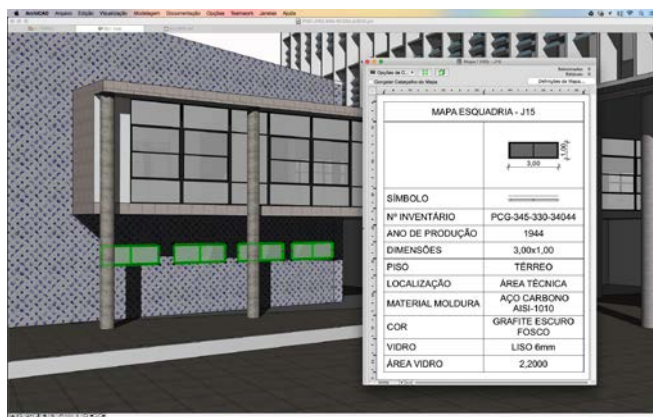


Figura 15 – Detalhe esquadria - informações vinculadas ao modelo  
 Fonte: CANUTO, 2016.

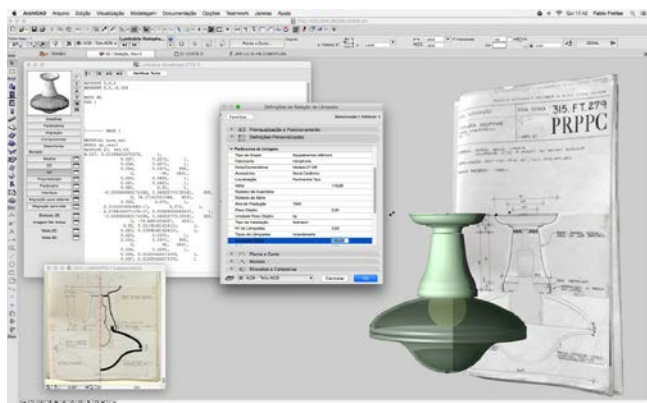


Figura 16 – Modelagem da luminária com as informações técnicas e históricas.  
 Fonte: CANUTO, 2016.



Todas as esculturas e bustos foram identificadas por fotos e mapeadas no modelo com seu posicionamento original. Essa etapa baseou-se nos estudos de Segre (2013) e Lissovsky Sá (1996). No segundo pavimento que abrigava o gabinete do ministro, continha 17 obras entre esculturas e bustos (Figuras 17a e 17b).

ESCULTURAS 2º PAV						
ID	Imagem	Nome	Autor	Ano	Material	Ambiente
8		Busto Gustavo Capanema	Celso Antônio	1950	Bronze	SALA 1
9		Busto José de Alencar	Bruno Giorgi	1945	Mármore travertino	SALA DE AUDIÊNCIAS
10		Busto Machado de Assis	Bruno Giorgi	1945	Mármore travertino	SALA DE AUDIÊNCIAS
11		Busto Mario de Andrade	Celso Antônio	1950	Bronze	SALA 1
12		Busto Oswaldo Cruz	Bruno Giorgi	1945	-	SALA DE AUDIÊNCIAS
13		Busto Ruy Barbosa	Bruno Giorgi	1945	-	SALA DE AUDIÊNCIAS
14		Escultura Profeta Isaías	Réplica do Aleijadinho	1945	-	SALA DE ESPERA
15		Escultura mulher sentada	Adriana Janacopulos	1945	Granito vermelho	TERRAÇO JARDIM - 2º PAV.
16		Estatueta de Mestre Ruy	-	1945	-	SALA 1
17		Mulher Reclinada	Celso Antônio	1940	Granito cinza	TERRAÇO JARDIM - 2º PAV.

Figura 17a – Quadro com as informações das esculturas localizadas no modelo  
Fonte: CANUTO, 2017.

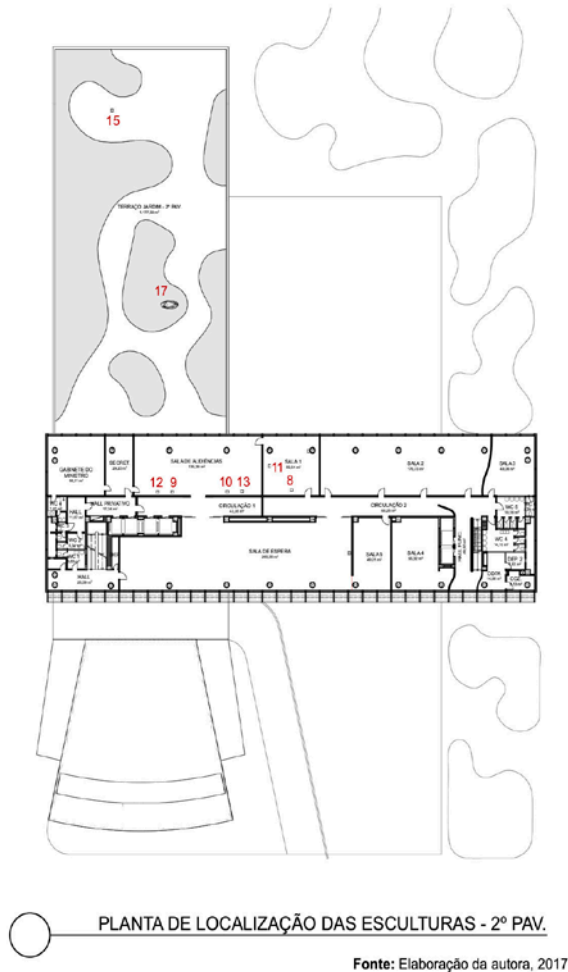
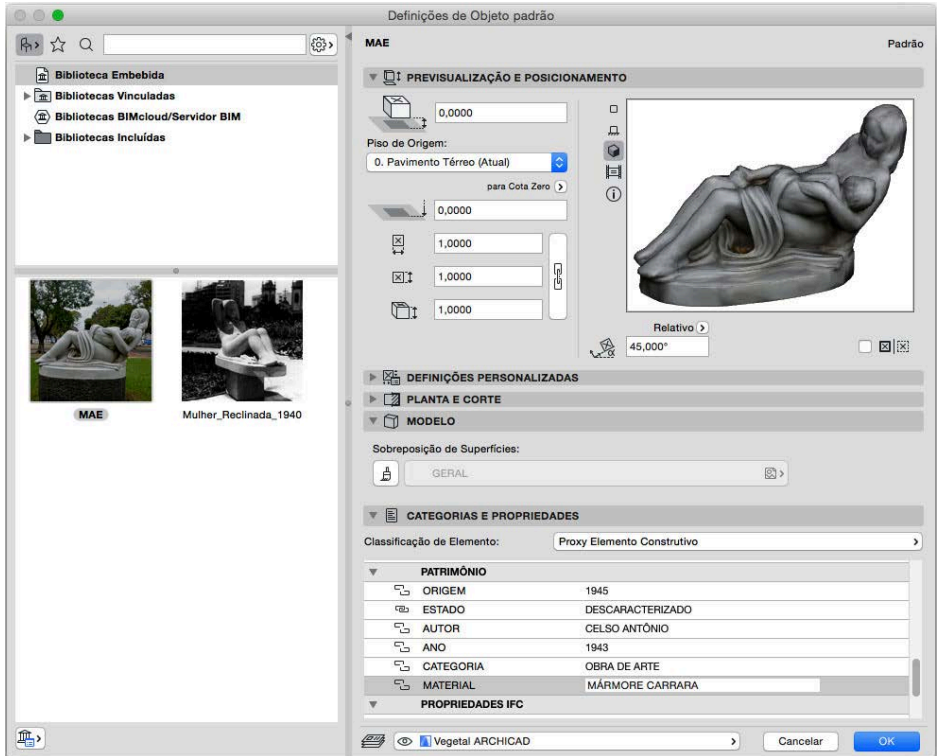


Figura 17b – Planta com a localização e numeração das esculturas- 2º Pavimento.

Para a representação geométrica das esculturas no modelo BIM, foram realizadas visitas para levantamentos com varredura de fotos para geração dos modelos 3D. As esculturas utilizadas resultantes da técnica DSM foram apenas a “Mulher reclinada” e a “Mãe”. A geração das esculturas 3D foto realísticas foi feita no programa *Remake* da *Autodesk*, a versão utilizada foi a *Free*, essa versão tem poucas opções de editar o modelo. Do *Remake* foram importadas as esculturas em extensão *.obj* (*Object File*) *Wavefront 3D* para o *Archicad* pelo *plug-in model port*. No *Archicad* elas fazem parte da biblioteca e foram adicionadas informações técnicas e históricas referentes à escultura (Figuras 18 e 19).



Fonte: CANUTO, 2017.o

Fonte: CANUTO, 2017.

Figura 18- Modelo da escultura “Mãe” e



“Mulher Reclinada”

Fonte: CANUTO, 2017.

Figura 19- Modelo renderizado, escultura

## Resultado e divulgação

Muitos aprendizados em relação ao modelo HBIM foram adquiridos durante o desenvolvimento desse trabalho, pois além de entrar na área de edifícios existentes, o estudo de caso também é um bem com interesse em preservação.

Devido à falta de dados, compatibilização e coerência de informações nos desenhos, novos trabalhos surgiram durante a pesquisa para garantir a integridade do modelo BIM. Assim, o desenvolvimento da fase *as-built* 1945 foi muito mais extensa que

o planejado. Durante as visitas ao PGC, vários compartimentos não foram acessados, e o edifício estava em obras internas e externas, com isso várias lacunas no desenvolvimento do modelo não foram resolvidas. Outro levantamento importante e não contemplado devido às obras da edificação, foi o levantamento digital de todas as obras de arte.

Sobre a estrutura, o modelo se conteve no lançamento estrutural (pilares), sem muitos detalhes construtivos, ficando uma importante lacuna sobre a estrutura do bloco trapezoidal e também sobre a cobertura. De acordo com as informações em planta e corte necessita de mais dados para concretizá-las.

Com o modelo concretizado pode-se realizar análises projetuais destacando elementos de acordo com atributos. O destaque da estrutura mostra o encontro entre a malha de pilares do volume vertical com a malha de pilares do volume horizontal, que é evidenciado no edifício com colunas duplas (Figura 20). Os pilotis localizados internamente no bloco vertical mudam sua seção de redonda para quadrada, auxiliando na função de fechamento da circulação junto às divisórias dos pavimentos tipo e 2º pavimento (Figura 21). Essas análises no modelo utilizaram a ferramenta de sobreposição do *Archicad*, destacando os parâmetros que serão selecionados.

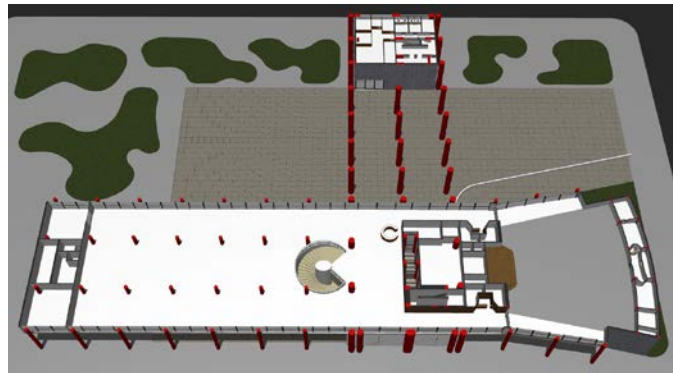


Figura 20 – Visualização da estrutura.  
Fonte: CANUTO, 2017.

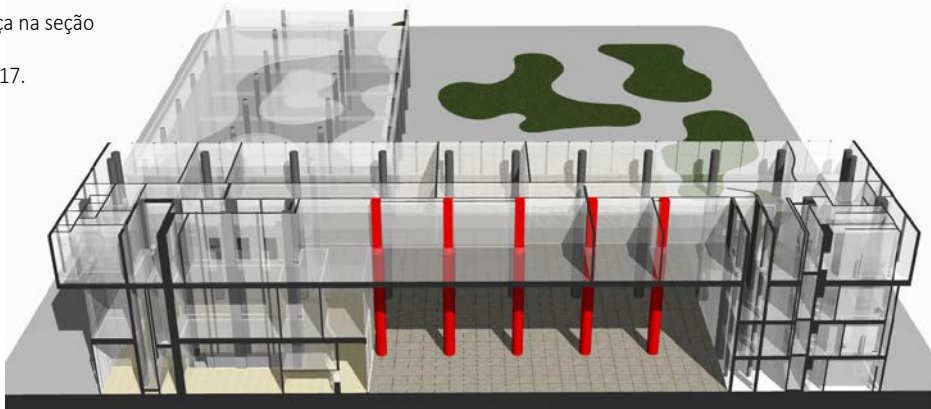


Figura 21 – Mudança na seção dos pilotis.  
Fonte: CANUTO, 2017.

Por fim, na figura 22 são sintetizados os resultados e diversas contribuições do HBIM PGC. Destaca-se a **multidisciplinaridade** (diversas disciplinas foram tratadas no processo HBIM), **acesso a diferentes fases construtivas** (1937-1945), a **objetos paramétricos, documentação** (reflete a documentação do levantamento de dados) e **Interação do modelo HBIM PGC via aplicativo**.

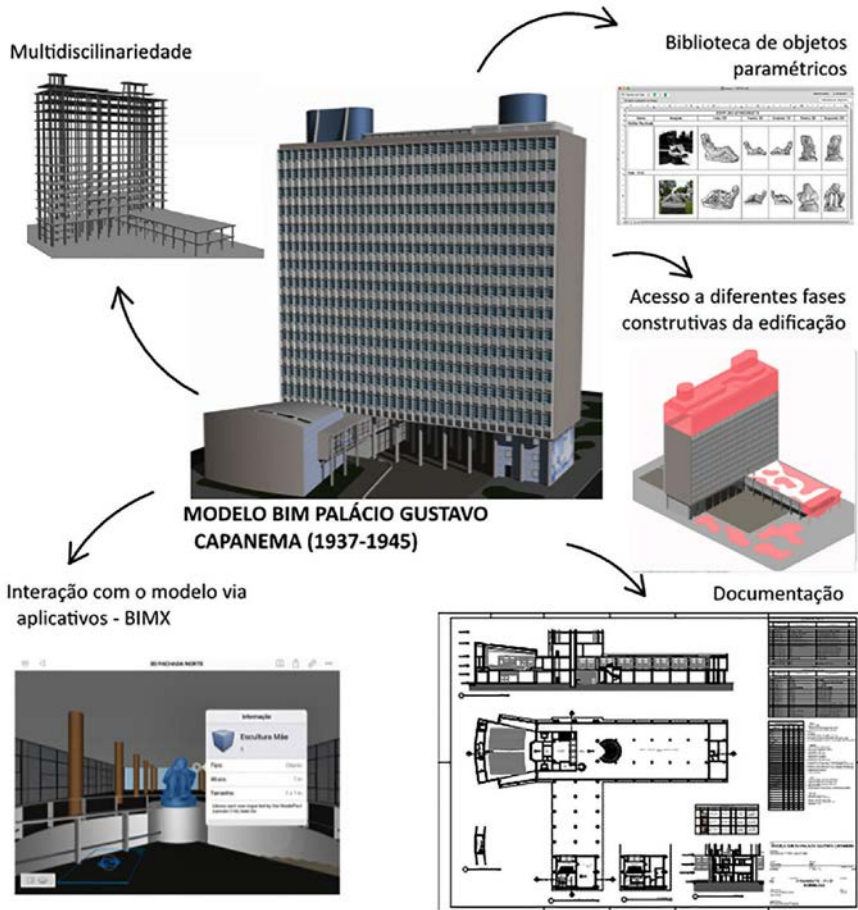


Figura 22 – Modelo HBIM PGC e suas possibilidades.

Fonte: Elaborado pela Autora.

Na documentação *as-built* 1945, foram geradas tabelas com quantitativos e identificação dos elementos do modelo, como: Quadro de Esquadrias (janelas e portas), Quadro de Acabamentos e Quadro de Esculturas. Muitos quadros possuem lacunas quanto a informação e elementos das bibliotecas com nível de detalhe e desenvolvimento baixo. Na fase *as-designed* 1937 não foi gerada tabelas, apenas desenhos técnicos que remetem a documentação consultada.

O resultado da modelagem BIM do projeto de pesquisa é um modelo com possibilidades de ser interativo, trazendo uma grande carga de conceitos, evidências históricas e esclarecimento do processo histórico de projeto da primeira obra do período moderno como edifício de escritório público.

Diante disso é de suma importância o acesso e divulgação desse modelo, para isso foi escolhido o aplicativo BIMx. O BIMx consegue reunir em um mesmo modelo toda a documentação 2D integrada ao modelo 3D e gerar uma apresentação de forma interativa e de fácil manipulação. O aplicativo é utilizado principalmente por profissionais e estudantes da área de construção civil, podendo atingir outros públicos pela facilidade de interação.

As visitas ao modelo completo podem ser realizadas fazendo *download* do aplicativo BIMx para *tablet* ou *smartphone*<sup>9</sup>. No caso do Palácio Gustavo Capanema, um edifício de aproximadamente 27000 m<sup>2</sup>, o BIMx tornou mais eficiente o processo de desenvolvimento e apresentação de projetos, gerando um hipermodelo com fácil navegação para dispositivos móveis. É possível ter acesso a toda lista de documentação e ter essa documentação referenciada no modelo (Figura 23). Além disso, pode-se interagir com os elementos, com opção de visitação com *joystick* (Figura 24) e com óculos de Realidade Virtual.

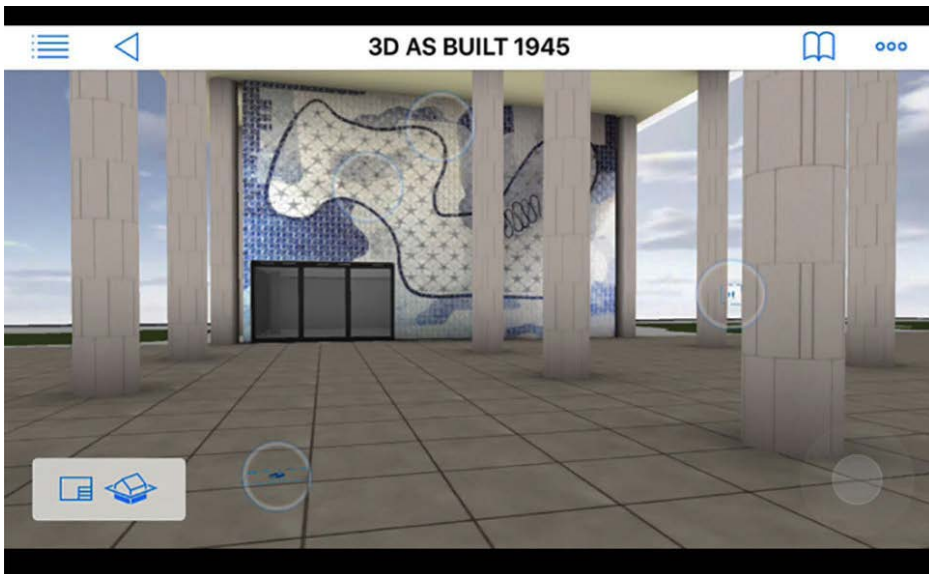


Figura 23 – Visualização da planta 3ª Pav. integrada ao modelo

Fonte: Elaborada pela Autora.

<sup>9</sup> Acesso pelo link do modelo HBIM PGC:<<https://bimx.graphisoft.com/model/8c654eaf-1c34-4561-b9cf-5babad7b74b9>>)



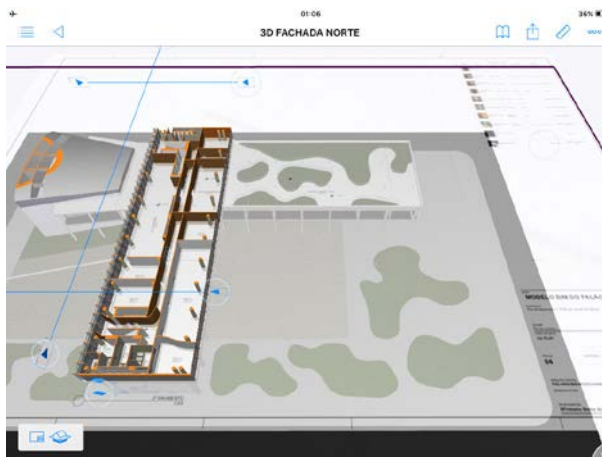


Figura 24 – Opção de «caminhar» no modelo com joystick- BIMx  
Fonte: Elaborada pela Autora.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou e discutiu técnicas para utilização integrada das tecnologias digitais com ênfase em BIM para preservação do patrimônio do legado do período moderno. De acordo com a literatura, a adoção das tecnologias digitais na preservação do patrimônio edificado oferece possibilidades pouco exploradas nesse setor. Observou-se através dos estudos sobre o tema, que a modelagem BIM de edificações existentes com interesse em preservação, tem seu processo facilitado a partir da adoção de ferramentas de levantamento, tais como a fotogrametria digital, DSM e o 3D *laser scanning*, que possibilitam a captura de dados 3D com precisão e realismo da geometria. Nesse sentido, tem-se uma nova vertente no BIM, os modelos HBIM, considerados modelos BIM do patrimônio cultural edificado.

O estudo de caso desenvolvido na pesquisa, a modelagem BIM do Palácio Gustavo Capanema, mostrou-se ser uma forma de preservação da memória da edificação. A utilização do Archicad e seus *plug-ins* foi em parte satisfatória com os objetivos do modelo, pois permitiu a sua divulgação, com o resgate e reunião de dados históricos que se encontram distribuídos entre diferentes documentações, facilitando o estudo e análise das soluções projetuais adotadas entre 1937 e 1945.

Ao modelar digitalmente uma edificação existente torna-se possível reviver o processo de concepção da obra, uma vez que todas as informações relacionadas ao projeto – incluindo arranjo físico, especificações e tecnologias – são acessadas visando à construção digital do modelo. Portanto, a modelagem BIM de edificações históricas revela-se, também, uma interessante alternativa para o ensino de história da arquitetura.

Todavia, esse trabalho permitiu identificar algumas dificuldades, particularmente por se tratar de uma edificação histórica. No desenvolvimento do modelo, foi observada a necessidade de maior funcionalidade do *software* quanto a integração de dados. A

acessibilidade na documentação e informação sejam dados tangíveis ou intangíveis é essencial para o entendimento do patrimônio cultural.

A principal dificuldade foi a falta e incompatibilidade de informações na documentação, agravada pelo acesso restrito a edificação. Com isso, gerou muitas estimativas de informação e baixa confiabilidade. O processo se tornou muito moroso e pode comprometer a utilização posterior de alguns elementos, devido a falta de informação. O *software* utilizado para modelagem é mais apropriado para edifícios novos, com informações precisas.

Finalmente, a disponibilização do Palácio Gustavo Capanema numa plataforma BIM<sup>10</sup> com suas características e informações do seu estado original, possibilita estudos futuros sobre a edificação e sua atualização (fase *as-is*), podendo auxiliar na gestão da manutenção da edificação. O modelo HBIM adquirido é a reconstrução histórica documental do Palácio Gustavo Capanema com a junção de dados e pesquisas em um modelo acessível, possibilitando a educação, divulgação e a preservação do patrimônio moderno.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, Arivaldo Leão. Patrimônio Virtual e História Digital: Essência e representação. A documentação digital do patrimônio construído: possibilidades e desafios. *In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO*, 1., 2010, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ANPARQ, 2010, p. 1-25.
- ANTONOPOULOU, S.; BRYAN, P. *Historic England 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information*. Swindon, UK: Historic England, 2017.
- ARAYICI, Y.; MAHDJOUBI, L.; COUNSELL, J. *Heritage building information modelling*. Abingdon, UK: Routledge, 2017.
- BRUMANA, R.; ORENI, D.; CUCA, B.; BINDA, L.; CONDOLEO, P.; TRIGGIANI, M. Strategy for integrated surveying techniques finalized to interpretive models in a byzantine church, Mesopotam, Albania. *In: International Journal of Architectural Heritage*. Albania, 2014, p. 886–924.
- BRUMANA, R et al. From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scariad’ Intelvi. *In: Digital Heritage International Congress. Proceedings [...]*. Marseille, Italy, 2013, p. 497–504.
- CANUTO, C. L.; SALGADO, M.S. Modelagem da informação da construção na preservação da arquitetura moderna. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 16, 2016, São Paulo. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2016. *Anais...Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016\_paper\_77.pdf>*.
- CANUTO, Cristiane Lopes; MOURA, Larissa Ribeiro de; SALGADO, Mônica Santos. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e*

<sup>10</sup> acesso pelo link do modelo HBIM PGC: <<https://bimx.graphisoft.com/model/8c654eaf-1c34-4561-b9cf-5babad7b74b9>>



*Construção*. Campinas, SP, 2016, V. 7, n.º. 4, p. 252-264. ISSN19806809. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647456>>. Acesso em: 14.mai.2017.

CANUTO, C. L. *Modelo BIM e proposta de intervenção do Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro, RJ*: Pela preservação digital da arquitetura moderna. Dissertação (Mestrado Profissional em Projeto e Patrimônio) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CANUTO, C. L.; SALGADO, M. S. HBIM PARA FM: Tendências em Facilities Management através de Tecnologias Digitais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL. *Anais [...]*. São Carlos, SP: IAU-USP, 2019.

*Carta de Londres*, Draft 2.1, 2009. Disponível em: <<http://www.londoncharter.org>>. Acesso em: 14.fev. 2017.

CARVALHO, Claudia S. Rodrigues de. *Preservação da arquitetura moderna: edifícios de escritórios construídos no Rio de Janeiro entre 1930 e 1960*. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

CHENG, Hung-Ming; YANG, Wun-Bin; YEN, Ya-Ning. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. In: Conference Proceedings [...] *XXVrd International CIPA Symposium*, Taiwan, 2015.

DORE, C., MURPHY, M. Semi-automatic modelling of building facades with shape grammars using historic building information modelling. In: *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2014.

FAI, S.; GRAHAM, K.; DUCKWORTH, T.; WOOD, N.; ATTAR, R. Building Information Modeling and Heritage Documentation. In: Conference Proceedings [...] *XXIIIrd International CIPA Symposium*, Prague, 2011.

FRANCO JÚNIOR, Júlio César; COSTA, Heliara Aparecida; FABRÍCIO, Márcio Minto. BIM and aerial photogrammetry: building documentation of E1 - USP São Carlos. *Blucher Design Proceedings*. Blucher, 2018, p. 574-580. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5151/sigradi2018-1646>>. Acesso em: 15. jan. 2019.

GROAT, L & WANG, D. *Architectural research methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

JORDAN-PALOMAR, I.; TZORTZOPOULOS, P.; GARCÍA-VALLDECABRES, J.; PELLICER, E. Protocol to manage heritage-building interventions using heritage building information modelling (HBIM). *Sustainability*, 2018, V. 10, p. 908.

JOUAN, P.-A., HALLOT, P. Digital twin: a HBIM-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness. In: CIPA International Symposium, *Anais [...]*. Ávila, Spain, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-609-2019>>. Acesso em: 3.mar. 2020.

KHODEIR, Laila M.; ALY, Dalia; TAREK, Shaimaa. Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) Tools in the Application of Sustainable Retrofitting of Heritage Buildings in Egypt. *Procedia Environmental Sciences*. Elsevier BV, 2016, V. 34, p. 258-270. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.024>>. Acesso em: 8.jan.2017.

LISSOVSKY, M.; SÁ, P. S. M. *Colunas da educação: a construção do Ministério da Educação e Saúde (1935-1945)*. Rio de Janeiro: MINC/IPHAN, 1996.

MARTINELLI, F.D. Acervo documental das intervenções no Palácio Gustavo Capanema: a contribuição do projeto de Recuperação e Preservação do Palácio da Cultura. In: 4º Seminário Ibero- Americano Arquitetura e Documentação, *Anais...* 2015.

MAXWELL, I. *Integrating Digital Technologies in support of historic building information modelling: BIM4 conservation (HBIM)*. London, UK: COTAC, 2014.

MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*. Emerald, 2009, V. 27, n. 4, p.311-327. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/02630800910985108>>. Acesso em: 23.mar.2015.

RUSSELL, P; ELGER, D. The Meaning of BIM. In: *Architecture 'in computro' - integrating methods and techniques: 26th eCAADe Conference Proceedings*. 2008, p. 531-536. eCAADe: Conferences. Antwerpen, Belgium: The Higher Institute of Architectural Sciences, Henry van de Velde, 2008. Acesso em: 5.ago. 2015.

SEGRE, Roberto. *Ministério da Educação e Saúde ícone urbano da modernidade brasileira*. São Paulo: Romano Guerra, 2013.

UNESCO. *Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural. Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura*. Paris, 1972.

---

# **Reabilitação de edificações visando à qualidade ambiental através do processo BIM**

Fabiana Dias da Silva

---

**A** década de 1990 é reconhecida pelo aumento das discussões sobre alternativas para a implementação de requisitos de sustentabilidade no projeto de edifícios e em cidades, assim como, a propagação de diferentes sistemas de certificação para construções “verdes”. Visando ao atendimento a estes requisitos, teve início a discussão acerca da gestão do processo de projeto. O principal objetivo era incorporar alternativas para a melhoria do desempenho ambiental de edifícios, desde a fase de projeto conceitual.

Paralelamente à produção de novas edificações, deve ser considerada igualmente a reabilitação dos edifícios existentes visando sua adequação aos novos padrões de sustentabilidade. Neste sentido, é necessário procurar por soluções de projeto que possam cumprir as exigências ambientais, estabelecidas pelas novas normas de sustentabilidade, mesmo para edifícios existentes. Além disso, a reabilitação de edifícios permite a extensão do seu ciclo de vida, através da melhoria do desempenho energético e das condições de conforto para seus ocupantes e, também, a redução do consumo de recursos naturais e de novas áreas (SILVA, 2017).

Entretanto, a adoção desses novos requisitos em edificações existentes revelou um novo desafio: a necessidade de criar uma base de dados que viabilize a manutenção das condições que permitem o atendimento satisfatório aos requisitos ambientais ao longo da vida útil destas edificações.

No âmbito do desenvolvimento de projetos sustentáveis, a adoção de ferramentas que auxiliem o projeto integrado e o trabalho colaborativo, como o BIM (*Building*

*Information Modeling*), tem grande potencial para a identificação e proposição de intervenções sustentáveis, tanto em novas construções como em existentes.

Para avaliar as possibilidades do uso do BIM para análise de desempenho ambiental de um edifício, foi realizado um estudo de caso na sede de uma importante empresa brasileira no Rio de Janeiro. O projeto original do edifício é resultado de um concurso nacional de projeto e sua construção foi realizada nos anos 1970. A melhoria do desempenho ambiental do edifício foi um dos princípios do projeto de reabilitação, através da avaliação ambiental AQUA HQE e do Programa Brasileiro de Eficiência Energética PROCEL EDIFICA.

A segunda estratégia adotada foi a investigação das causas das falhas identificadas no processo do projeto de reabilitação do estudo de caso através do método da Análise por Árvore de Falhas (AAF). Os resultados obtidos indicaram que houve pouca integração ao longo do processo de projeto. Portanto, é preciso rever as práticas projetuais de forma a implementar soluções integradas de projeto através do trabalho colaborativo.

## **AS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS PARA AS EDIFICAÇÕES**

No início do século XXI, os sistemas para a avaliação do desempenho ambiental de edifícios, ou de forma simplificada, certificações ambientais ganharam espaço dentro do setor da construção civil.

As certificações ambientais são ferramentas que buscam avaliar e medir o desempenho ambiental dos edifícios. Cada país desenvolveu sua referência ambiental, considerando as características específicas das diferentes regiões. Reed *et al.* (2009) apontam que os sistemas de avaliação de desempenho ambiental visam promover a melhoria contínua para otimizar o desempenho do edifício, minimizar o impacto ambiental e estabelecer padrões confiáveis pelos quais os edifícios podem ser avaliados objetivamente. Cole *et al.* (2014) complementam que os métodos voluntários de avaliação ambiental da construção ainda são considerados uma das formas mais eficazes para a produção de edificações com melhor desempenho ambiental.

Apenas recentemente, o Brasil deu seus primeiros passos para a discussão e adoção de metodologias que possam ajudar na produção de edificações com alta qualidade ambiental. Entre os métodos estrangeiros que chegaram ao país, é possível destacar o sistema norte-americano LEED™ (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o método francês HQE® (*Haute Qualité Environnementale*) que foi adaptado à realidade brasileira no processo AQUA HQE, o método britânico BREEAM (*Building Research Establishment*) e o consórcio SBTool, desenvolvido pela iiSBE (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*). Os dois primeiros métodos têm sido os mais adotados por construtores brasileiros, particularmente na região Sudeste do país (SALGADO, 2017).

É importante destacar o papel das certificações ambientais, independentemente da preferência proporcionada pelas partes interessadas. Entende-se que o principal mérito das propostas é ajudar os arquitetos e engenheiros a repensar o processo de projeto visando a incorporação de soluções que possam contribuir positivamente para a qualidade ambiental do edifício.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foi feita uma comparação entre as certificações vigentes no Brasil naquele período (BREEAM, LEED, SBTool e AQUA HQE). Por meio dessa análise, destaca-se que os métodos AQUA HQE (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014; Certivea, 2016) e SBTool (IsBEE, 2012) apresentam algumas vantagens em comparação ao BREEAM (BREEAM, 2013) e LEED (USGBC, 2012), pois oferecem maior flexibilidade e uma demanda por um processo de projeto integrado. Como resultado, entende-se que as soluções e práticas adotadas dependem do contexto de cada projeto e devem ser consistentes com os objetivos pretendidos. Desta forma, não há um modelo de certificação pré-definido que possa ser usado sem analisar as especificidades de cada demanda.

O AQUA HQE passou por uma reavaliação dos seus requisitos e a Associação HQE publicou em abril de 2016 um novo referencial que substituiu o antigo método HQE e seus 14 alvos. Partindo do princípio de que o conhecimento, as habilidades e as práticas evoluíram ao longo de 20 anos da certificação, cabe destacar que este novo quadro de referência para a construção sustentável vai além dos termos de qualidade ambiental, considerando as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável (Qualidade de vida, Desempenho Econômico, Respeito ao Meio Ambiente e Gestão responsável), estando diretamente relacionado a todos os tipos de construção e a todas as fases da vida do edifício (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2020).

A versão vigente atualmente da certificação LEED inclui como uma de suas dimensões Créditos de prioridade regional com o objetivo de torná-la mais adequada às características do local onde é aplicada (USGBC, 2020).

Portanto, as novas versões das certificações LEED e AQUA HQE trazem mudanças que demonstram uma tendência de alinhamento das certificações com a demanda de mercado por certificações mais atentas às diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável.

No contexto do processo de projeto, entende-se que é necessário o estabelecimento de um novo método de organização e gestão do processo de desenvolvimento do projeto que viabilize a inclusão dos princípios de sustentabilidade com destaque para as funcionalidades oferecidas pela tecnologia da informação e comunicação. Neste cenário, plataformas de trabalho simultâneo têm grande potencial para auxiliar a implementação das questões relacionadas ao desempenho ambiental da construção dentro de um processo integrado de desenvolvimento do projeto.

## **BIM E PROJETO SUSTENTÁVEL**

A modelagem da informação da construção (BIM) pode ser considerada como uma antecipação da realidade através da elaboração de um conjunto de representações (modelos) da informação da construção.

De acordo com Williams (2013), BIM é uma abordagem orientada para a obtenção e o aproveitamento da informação ao longo do processo de projeto. O autor identifica que, para desenvolver o projeto em BIM, é necessário que haja um modelo que contenha informações gráficas em 3D e não-gráficas sobre o projeto, a construção e a operação de um determinado empreendimento. Este conjunto de ferramentas digitais permite que o modelo seja projetado e construído diversas vezes virtualmente, ensaiando e otimizando os recursos ao longo do processo de projeto e eliminando os possíveis erros, desperdícios e ineficiência.

Deutsch (2011) descreve o BIM como um conjunto de softwares e um processo para produzir e gerenciar dados construtivos durante todo seu ciclo de vida. Eastman *et al.* (2011) complementam informando que com o BIM, é possível criar digitalmente um ou mais modelos virtuais precisos de uma construção. Estes modelos oferecem suporte ao projeto ao longo de suas fases, permitindo melhor análise e controle do que os processos manuais. Quando concluídos, esses modelos gerados por computador contêm geometria e dados precisos necessários para o apoio às atividades de construção e fabricação.

Portanto, a construção do modelo BIM contribui para o gerenciamento de documentos e dados dentro de diferentes plataformas interoperáveis que usam e atualizam o modelo ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Neste sentido, é importante destacar a pesquisa desenvolvida por Olin, Jylha e Junnila (2012) destacando o potencial do BIM como uma ferramenta de colaboração que pode ser usada para o gerenciamento de documentos e informação, o gerenciamento do empreendimento, a elaboração de orçamentos, cronogramas e simulações, para o planejamento e para analisar variáveis relacionadas com viabilidade, custos, energia e desempenho ambiental. Os autores acrescentam que as vantagens do BIM não se limitam à fase de concepção do projeto e de construção, ele pode ser útil em todo o ciclo de vida do edifício como manutenção, requalificação, análise do uso do espaço, gestão ambiental e custos do desempenho operacional.

Portanto, a implementação de um processo que favorece a integração entre diferentes especialidades de projeto e contribui para a visualização de dados e informações de projeto tem grande potencial para auxiliar o aumento da eficiência e da qualidade na construção. Consequentemente, pode estimular a colaboração entre a equipe de projeto, facilitar a transparência no fluxo de trabalho e contribuir para interoperabilidade.

## ESTUDO DE CASO: REABILITAÇÃO DE EDIFICAÇÃO VISANDO A QUALIDADE AMBIENTAL

Para dar continuidade à pesquisa sobre o potencial do processo BIM na melhoria do desempenho ambiental do edifício, realizou-se um estudo de caso, usando como referência o projeto de reabilitação da sede da PETROBRAS, na cidade do Rio de Janeiro (Figura 1).

O projeto original da edificação foi escolhido por meio de concurso organizado através do Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB-RJ), em 1967. A concepção do edifício, que incluiu preceitos de arquitetura bioclimática, deveria seguir os principais requisitos definidos no edital do concurso: a ocupação máxima do terreno com o mínimo de circulação vertical; a valorização do convívio social em ambientes agradáveis e o desejo de se tornar um marco na arquitetura da cidade, destacando-se na paisagem, porém integrada com o seu entorno (PETROBRAS, 2008; GUSTI, 2008; SANTOS; ZEIN, 2009).

A equipe vencedora do concurso, liderada pelo escritório de arquitetura Forte-Gandolfi Associados idealizou um projeto com área total construída de 125.000m<sup>2</sup> e altura de 110 m. A planta de 75 x 75m se divide em nove módulos de 25 x 25m, com intercolúnio de 12,5 m e conta com pilares em cruz (PETROBRAS, 2008; SANTOS, ZEIN, 2009). O espaço



livre gerado entre o pilar e o revestimento abriga as prumadas visitáveis de tubulações de água, esgoto e água gelada para o ar-condicionado. O fechamento foi feito com chapas de aço inoxidável dando um formato poligonal (PETROBRAS, 2008; GUSTI, 2008). O edifício está localizado na região central do Rio de Janeiro e abriga a presidência e parte da equipe de gestão de negócios e de serviços da empresa. Durante pesquisa, o edifício funcionava com uma população fixa de 8 mil pessoas e uma flutuante de 2 mil visitantes por dia.

O edifício se divide em quatro segmentos bem definidos: subsolos, embasamento (térreo, 1º e 2º pavimentos), corpo (3º ao 22º pavimentos) e coroamento (23º ao 26º pavimentos). O módulo central abriga a circulação vertical e os serviços (sanitários, copas, escadas de emergência, prumadas de energia elétrica e telefonia, além dos poços dos elevadores),

Figura 1 – Fachadas com tratamento diferenciado  
Fonte: Silva, 2017.

sendo este, o único núcleo que se repete em todos os pavimentos do edifício e a única parte do prédio construída em alvenaria (PETROBRAS, 2008).

A grande caixa completamente fechada que se forma é aliviada por 17 vazios produzidos pela intercalação de plantas com formatos em “Cruz”, “I” e “H” (Figura 2), onde se formam terraços-jardins, que receberam paisagismo de Burtle Marx. Esses vazios também servem para que o edifício tenha iluminação natural, captação de ar necessária para a renovação do ar condicionado e para a humanização do edifício (áreas de esparecimento, lazer e eventos de confraternização e área para fumantes) (PETROBRAS, 2008; GUSTI, 2008).

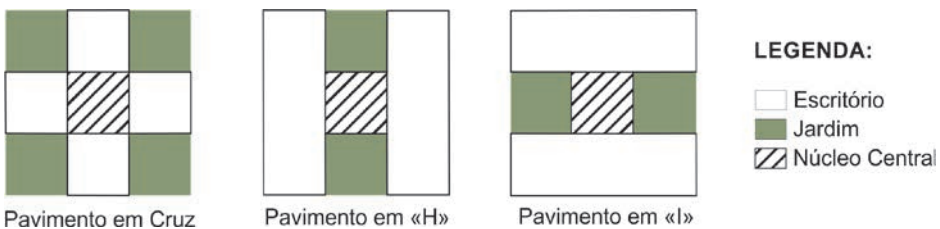


Figura 2 – Tipos de pavimentos.  
Fonte: Silva, 2017.

Em relação à envoltória, a construção é composta por 4 grandes fachadas formadas pela variedade dos diferentes formatos dos pavimentos-tipo e alguns andares com jardins externos, conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2. As fachadas são compostas por brise-soleils, constituídos de estruturas móveis de alumínio dispostos em direção e posições variadas, conforme a incidência do sol em cada fachada. Somente a fachada Sul, por ser pouco ensolarada, recebeu vidros duplos com micropersianas em alumínio entre eles (PETROBRAS, 2008).

As obras de construção começaram em setembro de 1969 e terminaram no início do ano de 1974 (PETROBRAS, 2008; SANTOS, ZEIN, 2009). A equipe de engenharia da Petrobras coordenou a contratação e fiscalização do trabalho e a construção foi realizada sem interrupção (PETROBRAS, 2008).

Desde a construção, o edifício tem se adequare a modificações tecnológicas, mas nunca passou por grandes reformas. Até 2008, quando foram realizadas obras de reforma na área onde estão as máquinas de ar-condicionado, visando a economia de energia. Para verificar a eficiência dos novos sistemas de ar condicionado, o 6º pavimento foi totalmente reconstruído (GUSTI, 2008). Este piso foi escolhido para a reforma visto que o pavimento em formato “I” (Figura 2) tem a maior área construída e porque o gestor da



edificação iria ocupá-lo após sua reforma, e, portanto, faria uma avaliação pós-ocupação. As melhorias neste andar orientaram o desenvolvimento do projeto básico para os demais pavimentos e, em 2009, teve início o projeto de reabilitação visando superar a obsolescência tecnológica das instalações e promover a melhoria do seu desempenho ambiental.

### **Processo de desenvolvimento do projeto de reabilitação**

O projeto de reabilitação foi dividido em quatro fases: Projeto Conceitual, Projeto Básico, Projeto Executivo e Construção. As duas primeiras fases foram realizadas utilizando um *software* 2D convencional de projeto. A opção pelo desenvolvimento do projeto em BIM ocorreu na fase de projeto executivo devido à complexidade da edificação com diferentes pavimentos tipo e do projeto com diferentes utilidades (elétrica, ar-condicionado, instrumentação, automação, telecomunicações), que deveriam passar pelo entreforço e mantendo o máximo de pé-direito. Além disso, o interesse em adaptar a edificação para atender aos requisitos do processo AQUA-HQE justificou ainda mais a produção do modelo da construção em BIM (SILVA; SALGADO; CAMPOS, 2014).

Os funcionários da PETROBRAS responsáveis pela fiscalização do desenvolvimento do projeto elaboraram um documento específico com a finalidade de definir o escopo do projeto e estabelecer os critérios e parâmetros para a elaboração do projeto executivo.

Seguindo a orientação estabelecida no documento de contrato, o gestor do modelo da empresa contratada preparou um documento intitulado “Especificação Técnica de Modelagem 3D”. Este documento foi elaborado durante o desenvolvimento do projeto executivo. Neste documento, foram descritas as estratégias de modelagem adotadas para o desenvolvimento do projeto, a estratégia utilizada para elaboração do modelo e os *checklist* específicos para cada uma das especialidades envolvidas.

O desenvolvimento do modelo foi feito com dados oriundos do levantamento feito por *laser scanning* (varrimento a laser), aliados às informações do projeto básico, às adequações necessárias para o atendimento ao perfil ambiental do empreendimento (AQUA HQE) e aos requisitos para obtenção do nível A do Procel Edifica. O modelo desenvolvido na fase de projeto executivo contribuiu para a identificação de interferências entre as diferentes disciplinas que não poderiam ser identificadas em um projeto desenvolvido em 2D.

### **Processo de projeto em BIM**

A emissão de relatórios diários de interferências foi o procedimento estabelecido para verificação das interferências e compatibilização entre as diferentes disciplinas. Esses relatórios foram retirados do modelo parametrizado, empregando procedimentos de *clash*

*detection*. Semanalmente, esses documentos eram encaminhados para as reuniões de revisão interna com a equipe de projetos, gestor do modelo e coordenador.

As reuniões mensais de compatibilização interdisciplinar tinham por finalidade a integração e a discussão dos pontos relevantes do projeto como definições de espaço, discussão de prioridades e verificação de interferências diretamente no modelo. Estas reuniões eram realizadas com a participação da fiscalização (coordenador do projeto) e contratada (coordenador do projeto, gestor do modelo e equipe de projeto).

Para o gerenciamento do modelo, a equipe de fiscalização preparou um *checklist* específico para cada uma das disciplinas envolvidas. O modelo também foi utilizado durante as reuniões de revisão do projeto, realizada a cada dois meses (SILVA; SALGADO; SILVA, 2015). Nestas reuniões, era feita a apresentação do projeto para a equipe da fiscalização, inclusive os responsáveis pela operação e manutenção do edifício.

A aprovação dos documentos era feita através de um Sistema de Gestão de Projeto, que permitia que os documentos fossem analisados e comentados pela equipe de fiscalização, antes de retornarem a equipe de projeto contratada responsável pela implementação das alterações necessárias. O sistema eletrônico foi utilizado em todas as etapas do processo de projeto desde o projeto conceitual até o projeto executivo.

Este sistema se baseia em procedimentos internos específicos, entre eles, a exigência da troca de documentos em formato “portable digital format-pdf” (SILVA; SALGADO; CAMPOS, 2014). Em relação à análise do projeto diretamente no modelo nem todos os participantes da equipe de fiscalização estavam treinados com o uso dos softwares de visualização do modelo. Portanto, foram definidas reuniões de *design review* para que a equipe envolvida com a fiscalização pudesse analisar as soluções de projeto diretamente no modelo.

O modelo teve como objetivo auxiliar as tomadas de decisão durante o desenvolvimento do projeto executivo, além da construção de um banco de dados da edificação. As soluções de projeto foram apresentadas no modelo para a equipe de projetos da fiscalização em reuniões de revisão do projeto (*design review*).

Durante o processo de projeto, embora o BIM tenha sido usado para modelar o edifício, observou-se que a validação dos documentos de projeto foi feita através de arquivos PDF. Essa prática indica que o BIM não foi utilizado em seu potencial para um processo de projeto integrado e colaborativo – mas apenas para a visualização em 3D de partes específicas do projeto.

Dessa forma, a pesquisa realizada acompanhou a modelagem da edificação que teve início a partir da reforma do sexto pavimento, se estendendo para a criação do

modelo digital de todo o conjunto. Essa modelagem resultou na criação de um banco de dados com todas as informações sobre a edificação, que poderá auxiliar na gestão da manutenção do edifício.

Ao final do desenvolvimento do projeto com o término do contrato, a PETROBRAS recebeu da contratada todos os arquivos de projeto, o banco de dados e a biblioteca elaborada para o desenvolvimento do projeto.

### **Requisitos de sustentabilidade**

O escopo do projeto prevê a inclusão de soluções de sustentabilidade com a obtenção do nível A de Eficiência Energética do Programa Procel Edifica e certificação ambiental. Para a certificação ambiental, optou-se pelo processo AQUA HQE, tendo em vista sua resiliência, pois o empreendedor deve elaborar o Perfil de Qualidade Ambiental (QAE) de acordo com as especificidades da construção. O perfil ambiental definido para o projeto foi caracterizado conforme Quadro 1.

Durante o desenvolvimento do projeto executivo, foi preparada toda a documentação para a certificação do empreendimento pelo selo AQUA-HQE e pela etiquetagem de eficiência energética PROCEL. A contratada preparou relatórios, realizou simulações e forneceu toda a documentação, informação e registros exigidos pelas Autoridades Licenciadoras.

Em relação à certificação AQUA para edificações existentes, é importante destacar que não há necessidade de realizar simulações, somente a comprovação por cálculos, relatórios, normas e inventários (SILVA; SALGADO; CAMPOS, 2014). Entretanto, no estudo de caso, considerando a modelagem paramétrica, teria sido possível até mesmo realizar tais simulações.

Cabe acrescentar que na versão adotada no projeto analisado (Referencial Técnico – Certificação de Qualidade Ambiental de Edificações em Renovação – versão fevereiro de 2012), os 14 alvos estabelecidos pelo método se desdobram em mais de 50 aspectos que se desdobram em cerca de 168 indicadores. Entende-se, portanto, que o atendimento aos requisitos sem a participação de uma equipe multidisciplinar de projeto, atuando de forma colaborativa, torna o atendimento aos requisitos ambientais mais difícil e trabalhoso. No exemplo estudado, a colaboração entre os participantes da equipe de projeto se baseou na troca de informações propiciada pelo uso de um sistema eletrônico de gerenciamento de documentos, pelas reuniões de revisão interna, pelas reuniões de compatibilização interdisciplinar e pelas reuniões de revisão do projeto com a apresentação do modelo.

### Quadro 1– Perfil Ambiental da edificação estudada – Referencial 2012

<b>Categoria AQUA HQE</b>	<b>Nível</b>	<b>Medidas adotadas no projeto</b>
Relação edifício/entorno	Bom	Verificar o atendimento mínimo aceitável.
Escolha integrada de produtos	Superior	Atendimento à NBR 15575 (Edificações habitacionais - Desempenho), Programas de Qualidade e Avaliações técnicas.
Canteiro com baixo impacto ambiental	Bom	Realizar inventário de resíduos gerados na etapa de demolição de ambientes e substituição de sistemas. A quantificação feita a partir do modelo virtual.
Gestão da energia	Excelente	Os dados obtidos com os cálculos feitos para obtenção do nível A de Etiquetagem de Eficiência Energética do Programa Procel Edifica são aceitos para esta categoria.
Gestão da água	Bom	Atendimento ao desempenho mínimo aceitável de um empreendimento deste tipo. A comprovação deste critério foi feita através da utilização de equipamentos para redução no consumo de água.
Gestão dos resíduos/uso e operação do edifício	Superior	Na etapa de operação da edificação será realizado inventário sobre a separação de resíduos.
Manutenção – permanência do desempenho ambiental	Superior	A automação já é uma prática adotada na empresa. Para esta categoria, o BIM oferece um grande potencial de uso para a operação e a manutenção da edificação.
Conforto higrotérmico	Excelente	Comprovação feita através de cálculos (incluindo cálculos feitos na categoria Gestão de Energia). Para esta categoria poderiam ter sido feitas simulações com o modelo da construção.
Conforto acústico	Bom	As medições feitas no 6º pavimento foram orientativas para desenvolvimento do projeto dos outros pavimentos, pois, demonstraram o atendimento ao nível pretendido.
Conforto visual	Superior	Os dados obtidos com os cálculos feitos para obtenção do nível A de Etiquetagem de Eficiência Energética do Programa Procel Edifica são aceitos para esta categoria. O modelo da construção poderia ter sido usado para simulações de iluminação natural e artificial.

**Quadro 1 – Perfil Ambiental da edificação estudada – Referencial 2012 (continuação)**

Categoria AQUA HQE	Nível	Medidas adotadas no projeto
Conforto olfativo	Excelente	O tipo de ventilação e a utilização de materiais com baixa emissão de COV foram definidos no projeto para atender o nível máximo da certificação. Assim como, a separação entre o sistema de exaustão dos sanitários e da área de escritórios.
Qualidade sanitária dos espaços	Superior	Atendimento à NBR 15575 (Edificações habitacionais - Desempenho), Programas de Qualidade e Avaliações técnicas.
Qualidade do ar	Excelente	Comprovação do atendimento ao nível excelente através de cálculos.
Qualidade da água	Bom	Previsão de manutenção programada do sistema de abastecimento de água.

A partir da análise do estudo de caso, foi possível identificar alguns aspectos que contribuíram para a ineficiência do processo, como segue (SILVA, 2017):

- a) A decisão do uso do BIM e de certificar o projeto (AQUA HQE e Procel) apenas na fase de projeto executivo e não na etapa de projeto conceitual, conforme recomendado.
- b) Primeira experiência da equipe interna de projeto da empresa com o BIM.
- c) Troca de informações de forma fragmentada.
- d) Entraves do sistema de gerenciamento de documentos e de procedimentos internos que não consideraram as possibilidades oferecidas pelo BIM.
- e) Procedimentos tradicionais de gestão como: reuniões a partir de relatórios de interferências (*clash detection*) e não diretamente no modelo.
- f) O perfil de qualidade ambiental foi definido apenas por parte da equipe.
- g) Uso das funcionalidades do BIM somente para a verificação de interferências e visualização, perdendo a oportunidade de utilizá-la para simulações ambientais, quantificação de materiais, definição de cronograma e análise dos documentos de projeto.

Os aspectos destacados como negativos resultaram em retrabalho, maior tempo de desenvolvimento do projeto e indicam que diferentes falhas contribuíram para que o projeto não fosse desenvolvido de forma colaborativa e integrada.

A tentativa de superação da lacuna identificada pela equipe de projetos da empresa entre os procedimentos tradicionais e o uso de uma nova ferramenta – o BIM através de (1) Reuniões de revisão do projeto para a visualização e verificação do projeto diretamente no modelo; (2) Reuniões de revisão do projeto com a participação de toda a equipe e (3) Elaboração de documentação específica para orientar a modelagem da construção são aspectos positivos do processo de projeto. No entanto, não se mostraram eficientes, visto que os resultados pretendidos não foram alcançados (SILVA, 2017).

Apesar das falhas identificadas ao longo do desenvolvimento desse projeto não serem inéditas, torna-se importante a sua análise para que se identifiquem as suas causas, e, sendo assim, não se repitam em projetos futuros com as mesmas características.

### **ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS: BUSCANDO MELHORIAS NO PROCESSO DE PROJETO**

Para descobrir as causas das diferentes falhas encontradas ao longo do processo de projeto analisado, optou-se pela aplicação do método análise por árvore de falhas (AAF). O termo de origem inglesa (*fault tree analysis*) refere-se a um método de análise dedutiva que contribui para identificação de possíveis causas e efeitos das falhas causadas pela ocorrência de um determinado evento indesejado. Essa técnica foi escolhida dado o interesse em identificar os principais problemas encontrados no uso do BIM na reabilitação de edifícios, visando a inclusão de requisitos de qualidade ambiental através da análise da gestão do processo de projeto do estudo de caso, de forma a reconhecer as oportunidades de melhoria a partir das lições aprendidas com esta experiência.

A AAF, segundo Vesely *et al* (1981), consiste na análise dedutiva para resolver um evento indesejado procurando exaustivamente as causas da falha e mostrando claramente todas as diferentes interfaces necessárias para alcançar o evento indesejado (evento de topo). O método pode ser usado para avaliar um projeto proposto de acordo com sua segurança e confiabilidade, otimizar testes e manutenção, quantificar a probabilidade de falhas e identificar as fraquezas de um sistema, os efeitos do erro humano e melhorias efetivas em um sistema.

Os principais motivos para a aplicação do método AAF ao estudo de caso estão na possibilidade de verificação e compreensão das falhas existentes ao longo do processo, inclusive a verificação da interação entre as causas, permitindo priorizar as ações corretivas que possam ser implementadas e identificar ações que contribuíram para as falhas identificadas e, que, portanto, não devem ser repetidas em projetos futuros de reabilitação de edifícios que visem à melhoria do desempenho ambiental e o uso do BIM.

Para a aplicação do método AAF, os seguintes autores foram utilizados como referência: Ki-Chang Hyuna *et al.* (2015); Simões Filho (2006); Helman; Andery (1995); Vesely *et al.* (1981) e Oliveira (s.d.). Esses autores apoiam o estabelecimento da sequência de procedimentos para a análise dos eventos indesejados, conforme descrito a seguir.

Etapa 1: Definição do evento topo para análise (evento indesejado).

Etapa 2: Coleta de dados e informações.

Etapa 3: Definição do sistema, suas fronteiras e interfaces.

Etapa 4: Análise detalhada do sistema.

Etapa 5: Construção da árvore de falhas.

Etapa 6: Levantamento dos dados de falhas dos eventos.

Etapa 7: Determinação dos cortes mínimos, revisão e validação da árvore de falhas, verificando os procedimentos adotados.

Etapa 8: Avaliação qualitativa e/ou quantitativa da árvore de falhas.

Etapa 9: Análise dos resultados obtidos.

Etapa 10: Recomendações.

### **Etapas 1, 2, 3 e 4**

Os eventos indesejados (eventos topo) foram definidos com base na revisão de literatura (gerenciamento de projetos, BIM, sustentabilidade e intervenção em edifícios existentes) e na análise do estudo de caso. Assim, para o estudo de caso foram identificados quatro eventos topo (indesejados) elencados a seguir (SILVA, 2017):

Evento topo 1: A troca de informações não ocorreu através das funcionalidades do BIM, mas utilizando métodos tradicionais de comunicação referentes ao desenvolvimento do processo de projeto sequencial (Figura 4).

Evento topo 2: As funcionalidades do BIM não foram utilizadas desde o início do processo de projeto (Figura 5).

Evento topo 3: O perfil de qualidade ambiental do empreendimento não foi definido de forma colaborativa (Figura 6).

Evento topo 4: A validação de soluções de projeto e coordenação entre disciplinas não ocorreu através das funcionalidades do BIM (Figura 7).

## Etapas 5 e 6

O método AAF baseia-se em um raciocínio dedutivo e lógico, “de cima para baixo” (*top-down*), para descobrir as possíveis causas. A construção da árvore tem início a partir da falha identificada, que é o evento topo.

Este evento é resultado de uma combinação de falhas básicas e é representado através de portas lógicas como “E” ou “OU”. Em seguida, o caminho é definido através de eventos falhas que são eventos intermediários que se combinam através das portas lógicas (Figura 3). A porta lógica “E” é utilizada para indicar que o evento de saída somente ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem, enquanto, a porta lógica “OU” é usada para indicar que o evento de saída acontece se pelo menos um dos eventos de entrada ocorrer (SAKURADA, 2001; HELMAN, ANDERY, 1995; VESELY *et al.*, 1981).

A construção da árvore de falhas continua até que se chegue à definição do evento básico (Figura 3). Este evento constitui o limite de resolução da árvore de falhas. Entretanto, é possível que não sejam encontradas respostas para alguns eventos. Esses eventos são denominados eventos não desenvolvidos, cuja análise detalhada não foi desenvolvida por falta de informações ou de interesse (SAKURADA, 2001).

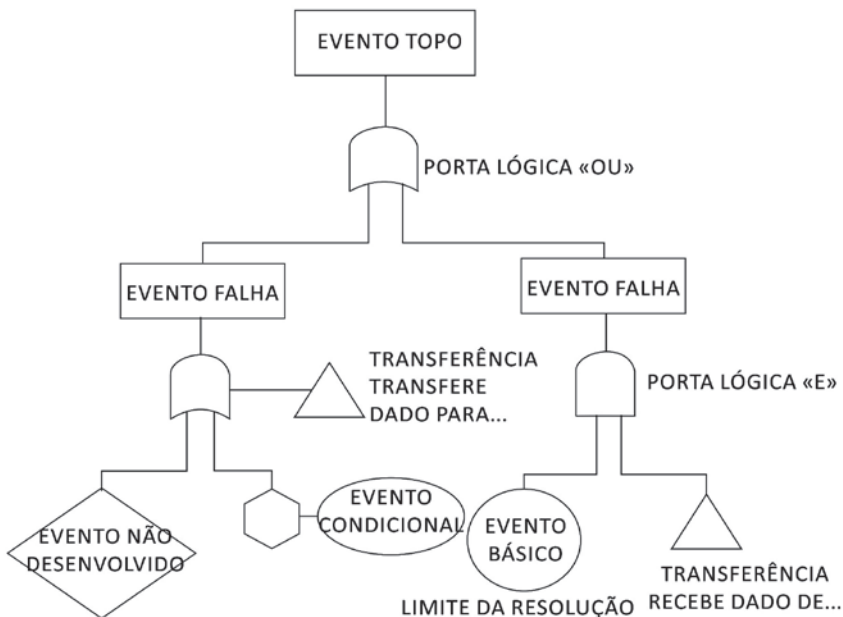


Figura 3 – Símbolos adotados na construção da Análise de Árvore de Falhas  
Fonte: SILVA, 2017.



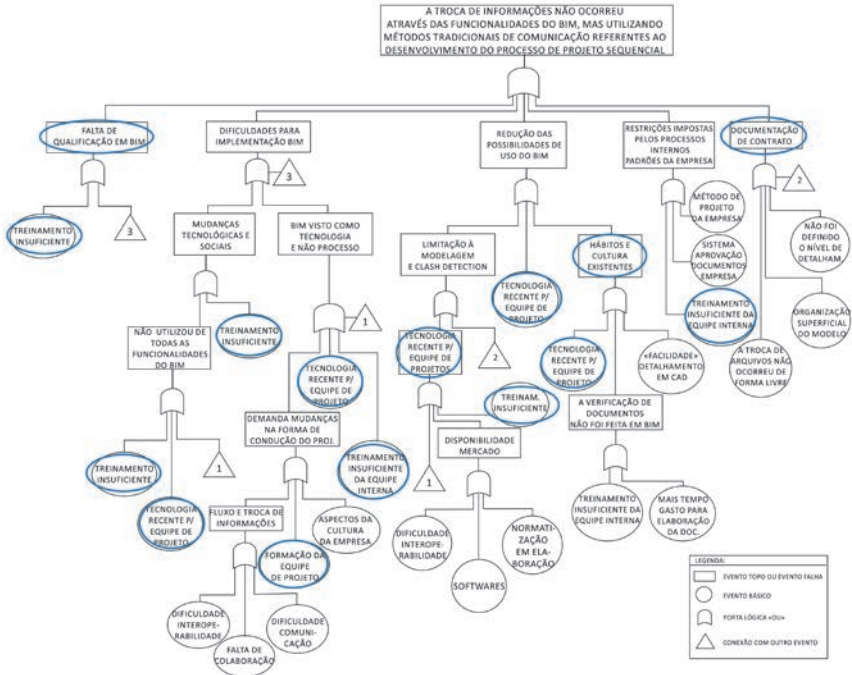


Figura 4 – A troca de informações não ocorreu através das funcionalidades do BIM, mas através de métodos tradicionais.  
 Fonte: SILVA, 2017.

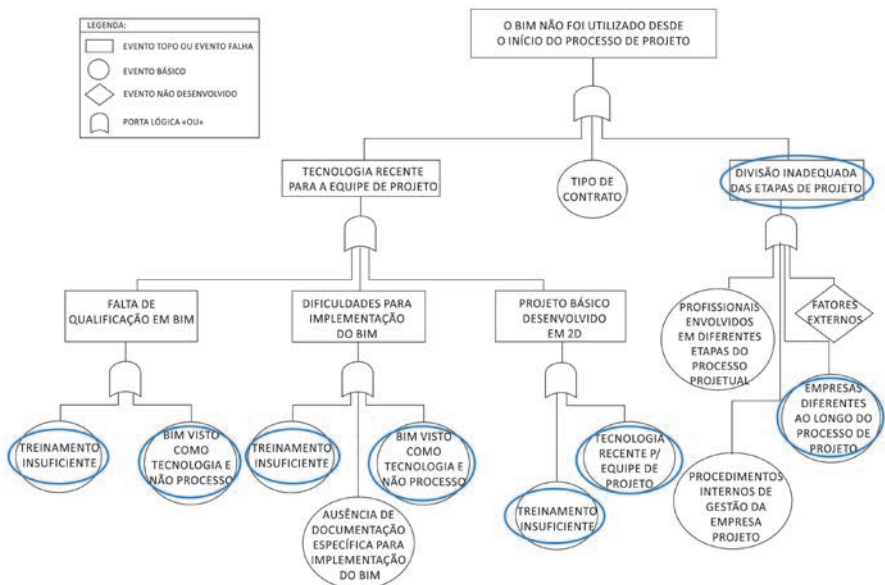


Figura 5 – As funcionalidades do BIM não foram utilizadas desde o início do processo de projeto  
 Fonte: SILVA, 2017.

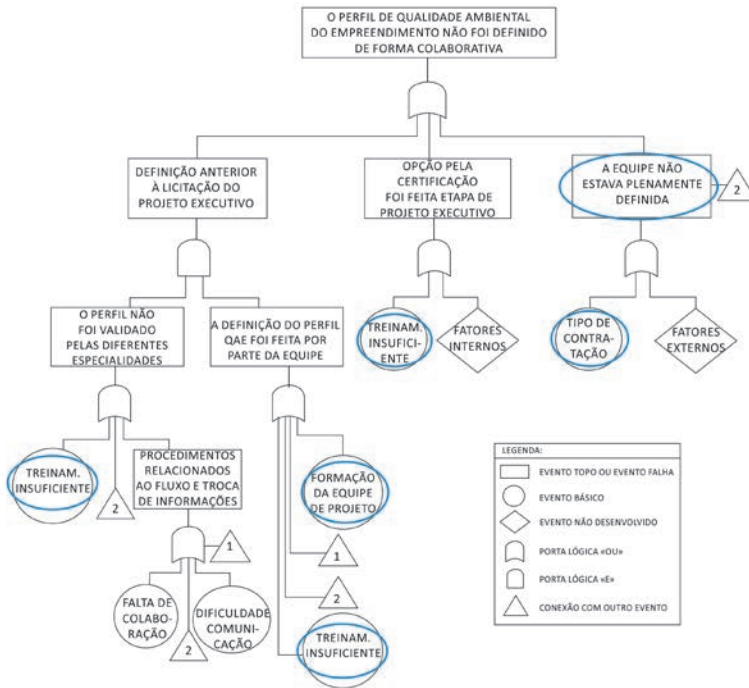


Figura 6 – O perfil de qualidade ambiental não foi definido de forma colaborativa  
 Fonte: SILVA, 2017.

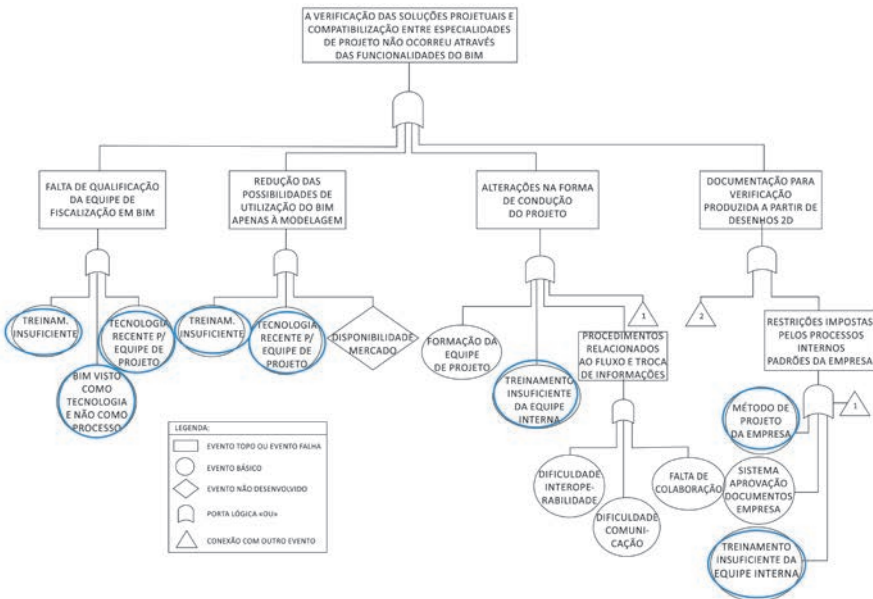


Figura 7 – A validação de soluções de projeto e coordenação entre disciplinas não ocorreu através das funcionalidades do BIM.  
 Fonte: SILVA, 2017.

## **Etapas 7 e 8**

Após a construção do diagrama, foi feita a validação da árvore de falhas, para verificar se os objetivos propostos foram atingidos e se o gráfico foi descrito claramente. A validação da árvore de falhas foi embasada pela revisão da literatura e pela observação e análise do estudo de caso. Os resultados obtidos orientaram as decisões e as recomendações apresentadas.

A avaliação por AAF pode ser tanto qualitativa como quantitativa. O objetivo é identificar as combinações de eventos de falha de componentes que conduzem ao evento topo. Nesta pesquisa, a opção pela análise qualitativa baseou-se na natureza do objeto estudado com diferentes questões qualitativas envolvidas, e, também, porque a opção por uma análise quantitativa exigiria a utilização de expressões matemáticas bastante complexas e *softwares* adequados, cujo escopo foge dos objetivos desta investigação. A eficácia de uma análise qualitativa é validada por Lafraia (2001), que destaca que podem ser obtidos ótimos resultados com este tipo de análise.

## **ANÁLISE DOS DADOS**

A partir das evidências encontradas através da AAF, torna-se possível traçar algumas diretrizes de forma a evitar que os principais eventos identificados se repitam. Embora os resultados obtidos no estudo de caso não possam definir estratégias gerais, alguns aspectos são comuns a todos os processos de projeto que pretendam usar o BIM.

O método AAF contribuiu para o levantamento de falhas e a identificação de eventos básicos, dos quais destacam-se: tecnologia recente para equipe de projeto, implementação do BIM de forma parcial devido a simplificação do BIM como tecnologia e não como processo, treinamento insuficiente, forma de contratação e procedimentos internos da empresa em projetos.

Os eventos básicos identificados referem-se, em sua maioria, a questões relacionadas à gestão de projeto que podem ser divididas em impactos sociais (fluxo de trabalho, cultura e hábitos da empresa, trabalho em equipe e comunicação) e impactos tecnológicos (interoperabilidade, treinamento e desafios tecnológicos). Os resultados revelam que o processo de projeto precisa ser revisto. Três aspectos se destacam e são apresentados a seguir (SILVA, 2017).

### **Metas ambientais e o processo BIM**

A documentação de contrato definiu que a empresa contratada deveria adequar as soluções propostas no projeto básico ao Perfil de Qualidade Ambiental definido pela PETROBRAS para que o empreendimento estivesse habilitado a obter a certificação AQUA-HQE e a etiquetagem de eficiência energética PROCEL EDIFICA. Entretanto, como pode ser

analisado através do método AAF, as funcionalidades do BIM não foram utilizadas para auxiliar a implementação dos requisitos do perfil de qualidade ambiental por três razões: (1) não foi definido no contrato, (2) desconhecimento das potencialidades do BIM para projetos com alta qualidade ambiental pela equipe interna de projeto da PETROBRAS, e (3) a implementação do BIM como uma tecnologia e não como um processo resultou na utilização parcial de suas funcionalidades.

### **Treinamento da equipe de projetos**

O conhecimento do programa Revit® foi um dos critérios para a contratação da empresa que desenvolveu o projeto executivo, no entanto, nem todos os profissionais da PETROBRAS (responsáveis pela fiscalização) como da empresa contratada foram treinados e/ou conheciam todas as funcionalidades do BIM. Para superar esta dificuldade foram agendadas reuniões de revisão do projeto (*design review*) com a participação de toda a equipe de projeto. Portanto, o treinamento insuficiente de ambas as equipes (interna e externa) resultou em procedimentos repetitivos e atividades improdutivas para a verificação dos documentos de projeto e compartilhamento de informações entre os membros da equipe de projeto.

### **Em relação à gestão do processo de projeto**

Uma das consequências da falta de domínio das funcionalidades do BIM combinadas às rígidas exigências de controle e aos procedimentos operacionais internos foi a execução de tarefas repetitivas e desnecessárias. Um exemplo de trabalho repetitivo foi que todas as verificações de projeto foram feitas em documentos digitais em formato pdf para depois serem atualizadas no modelo. Em vez disso, os procedimentos de verificação poderiam ter sido feitos em documentos digitais associados ao modelo.

Por outro lado, as reuniões de *design review* foram um aspecto positivo, pois, contribuiriam para a colaboração da equipe de projeto ao promover a análise do modelo de forma multidisciplinar.

## **RESULTADOS**

A análise apresentada refere-se a um projeto específico com características particulares, como padrões internos e questões relacionadas à segurança da informação. No entanto, as lições aprendidas podem ajudar no desenvolvimento de projetos futuros que tenham características semelhantes.

A aplicação do AAF permitiu identificar diferentes eventos básicos que seriam as possíveis causas para a ocorrência dos eventos topo. Esses eventos foram resultado da

combinação de diferentes falhas ocorridas ao longo do processo de desenvolvimento do projeto. Desta forma, os eventos indesejados se apresentaram como resultado de aspectos relacionados à abordagem de gerenciamento do processo de projeto adotada neste projeto.

O método AAF, aplicado ao estudo de caso, revelou que, de fato, a implementação do BIM não atingiu o objetivo original de apoiar a melhoria do desempenho ambiental do edifício reabilitado. Por outro lado, os procedimentos de *cash detection* auxiliaram na complexidade do projeto das instalações.

Se as funcionalidades do BIM tivessem sido implementadas desde o início do projeto, provavelmente teria trazido mais eficiência e transparência ao processo. Não apenas, no que se refere ao cumprimento dos requisitos sustentáveis, mas, também, para a preparação da documentação necessária para a certificação.

Nos próximos projetos de reabilitação de edificações com o objetivo de melhoria do seu desempenho ambiental tornar-se necessária a implementação de mudanças no processo de projeto, com foco na colaboração e integração, das quais destacam-se maior integração entre os agentes envolvidos, intensificação do caráter multidisciplinar do projeto e melhoria da gestão da informação.

Neste cenário, entende-se que as funcionalidades do BIM poderiam ter trazido mais dinamismo, colaboração e integração ao processo de projeto. Portanto, a partir dos resultados da pesquisa conclui-se que para a implementação do BIM em projetos que visem à melhoria do desempenho ambiental torna-se necessário uma abordagem do BIM como processo e a superação do método tradicional sequencial de gestão do projeto.

### **Método contemporâneo**

A identificação de uma nova categoria de método de projeto denominada como “método contemporâneo” é um dos resultados da pesquisa. O “método contemporâneo” se caracteriza por promover uma melhor interação entre todas as fases do projeto e o controle do projeto como um todo. Neste contexto, acredita-se que entender o BIM como um processo traz mudanças sociais e tecnológicas e tem consequências imediatas sobre a forma de conduzir o processo de projeto. Portanto, os procedimentos de projeto tradicionais devem ser revisados, para evitar que as equipes de projeto se limitem a implementar apenas uma tecnologia ao invés de um processo. Além disso, essa transformação poderia estimular o projeto integrado e colaborativo. Portanto, a transformação do processo de projeto em um *método contemporâneo* proporcionaria uma melhor interação entre todas as fases do projeto e o controle do projeto como um todo.

### **Recomendações para projetos futuros de reabilitação que visem à melhoria do desempenho ambiental**

Considerando o interesse em desenvolver o projeto utilizando o BIM são identificados aspectos que são comuns a todo processo de gestão de projeto.

- a) A necessidade de qualificação profissional nas potencialidades oferecidas pelo BIM para que os profissionais compreendam como organizar a parametrização da informação no modelo.
- b) A importância de estabelecer treinamento prévio da equipe de projeto nas funcionalidades oferecidas pelo BIM.
- c) A importância em estabelecer treinamento prévio nos requisitos de desempenho ambiental para a definição do perfil de qualidade ambiental antes do início do processo de projeto e de forma colaborativa, pois se a equipe tem conhecimento dos requisitos, no momento que as informações forem parametrizadas no modelo, os especialistas saberão quais e como as informações deverão ser inseridas.
- d) Revisão dos procedimentos existentes, pois o projeto em BIM se destaca pela definição de uma nova forma de organizar as informações da construção que rompe com os procedimentos tradicionais de gestão do projeto.

### **Atuação profissional e a implementação do BIM**

Nos últimos anos, a empresa tem incentivado a transformação digital com foco na automatização de projetos. Neste contexto, as lições aprendidas com a experiência da tese de doutorado puderam ser aplicadas ao dia a dia do exercício profissional com o objetivo de auxiliar a equipe de arquitetos na implementação do BIM nos projetos de arquitetura.

O primeiro passo foi a conscientização da equipe através de palestras sobre BIM e processo de projeto integrado e colaborativo. Em seguida, a equipe em conjunto definiu o plano de implementação BIM, onde foram definidas questões relacionadas a organização da equipe, treinamento, infraestrutura técnica, fases de implementação e objetivos a serem atingidos com o uso do BIM. A seguir destacam-se os temas abordados pelo Plano implementação do BIM:

- a) Definição das necessidades individuais de treinamento.
- b) Análise da infraestrutura técnica.
- c) Treinamento dos especialistas.
- d) Definição das responsabilidades de cada membro da equipe em cada etapa.
- e) Abertura de novas especialidades e qualificações.

- f) Definição dos usos do BIM relevantes para a organização como, por exemplo, a obtenção dos quantitativos de projeto de forma automatizada.
- g) Definição de critérios de organização de informações para o desenvolvimento da biblioteca e dos *templates* (*Information Delivery Manual – IDM*).
- h) Procedimentos sobre o uso de *templates*, geração e manuseios de objetos e gestão do modelo.
- i) Revisão dos procedimentos com foco na integração e na colaboração entre as equipes de projeto.
- j) Definição de prazos e metas para o desenvolvimento do projeto piloto.
- k) Conscientização da equipe sobre como trabalhar de forma integrada e colaborativa.
- l) Definição das etapas de implementação do BIM.

O plano de implementação do BIM resultou na definição de uma estratégia segundo um processo evolutivo por fases: 1 – Modelagem, 2 – Colaboração e 3 – Integração. Como meta imediata foi definido passar da Fase 0 (Pré BIM) para a Fase 1 (Modelagem). Seguida pela implementação da Fase 2 como meta a médio prazo e, posteriormente, como meta final, atingir a Fase 3 com a implementação efetiva do potencial do BIM. Em relação à meta estabelecida, atualmente, a equipe encontra-se na fase de implementação do conhecimento e treinamento adquiridos. Sendo a primeira etapa o desenvolvimento de *templates* e bibliotecas e atualização dos softwares e equipamentos.

## REFLEXÕES FINAIS

Na reabilitação de edificações com o objetivo de melhoria do desempenho ambiental, o desenvolvimento do projeto em BIM contribui para uma visão integrada do processo de projeto concorrendo para o atendimento de diversas metas estabelecidas pela Agenda 21 para o setor da construção civil brasileiro, como redução de perdas e desperdícios de materiais de construção, a eficiência energética, conservação da água, melhoria da qualidade do ar interior e melhoria do processo construtivo.

Entretanto, o BIM somente poderá funcionar de forma plena se todos os envolvidos no processo de projeto conhecerem as funcionalidades oferecidas e estiverem conscientes do rompimento com os padrões tradicionais. Ou seja, o sistema de gestão de informações e os procedimentos e padrões adotados devem ser revistos e atualizados de forma a viabilizar a colaboração e a integração.

Ao pensar o processo de projeto desenvolvido em BIM como um **processo de inovação**, ou seja, como algo que surge como resposta aos problemas identificados, mas



que não é uma continuação do que existe, ou seja, como um **rompimento** com o existente para se poder pensar o novo de forma isenta, tenho a impressão de que estamos vivendo um ponto de mutação dentro da gestão de projetos que trará mudanças profundas no setor da construção civil.

Portanto, a lição mais importante aprendida é a necessidade de superar a visão sequencial do processo de projeto com alta qualidade ambiental e incorporar as potencialidades do BIM desde o início do processo através de um processo colaborativo e integrado.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece a Petrobras pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) *NBR 15575*: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BUILDING ASSESSMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD (*BREEAM*). [Site institucional]. Disponível em: [www.breeam.org](http://www.breeam.org). Acesso em: 23.out.2013, 05.set.2012, 21.out.2020.
- CERTIVEA. *Demarche HQE® Exploitation*. Référentiel Technique des Batiments Tertiaires em Exploitation. Version 0. Paris: . Certivea, may 2008. Disponível em: <<http://www.certivea.fr>>. Acesso em: 23.ago.2016.
- COLE, R *et al*. Do imported building environmental assessment methods accelerate culturally appropriate green building practices? *In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING 2014: ?Results...Are We Moving as Quickly as we Should? It's up to us!* 2014, Barcelona. *Anais...* Madrid: GBCE, 2014, p. 23-29. PEN DRIVE.
- DEUTSCH, R. *BIM and integrated design*. New Jersey: John Willey & Sons, 2011.
- EASTMAN *et al*. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers and contractors*. Nova Jersey: John Willey & Sons, 2011.
- FUNDAÇÃO VANZOLINI. *Referencial Técnico de Certificação*: Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA. Escritórios – Edifícios escolares. São Paulo, 2012. Disponível em: < <http://vanzolini.org.br/aqua/>>. Acesso em: 15.set.2014, em: 15.out.2020.
- GUASTI, J. Diretrizes de sustentabilidade de edifícios de escritórios: estudo de caso do Edifício Marechal Adhemar de Queiroz. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistema de Gestão da Universidade Federal Fluminense. Niterói: mimeo, 2008.
- HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. *Análise de falhas*: aplicação dos métodos FMA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- INTERNATIONAL INICIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT (*iisbe*). [Site institucional]. Disponível em: <[www.iisbe.org](http://www.iisbe.org)>. Acesso em: 15.jun. 2015, 03.mar.2014, 01.set.2012, 20.out.2020.
- KI-CHANG, H.; SANGYOON, M.; HANGSEOK C.; JEONGJUN P. Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Leec, Tunnelling and Underground Space Technology*, V. 49, p. 121–129, June 2015.
- LAFRAIA, J. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- OLIN, J.; JYLHA, T.; JUNNILA, S.. Virtuality: What does it means for FM?. *In: CIB W070, W092 & TG72 INTERNATIONAL CONFERENCE ON FACILITIES MANAGEMENT, PROCUREMENT SYSTEMS AND PUBLIC PRIVATE*

PARTNERSHIP, 1, 2012, Cape Town. *Proceedings ....* Cape Town: University Of Cape Town, 2012. p. 20-26. Disponível em: <<http://www.cibworld.nl>>. Acesso em: 15.jan.2014.

OLIVEIRA, L. F. S. *Técnicas de construção de árvore de falhas*. Apostila. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Laboratório de Análise de Segurança, [20--?].

PETROBRAS. *Edifício Marechal Adhemar de Queiroz: uma visita ao edifício-sede da Petrobras*. Comunicação Institucional: Rio de Janeiro, 2008.

PETROBRAS. *Edise: Projeto Executivo de Atualização Tecnológica*. Plantas diversas. Original em papel sulfite, 2013.

REED, R. *et al.* International Comparison of Sustainable Rating Tools. *Journal of Sustainable Real State*, V. I. nº. 1, 2009. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/24860541>>.

SALGADO, M. LEED CS in Brazil: Discussing the validity of the method for the improvement of environmental quality buildings. In: World Sustainable Building Environment Conference, 2017, Hong Kong. *Anais...Hong Kong: CIC*, 2017. Disponível em: <<http://www.hkis.org.hk>>. Acesso em: 15.dez.2018.

SAKURADA, E. *As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e avaliação de produtos*. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: mimeo, 2001.

SANTOS, M. S.; ZEIN, R. V. A moderna Curitiba dos anos 1960: jovens arquitetos, concurseiros, planejadores. In: 8º Seminário Docomomo Brasil, *Anais...*, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

SILVA, F. D. *Gestão do processo de projeto na reabilitação de edificações: visando à melhoria da qualidade ambiental*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: mimeo, 2017.

SILVA, F.; SALGADO, M.; SILVA, C. Plataforma BIM, retrofit e sustentabilidade ambiental: estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2015. 1 CD-ROM.

SILVA, F.; SALGADO, M.; CAMPOS, A. The potential of BIM platform in building modernization aiming to environmental certification. In: WORLD SUSTAINABLE BUILDING 2014: ?Results...Are we moving as quickly as weshould? It's up to us! 2014, Barcelona. *Anais...* Madrid: GBCE, 2014. 1 PEN DRIVE.

SIMÕES FILHO, S. *Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos*. Tese de doutorado apresentada à COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: mimeo, 2006.

US GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). *LEED (Leadership and energy & environmental design)*. 2009. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 31.dez.2013, 05.set.2012, 15.out.2020.

VESELY, W *et al.* *Fault tree handbook*. Washington: U.S. Nuclear Regulatory Commisision, 1981.

WILLIAMS, R. *Utilizing building information modeling for facilities management*. Dissertação de mestrado apresentada à Bartlett School of Graduate Studies, University of London. Londres: mimeo, 2013.

---

**Em direção à interdisciplinaridade no diagnóstico do  
patrimônio arquitetônico *via* correlação de imagem digital**

Thiago Melo Grabois

---

O diálogo entre as diferentes disciplinas tem, ao longo da história, demonstrado um potencial enorme para os avanços em tecnologia da construção. As tecnologias digitais de informação, automação, óptica e imagens (para listar apenas algumas) vem proporcionando benefícios em diversos setores das atividades humanas contemporâneas. Na arquitetura, engenharia e na construção civil em geral, não é diferente. Os avanços em processamento e análise de imagens vem sendo cada vez mais utilizados como ferramentas de identificação, qualificação e quantificação de informações relevantes, que podem ser utilizadas em situações das mais diversas, desde o reconhecimento facial em sistemas de segurança até a determinação da amplitude de movimento de estruturas.

As atividades de documentação do patrimônio arquitetônico vêm, neste sentido, se apropriando das tecnologias digitais, que são cada vez mais acessíveis atualmente, embora algumas ainda tenham custos de aplicação muito elevados. Para listar apenas algumas dessas técnicas, destacam-se a fotogrametria digital, *3D laser scanning*, cartografia digital, *Building Information Modeling* (BIM) e *Heritage BIM* (HBIM), entre muitas outras.

O monitoramento das condições estruturais de patrimônios históricos e culturais edificados ou obras civis em geral é de extrema importância, tendo em vista, a garantia da segurança de seus usuários e a integridade e conservação dos bens edificados. Deste modo, deve-se considerar a integridade da estrutura como um todo, não apenas durante sua vida útil, mas, também em circunstância de algum fenômeno trágico ou até mesmo a mudança de uso ou extensão do edifício.

Para realizar este tipo de tarefa de monitoramento patológico, ferramentas computacionais de simulação são cada vez mais frequentes, mesmo que seguidas por diferentes rotas de aplicação. Além disso, as soluções experimentais aplicadas atualmente, como *strain gauges*, sensores ultrassônicos e de fibra ótica são onerosas e de elevada complexidade para instalação. Considerando as diversas situações possíveis, há ainda a necessidade de se adaptar às difíceis condições encontradas no campo, isto é, quando a análise é conduzida em ambiente exterior submetido às variações climáticas e aos diversos fatores mecânicos externos, como por exemplo no caso das fachadas de edifícios.

A discussão proposta tem um enfoque interdisciplinar, que aborda ações de conservação e restauração do patrimônio edificado – em particular, o moderno –, criando uma interface com a utilização de ferramentas computacionais de correlação de imagem digital (DIC)<sup>1</sup> para a caracterização do progresso de fissurações e das deformações sofridas ao longo do tempo pelos sistemas construtivos, estruturais, de vedação e revestimentos do edifício. Em particular, apresenta-se uma investigação no edifício Jorge Machado Moreira (edifício JMM), sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, um exemplar da arquitetura moderna brasileira. Neste projeto de pesquisa, caracterizar e mapear patologias estruturais

O presente capítulo apresenta uma abordagem extensa que, para além de documentar patologias em elementos arquitetônicos, demonstra a relevância dos meios digitais para o monitoramento do patrimônio edificado, sobretudo os capazes de determinar informações quantitativas acerca dos sintomas relacionados às deformações sofridas pela edificação e seus elementos construtivos. Relacionando-se com diversas áreas do conhecimento que lhe abastece com recursos e informações necessárias ao pleno desenvolvimento das atividades capazes de caracterizar de maneira precisa a magnitude de certos sintomas manifestados que comprometem a saúde estrutural do edifício, a correlação de imagens digitais se apresenta como um método de análise não destrutivo, pouco – ou nada – invasivo ao patrimônio que deve ser conservado, além de ser perfeitamente adaptável para o monitoramento em modo remoto.

Primeiro, resultados de experimentos mecânicos em materiais distintos, realizados em laboratório, e avaliados a partir da correlação de imagem digital, são discutidos amplamente a fim de exemplificar o potencial da metodologia baseada em imagens. Em seguida, são apresentadas observações preliminares referentes a fase

---

<sup>1</sup> No presente, a abreviação DIC, originada do termo em inglês *Digital Image Correlation* e difundida amplamente nesta linha de pesquisa entre a comunidade científica, é adotada no decorrer deste texto para se referir ao termo correlação de imagem digital.

do projeto que objetiva mapear as regiões do edifício JMM (exterior e interiormente) com incidência de patologias construtivas e, assim, avaliar suas condições gerais, localizando os pontos os sintomas em estágios mais avançados. Deste modo, esta abordagem pretende dar início a um cenário para o desenvolvimento de um sistema de identificação e monitoramento de patologias construtivas a partir do pós-processamento de imagens digitais.

## **PATRIMÔNIO, PATOLOGIAS E TECNOLOGIAS DIGITAIS**

O *International Council of Monuments and Sites* (ICOMOS), considerando o monitoramento e manutenção permanente como exigência para a conservação do patrimônio, determina, claramente, em documento referência para a preservação do patrimônio cultural, que a restauração é uma atividade de caráter excepcional (“Carta de Veneza”, 1964). Diante deste contexto, entende-se que o monitoramento permanente evita a necessidade de intervenções volumosas, muitas vezes emergenciais, e com possibilidades de danos irreparáveis à conservação do patrimônio.

De todo modo, no que diz respeito a prática de preservação dos patrimônios arquitetônicos, apesar de não ser um tema novo, a restauração parece ser mais presente do que as atividades de manutenção constante. Via de regra, permitir a degradação da edificação, desde seu sistema estrutural até os materiais de acabamento, para depois restaurar tem sido a prática corriqueira, demonstrando explicitamente a ausência de políticas de conservação do patrimônio (CARVALHO, 2014, 2005).

Além disso, o impacto de acidentes envolvendo as estruturas do patrimônio arquitetônico – públicas e privadas – ficam evidenciados em diversas situações. Como exemplo, destacam-se o incêndio no edifício JMM em 2016; e, com consequências ainda mais graves, o ocorrido no Museu Nacional, no Rio de Janeiro, em 2018, que além de destruir grande parte da cobertura, danificar paredes internas e externas e sistemas de vedação da edificação histórica, extinguiu grande parte do acervo em posse do museu. Diante deste contexto, destaca-se, principalmente, que os danos não são apenas materiais, relacionados ao colapso da estrutura, mas também morais, histórico-culturais (AMORIM, 2017) e, em muitos casos, podendo chegar até relativos a perda de vida humana.

O emprego de ações de caráter emergenciais torna-se frequente, que muitas vezes são dirigidas sem os estudos prévios, sem mão de obra e sem tecnologia adequados. Isto é evidente em edificações de uso público, como evidenciado no edifício Jorge Machado Moreira, um exemplar da arquitetura moderna brasileira, que é tema central da presente discussão

### **Patrimônio moderno: o exemplar Edifício Jorge Machado Moreira**

O edifício projetado entre 1954 e 1957 pelo arquiteto Jorge Machado Moreira, para de ser a nova Faculdade Nacional de Arquitetura<sup>2</sup>, da Universidade do Brasil, foi premiado na IV Bienal de São Paulo e inaugurado em 1961. A edificação tem relevância histórica, sobretudo, no contexto modernista, à época em ascensão na arquitetura nacional. Cerca de 60 anos após sua construção, o edifício não sofreu alterações significativas, capazes de comprometer sua concepção e estrutura originais, mesmo diante das alterações parciais de uso, a fim de abrigar não apenas a Faculdade de Arquitetura, mas a Reitoria, a Escola de Belas Artes, o Centro de Letras e Artes e o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional. No entanto, é evidente que o edifício passa por um permanente processo de degradação, em razão da falta de manutenção preventiva.

Ordenada por três volumes que se interceptam ortogonalmente, o edifício em questão destaca-se com seu bloco principal, com oito pavimentos, idealizados para comportar as salas de aula e ateliês. Os blocos de menor gabarito foram projetados para abrigar a biblioteca no Bloco B, o setor administrativo no Bloco C e os laboratórios e oficinas no Bloco D (ESCRITÓRIO TÉCNICO, 1961).

Diante das diversas transformações sofridas no ambiente construído e as novas demandas conferidas no decorrer da vida do edifício, sua preservação enfrenta, atualmente, uma série de desafios e ameaças. A carência de medidas de manutenção e conservação prévia, a obsolescência tecnológica e científica, o envelhecimento dos materiais são problemas de ordem técnica, mas que devem, sobretudo, ser enfrentados sob a ótica da conservação. Após mais de meio século de uso intenso – em função das atividades atreladas ao seu propósito acadêmico e administrativo<sup>3</sup> – e falta de manutenção preventiva, as recorrentes intervenções e adaptações de uso, além do incêndio de proporções calamitosas ocorrido em outubro do ano de 2016 no oitavo andar, evidenciam, portanto, que o patrimônio do edifício JMM encontra-se globalmente comprometido (SILVOSO; VARELLA, 2018).

SILVOSO & VARELLA (2018) apresentaram, em detalhes, diversas patologias presentes no edifício JMM. Foram documentados danos estruturais de magnitudes distintas nas fachadas, coberturas, platibandas, pilares e juntas de dilatação dos quatro diferentes blocos que compõe o edifício em questão (blocos A, B, C e D). A partir

---

<sup>2</sup> Atualmente, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU UFRJ).

<sup>3</sup> No decorrer de sua história, o edifício foi sendo ocupado por outros setores da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Entre as décadas de 1970 e 1980, a Reitoria da UFRJ, o Centro de Letras e Artes, a Escola de Belas Artes e o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional passam a compartilhar o espaço com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.



de registros fotográficos localizando as regiões afetadas, foram propostas medidas corretivas, além de alertas à necessidade de intervenções com caráter emergenciais. Cabe ressaltar que as condições de deterioração do patrimônio em questão estão, atualmente, ainda mais intensificadas, visto que os registros apresentados foram anteriores ao incêndio de 2016.

Em trabalho recente, COSTA *et al.* (2020) constataram um agravamento considerável, ao longo dos últimos 8 anos, das manifestações patológicas observadas na fachada sudeste do bloco A. A partir de uma análise comparativa com estudos e relatórios técnicos anteriores, ficou evidente que a progressão dos sintomas foi resultado de uma completa ausência de medidas preventivas de monitoramento e preservação no decorrer do período de utilização do patrimônio edificado do JMM.

O sistema estrutural em concreto armado apresenta inúmeros sintomas patológicos por todos os elementos, isto é, nos pilares, vigas e lajes do edifício. Do ponto de vista de colapso estrutural – mesmo que não se trate do risco iminente de uma tragédia desta magnitude –, a corrosão das barras de aço é a situação mais atemorizante dentre os danos mais recorrentes. Além disso, sem que haja nenhum tipo de análise profunda sobre as condições de saúde do edifício, uma série de outros danos são encontrados com facilidade, como o deslocamento de revestimentos nas fachadas, elementos estruturais e de vedação fissurados e armaduras de aço expostas. Certamente, a situação atual demanda um estudo metuculoso que vise, para além da integridade estrutural do edifício, os requisitos adequados de conservação do patrimônio.

Em relação aos revestimentos, são visíveis os danos existentes nas cerâmicas, desde a perda de elementos, quebras, fissuras, chegando também até as camadas de argamassa e do concreto de recobrimento das estruturas. Em alguns trechos fica evidente a sua perda, ocasionando a exposição das armaduras, que em inúmeros casos já se encontram em estágio avançado de corrosão. As coberturas também sofreram grandes problemas, principalmente de impermeabilização e perda de elementos originais. As esquadrias em alumínio apresentam, em geral, problemas relacionados à corrosão dos perfis, à perda dos vidros e ao mau funcionamento do sistema mecânico, que pode ser função das alterações do entorno, com o aumento da poluição, de intervenções mal sucedidas ou, além disso, pela drenagem incorreta da água de condensação dos equipamentos individuais de climatização.

As fachadas apresentam além do envelhecimento natural dos materiais e falta de manutenção adequada, adaptações aleatórias para instalação de aparelhos individuais de ar condicionado, que resultaram em inúmeras patologias. A orientação do edifício impunha limites para a sua preservação ao longo do tempo, uma vez que a população

prevista inicialmente poderia se movimentar durante o período de aulas para salas com melhor insolação. O aumento do número de usuários comprometeu a performance climática da edificação, que como consequência deu origem a soluções de climatização individualizadas para os ambientes.

Neste contexto, a partir do breve panorama apresentado sobre o edifício JMM e suas atuais condições, foi possível demonstrar sua relevância, que para além do patrimônio edificado, permanece como local de uso intenso do primeiro curso de Arquitetura e Urbanismo do Brasil e de grande parte da comunidade acadêmica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

### **A técnica de Correlação de Imagem Digital**

Desde meados da década de 1980, a correlação de imagem digital na identificação de campos de deformação e formação de fissuras – em materiais – chama a atenção da comunidade científica. Em particular, no campo da mecânica experimental (CHU; RANSON; SUTTON, 1985; SUTTON *et al.*, 1986). A correlação de imagem digital permite estimar campos completos de deslocamentos baseando-se em uma série de imagens digitais da superfície de um objeto submetido a um determinado histórico de carregamento – responsável pelas movimentações sofridas pelo corpo (CHU; RANSON; SUTTON, 1985).

O interesse deste tipo de ferramenta experimental é fornecer campos cinemáticos completos – em outras palavras, os movimentos de corpos ou partículas, independentemente da ação das forças que os produzem. Neste caso, a técnica pode ser útil para estudar fissuração, tanto na escala material, como em rochas, concreto, vidro, cerâmica e materiais compósitos diversos, quanto na escala dos elementos construtivos que compõe a estrutura edificante. O fato de que o campo de deslocamentos dos materiais submetidos aos diversos tipos de movimentação (micro) estrutural alcança incertezas da ordem de  $10^{-2}$  pixel permite que esta técnica exponha fissuras que normalmente não podem ser vistas por outros meios, quando sua abertura é menor do que um pixel (RÉTHORÉ; ROUX; HILD, 2009).

Metodologias de correlação de imagens digitais vem sendo adotadas em diversos experimentos mecânicos em materiais (GRABOIS *et al.*, 2018; MATHIEU; HILD; ROUX, 2012; RÉTHORÉ; ROUX; HILD, 2009; VARGAS *et al.*, 2016), no monitoramento de obras civis (CURT *et al.*, 2020; DAS *et al.*, 2018; DESTREBECQ; TOUSSAINT; FERRIER, 2011; GHORBANI; MATTA; SUTTON, 2015; KUJAWIŃSKA *et al.*, 2009; KÜNTZ *et al.*, 2006; MALESA *et al.*, 2010; PIEKARCZUK *et al.*, 2012) e até na restauração de obras artísticas de pinturas em telas (DUFOUR *et al.*, 2018) e em obras históricas de tapeçaria (LENNARD; DULIEU-BARTON, 2014) como uma poderosa ferramenta desde que câmeras digitais

se tornaram acessíveis e permitiram aquisição de imagens durante as avaliações. A partir do pós-processamento inteligente de imagens é possível determinar mapas de deslocamentos e deformações que permitem identificar fissuras e validar modelos matemáticos e computacionais, como por exemplo com métodos de elementos finitos.

Recentemente, a técnica da DIC foi abordada na literatura como uma das possíveis metodologias de teste não destrutivo adotadas em edifícios históricos construídos predominantemente com rochas (CHASTRE; LUDOVICO-MARQUES, 2018). De maneira geral, foi classificada entre os métodos efetivos de determinação das propriedades mecânicas dos materiais e dos aspectos estruturais do patrimônio histórico edificado, com destaque para a mensuração dos deslocamentos sofridos. Em relação ao uso da correlação de imagens digitais para o diagnóstico do patrimônio histórico edificado, são apresentados brevemente dois estudos atuais que vem discutindo a aplicação desta metodologia – ainda em caráter preliminar e em escala laboratorial – como ferramenta de caracterização.

Em uma análise de laboratório, avaliando o comportamento mecânico sob esforços de compressão em uma alvenaria produzida a partir de tijolos cerâmicos assentados com argamassa de cal, COLLA & GABRIELLI (2017) apresentaram resultados promissores, que colaboram para efetiva aplicação da DIC para o monitoramento do patrimônio cultural e as estruturas históricas *in loco*. A fim de validar a metodologia para aplicação em sítios históricos e tombados, adotou-se a textura natural da alvenaria, evitando preparações e intervenções na superfície investigada a partir das imagens. Além disso, a acurácia das determinações obtidas a partir da DIC foi verificada confrontando seus resultados com os dados obtidos com sensores de medição pontual, neste caso os popularmente conhecidos LVDT<sup>4</sup>. Em síntese, este estudo demonstrou que a DIC, para além de se apresentar efetivamente como um método de teste não destrutivo, promoveu uma análise global e, portanto, mais eficaz que os métodos pontuais, capaz de oferecer quantitativamente as medições de cada ponto da superfície monitorada durante todo o ensaio experimental. O custo computacional foi considerado uma das desvantagens, uma vez que análises de longa duração (tanto em laboratório quanto para verificações *in loco*) podem gerar elevado consumo de tempo e espaço na análise dos dados.

VERSTRYNGE *et al.* (2018) realizaram um amplo estudo investigando a viabilidade do emprego de diferentes sensores de deformação e emissão acústica para monitorar a propagação de fissuras em paredes de alvenaria produzidas em laboratório com tijolos cerâmicos e argamassas de cimento e cal, com um arranjo de ligação Flamengo entre os

<sup>4</sup> LVDT é a sigla, do inglês, utilizada para se referir a Linear Variable Differential Transformer, que é um transdutor elétrico empregado para a medir pontualmente deslocamentos lineares.

blocos. De interesse particular, no que diz respeito ao uso da DIC, a aplicação do usual padrão de manchas na superfície do objeto analisado não foi realizada, considerando que a análise buscava retratar uma alvenaria histórica e, portanto, procedimentos intrusivos deviam ser evitados em respeito a integridade física que se vislumbra ao tratar do patrimônio edificado (CARVALHO, 2014; CHASTRE; LUDOVICO-MARQUES, 2018). A parede foi submetida a carregamentos em um ensaio de flexão em 3 pontos e as imagens para análise de DIC foram adquiridas com o auxílio de duas câmeras CCD de 8 bit equipadas com lentes objetivas com distância focal de 12 mm. Os resultados demonstram claramente a habilidade da DIC – mesmo utilizando apenas a textura original da alvenaria analisada –, em fornecer mapas globais com os campos de deslocamento indicando, qualitativa e quantitativamente, como a parede se movimentava nos planos horizontal (x) e vertical (y) durante o carregamento. Além disso, os campos de deformação obtidos a partir da correlação de imagens elucidaram o processo de fissuração da estrutura ao final do ensaio, sugerindo que a ponta da trinca iniciada atuava como uma articulação ou dobradiça durante a progressão da fissura.

Observa-se que, apesar dos avanços promissores alcançados com a correlação de imagem digital em diversas áreas do conhecimento desde os anos 1980, há poucos estudos que validem a DIC como método não destrutivo de monitoramento do patrimônio histórico e das estruturas civis em geral. No entanto, há uma clara percepção de que a metodologia pode ser aplicada no campo da conservação do patrimônio edificado e que há ainda amplo espaço para os estudos que buscam contribuir para sua efetivação.

Para além disso, compreender o processo de ruptura dos materiais e estruturas é fundamental para a conservação de obras da arquitetura e engenharia contemporânea. Durante a ruptura, o material se danifica devido aos altos níveis de tensão gerados por fissuras conduzindo-o, assim, ao colapso. Como a microestrutura do material afeta este processo é extremamente complexo e, ainda, pouco compreendido. A abordagem apresentada pretende, portanto, enriquecer a análise e discussão sobre os fenômenos envolvidos em patologia das construções usando ferramentas digitais. Deste modo, que dialoguem com a conservação do patrimônio arquitetônico e, ao mesmo tempo, sejam capazes de fornecer parâmetros mecânicos significativos, isto é, mapeando campos de deslocamento, deformação e fraturas nas estruturas avaliadas no edifício. Com a consolidação da metodologia proposta, análises quantitativas e qualitativas dos variados padrões de fissuras registrados no edifício abastecerão dados de informação relevante sobre sua integridade enquanto objeto edificante.

## MÉTODO DE APLICAÇÃO DA CORRELAÇÃO DE IMAGEM DIGITAL

### Princípios

A correlação de imagem digital consiste em medir o movimento de pontos em uma superfície de um material (objeto) provenientes de um determinado carregamento (por exemplo, um esforço mecânico, um gradiente de temperatura ou umidade, entre outros), a partir de imagens. As figuras podem ser em 2 ou 3 dimensões e a escala dependerá, basicamente, do dispositivo de aquisição das imagens determinando o tamanho de pixels, que pode variar da escala nano métrica até a quilométrica. Nesta primeira etapa, em laboratório, as análises são baseadas em imagens 2D, obtidas por uma única câmera fotográfica responsável por coletar imagens da superfície do material estudado, isto é, 2D-DIC (GRABOIS *et al.*, 2018).

O conceito básico da correlação de imagem digital está fundamentado na conservação dos níveis de cinza entre duas imagens: (i) uma imagem em um estado de referência ( $I_0$ ); e (ii) sua consecutiva imagem deformada ( $I_t$ ), conforme ilustrado na Figura 2, que representa esquematicamente o movimento local de um sub trecho de imagem em uma determinada região de interesse (ROI) na superfície analisada. Embora a utilização de imagens a cores seja possível e considerada para novas possibilidades da técnica, usualmente, nas análises por meio de DIC, a imagem digital é representada pelos níveis de cinza em cada pixel em uma superfície previamente beneficiada, o que é comumente realizado com um padrão de manchas randomicamente dispostas em preto e branco a fim de promover alto contraste, assim reduzindo incertezas nas medições dos deslocamentos .

Deste modo, na ausência de ruídos, a conservação dos níveis de cinza lê de acordo com a equação 1 a seguir:

$$I_0(\mathbf{x}) = I_t(\mathbf{x} + \mathbf{u}(\mathbf{x})) \quad (1)$$

Onde  $\mathbf{u}(\mathbf{x})$  denota o campo de deslocamento de cada pixel na posição  $\mathbf{x}$  da imagem.

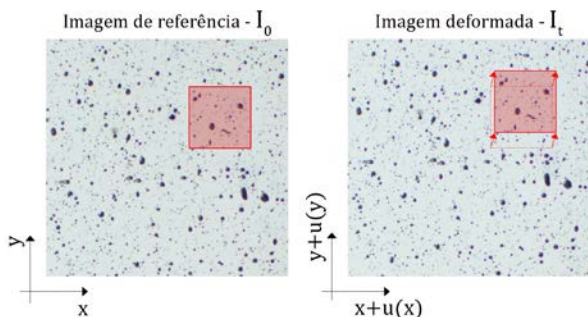


Figura 1 – Esquema de movimento local em uma sub imagem. Onde  $I_0$  é a imagem de referência e  $I_t$  é a imagem deformada em um instante de tempo  $t$ .

Fonte: Elaborado pelo Autor. Acervo do Autor.

No entanto, sempre há ruídos durante a aquisição de imagens, e o campo  $u$  almejado deve minimizar a diferença entre os dois termos acima. Deste modo, é possível escrever como a soma das diferenças dos quadrados ao longo da região de interesse na imagem, de acordo com a equação 2 a seguir:

$$\phi = \sum_{ROI} (I_o(\mathbf{x}) - I_t(\mathbf{x} + \mathbf{u}(\mathbf{x})))^2 \quad (2)$$

Deste modo, o campo de deslocamentos pode ser parametrizado de diversas maneiras.

## **Análise preliminar em laboratório: a escala do material**

### Metodologia de ensaio e aquisição de imagens

Estudos preliminares em materiais têm demonstrado o potencial desta técnica em determinar uma série de parâmetros relativos ao comportamento mecânico de diferentes materiais submetidos a diferentes condições de carregamento, conforme apresentado na seção A Técnica da Correlação de imagem Digital. Nesta seção são apresentados, brevemente, algumas destas possibilidades, que fazem parte dos resultados obtidos pelo autor com a caracterização de materiais ao longo dos últimos cinco anos.

A título de simplificação, considerando o objetivo principal deste capítulo, que é de introdução da metodologia baseada em imagens e de difusão da técnica para a comunidade dedicada aos estudos em conservação preventiva do patrimônio edificado e análise de patologias construtivas, a discussão apresentada nesta seção se restringe a apresentação preliminar dos possíveis resultados obtidos com a DIC. Deste modo, não são discutidos, por exemplo, as condicionantes particulares dos ensaios, as propriedades de fratura obtidas para os materiais, entre outros dados específicos da caracterização dos materiais avaliados.

Os exemplos a seguir retratam as respostas obtidas a partir da correlação de imagens digitais em dois experimentos com materiais submetidos a esforços de tração em ensaios de tenacidade à fratura com amostras de *tapered double cantilever beam* (TDCB), conforme apresentado na imagem da Figura 2 com a configuração do ensaio.

Os materiais em questão e as condições de carregamento do ensaio e são: (i) poli metacrilato de metila, PMMA, popularmente conhecido por acrílico, carregado a uma velocidade de 5  $\mu\text{m/s}$ ; e (ii) uma mistura de pasta de cimento com incorporação de resíduos de tijolos cerâmicos, com taxa de carregamento do ensaio definida em 0,5  $\mu\text{m/s}$ . As imagens foram obtidas a partir de uma câmera com sensor CMOS, a uma taxa de aquisição (*frame rate*) de 1 Hz, isto é, um frame por segundo. O tamanho de pixel corresponde a 0,047 mm para o caso (i) e a 0,035 mm para o caso (ii).

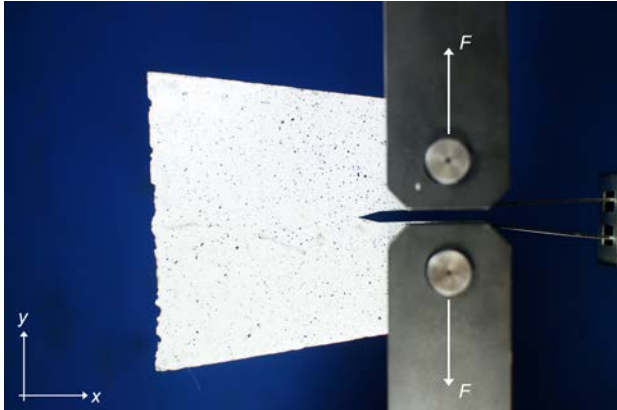


Figura 2 – Configuração do ensaio experimental de tenacidade à fratura em uma amostra de TDCB em pasta de cimento. Destaque para a aplicação do carregamento (Força, F) na amostra, realizada a partir de pinos cilíndricos. A imagem foi obtida no instante final de ensaio, antes da ruptura completa da amostra.

Fonte: Elaborado pelo Autor. Acervo do Autor.

### Resultados preliminares

Em relação ao experimento com a amostra de PMMA, destaca-se, inicialmente, o mapa residual de níveis de cinza entre a primeira e a última imagens obtidas ao longo do ensaio, que foram correlacionadas através da DIC e está apresentada na Figura 3. Este campo residual de níveis de cinza fornece de maneira simplificada uma avaliação qualitativa da correlação entre as duas imagens, e é definido localmente pela expressão  $|\eta(\mathbf{x})=I_t(\mathbf{x})-I_o(\mathbf{x}+\mathbf{u}(\mathbf{x}))|$ .

Observa-se que é possível não apenas a identificação precisa da região fissurada na amostra, como a trajetória de propagação da fissura. Cabe ressaltar que este campo residual pode revelar características particulares, como por exemplo, fissuras muito pequenas, muitas vezes não visíveis a olho nu.

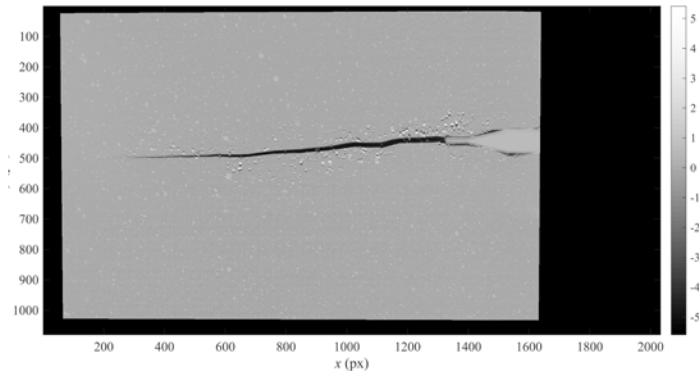


Figura 3 – Mapa residual dos níveis de cinza para a última imagem revelando a trajetória da fissura ao final do ensaio.

Fonte: Elaborado pelo Autor. Acervo do Autor.



Na Figura 4 é apresentado o mapa de campo de deslocamentos verticais, também, comparando a imagem inicial, não deformada, e a última imagem ao final do carregamento no ensaio. É possível observar um gradiente expressivo para os deslocamentos na direção vertical (isto é, na direção Y, do carregamento da amostra), evidenciado por uma clara descontinuidade do campo. Observa-se ainda que a amplitude máxima dos deslocamentos da amostra nesta direção é da ordem 40 pixels (ou 1,9 mm).

Por fim, a Figura 5 apresenta o mapa de campo de deformação. A configuração exibida representa, da mesma maneira que as figuras anteriores, os resultados da última imagem, ao final do carregamento da amostra. O nível máximo de deformações é da ordem de  $3 \times 10^{-1}$ , o que foi determinado por correlação em relação a figura de referência (isto é, na configuração não deformada que antecede o início do ensaio). Apenas uma única microfissura é observada sem ramificações e com propagação retilínea, guiada pelo entalhe da amostra. Deste modo, confirmando a avaliação anterior com o mapa residual de níveis de cinza.

O segundo exemplo apresenta os resultados obtidos para uma amostra de pasta de cimento desenvolvida com a inclusão de resíduos cerâmicos, visando aplicações que minimizem os impactos ambientais de materiais de construção convencionais. Este caso particular, com um material muito frágil, apresenta um cenário desafiador para as análises de DIC, visto que a amplitude dos deslocamentos é muito pequena. Além disso, cabe ressaltar que materiais a base de cimento Portland foram predominantes na construção de edifícios modernistas nacionais – foco do presente trabalho –, e sua caracterização prévia servirá, certamente, como base de dados e informações para a análise dos elementos construtivos do patrimônio moderno edificado.

Inicialmente, o mapa residual de níveis de cinza entre a primeira e a última imagens obtidas ao longo do ensaio, é apresentado na Figura 6. Cabe ressaltar que este mapa, em particular, corresponde a correlação da imagem digital apresentada na Figura 2 – em comparação com a imagem inicial da amostra não carregada –, que não apresenta claramente a fissura na superfície analisada ao final do experimento de fratura. Observa-se, como no exemplo anterior em PMMA, que é possível identificar precisamente a região fissurada na amostra, além da trajetória de propagação da fissura que, neste caso, é tortuosa, não linear e de abertura máxima na ordem de 0,5 pixel (ou 0,0175 mm). Neste exemplo, fica evidente o potencial da DIC, através do campo determinado pela diferença dos níveis de cinza, em revelar detalhes *a priori* invisíveis.

A Figura 7 apresenta o mapa de deformação obtidos no mesmo instante de tempo ( $t = 439$  segundos), exibindo os resultados da última imagem, ao final do carregamento da amostra. De interesse particular, destaca-se o nível máximo de deformações, que é da ordem de  $2 \times 10^{-2}$ , que foi determinado por correlação em relação a figura de

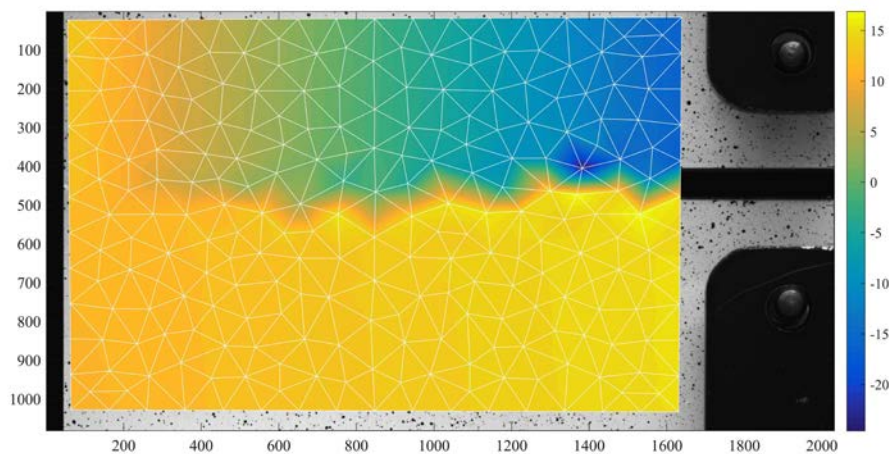


Figura 4 – Mapa com o campo de deslocamentos verticais ( $U_y$ ), em pixel, em amostras de PMMA ao final de um teste de fratura carregado à uma velocidade de  $5 \mu\text{m/s}$ . A imagem deformada é equivalente ao instante de tempo  $t = 350 \text{ s}$ .

Fonte: Elaborado pelo Autor. Acervo do Autor.

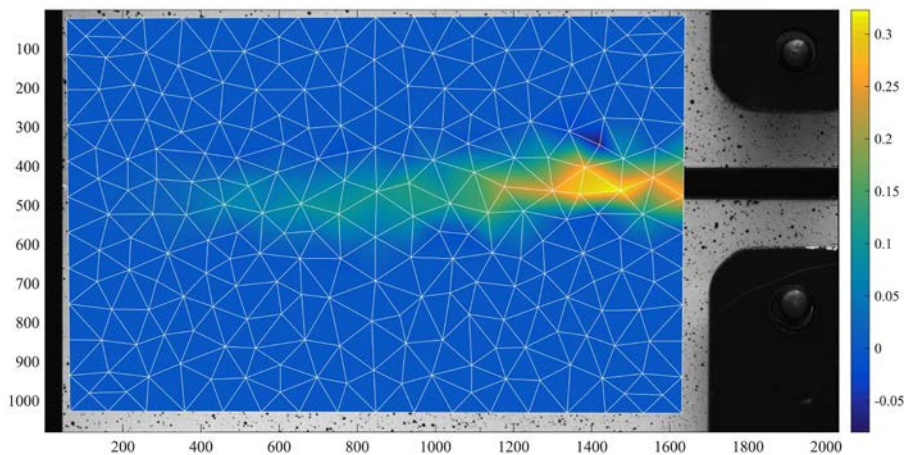


Figura 5 – Campo de deformação em amostras de PMMA ao final de um teste de fratura com carregado à uma velocidade de  $5 \mu\text{m/s}$ . A imagem deformada é equivalente ao instante de tempo  $t = 350 \text{ s}$ .

Fonte: Elaborado pelo Autor. Acervo do Autor.

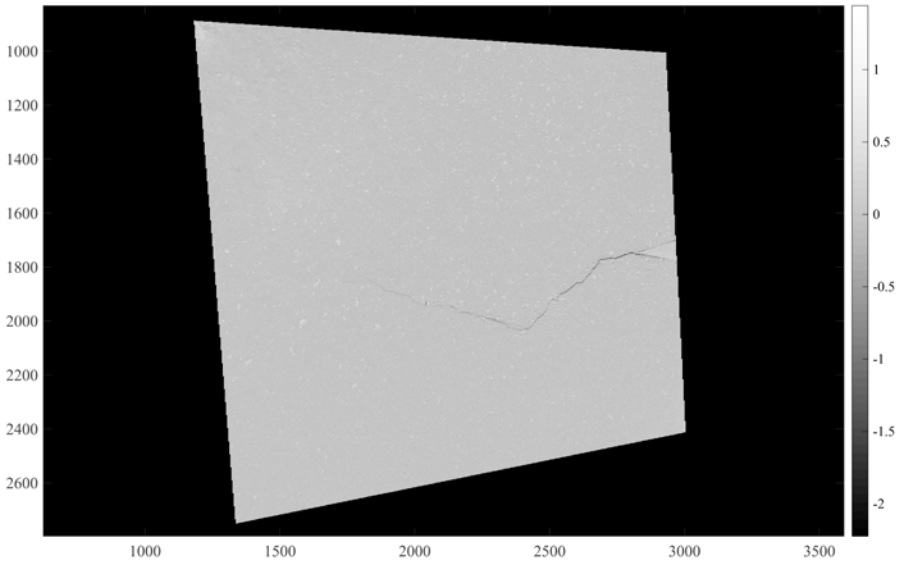


Figura 6 – Mapa residual dos níveis de cinza para a última imagem revelando a trajetória da fissura na amostra à base de cimento ao final do ensaio.

Fonte: Elaborado pelo autor. Acervo do Autor.

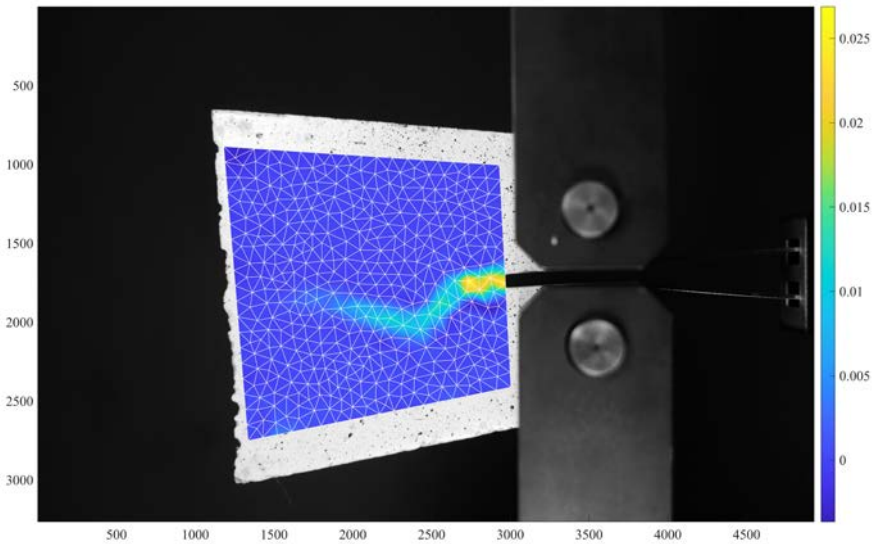


Figura 7 – Campo de deformação em amostras de pasta de cimento com resíduos cerâmicos ao final de um teste de fratura com TDCB carregado à uma velocidade de  $0,5 \mu\text{m/s}$ . A imagem deformada é equivalente ao instante de tempo  $t = 439 \text{ s}$ . Os mapas de deformação foram obtidos usando T3-DIC.

Fonte: Elaborado pelo autor. Acervo do Autor.

referência (isto é, na configuração não deformada que antecede o início do ensaio). Como ilustrado pelo mapa de resíduos, uma única microfissura é observada sem ramificações, entretanto, a hipótese de propagação retilínea, guiada pelo entalhe da amostra TDCB, não se confirmou.

Este estudo, particularmente, representa uma das etapas mais complexas acerca das análises de fratura em materiais frágeis, como os concretos e materiais à base de cimento, usualmente empregados nos sistemas construtivos e estruturais do patrimônio moderno edificado. Além de demonstrar a necessidade de novos experimentos e observações aprofundadas acerca do tema em questão, a gama de materiais e sintomas patológicos encontrados no exemplar do patrimônio estudado no presente projeto se apresentam como um ambiente desafiador para a aplicação e validação da metodologia DIC como ferramenta de verificação de sintomas patológicos e monitoramento preventivo das edificações.

## **ESTUDO DE CASO NO PATRIMÔNIO DO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA**

De interesse particular ao presente trabalho, o edifício projetado por Jorge Machado Moreira em 1957 recebeu o nome do arquiteto que o projetou em 2016, quando se iniciaram os processos de seu tombamento temporário pelo Instituto Estadual do Patrimônio Cultural (INEPAC) e pelo município do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2016). Teve seu projeto arquitetônico premiado na IV bienal de São Paulo e projeto estrutural elaborado pelo Professor e pesquisador da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Fernando Lobo Carneiro. Conforme apontado anteriormente (ver seção 2 deste capítulo), este exemplar da arquitetura moderna encontra-se em situação alarmante no que diz respeito às suas condições de saúde estrutural e de conservação do patrimônio.

A seguir, a última seção deste capítulo apresenta uma visão pontual do estágio atual da fachada sudeste do bloco A do edifício JMM, que apresenta uma diversidade de sintomas patológicos de diferentes níveis de gravidade em relação às condições de integridade do patrimônio. Deste modo, é cenário instigante para a aplicação da metodologia proposta baseada em imagens, para além do ambiente capaz de ilustrar globalmente o panorama geral das condições atuais do edifício. A Figura 8 apresenta uma vista geral da fachada acompanhada de sua localização em relação aos demais blocos e situação do conjunto.

### **Métodos de avaliação inicial e inspeção visual**

A partir da Figura 9 apresenta-se uma série de imagens para ilustrar globalmente algumas das manifestações patológicas em determinados trechos da fachada sudeste

do bloco A, estruturais ou não, que refletem a atualidade da falta de manutenção preventiva do edifício JMM. Na Figura 9, os reflexos do incêndio ocorrido no oitavo andar, em 2016, são ainda notórios. Destaca-se, sobretudo, o fato de quatro anos após a catástrofe, a ausência de atividades de recuperação da fachada na região mais afetada. São evidentes as manchas provocadas nas superfícies dos elementos construtivos, aumento da exposição das armaduras das lajes e a defasagem dos ambientes internos sem suas esquadrias e guarda-corpos nas sacadas.

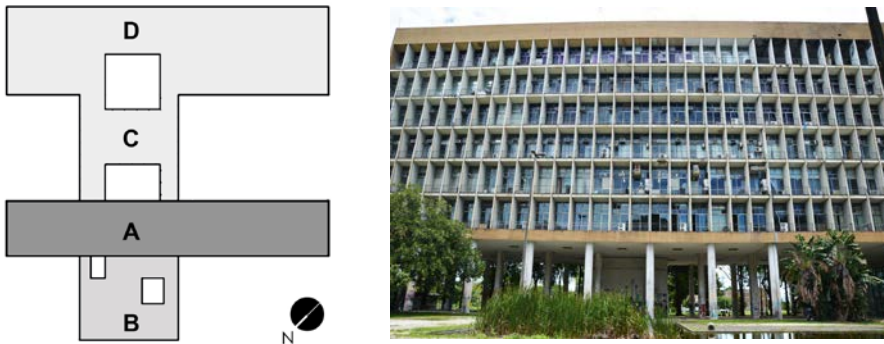


Figura 8 – Identificação da fachada sudeste do bloco A do Edifício JMM (esquerda); panorama da fachada sudeste (direita).

Fonte: Elaborado pelo autor. Acervo do Autor.



Figura 9 – Destaque para os reflexos do incêndio no oitavo andar: manchas nas superfícies das lajes, guarda-corpos destruídos e armaduras de aço expostas.

Fonte: Acervo do Autor.

Em sequência, nas Figuras 10, 11 e 12, há uma série fissuras decorrentes dos mais diversos motivos. Desde o aumento de seção das barras de aço expostas e oxidadas em pilares na fachada até a, aparentemente, simples perda de aderência entre os materiais de revestimento, acabamento e cobrimento dos elementos estruturais como pilares, lajes e vigas. Além disso, sintomas muito graves, do ponto de vista da segurança estrutural, como a flambagem e o rompimento de armaduras de aço dos pilares, demonstram a diversidade e a gravidade que dos sintomas existentes.





Figura 10 – Aumento de seção das barras de aço expostas e oxidadas em pilares na da fachada sudeste do bloco A do edifício JMM.  
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 11 – Flambagem e o rompimento de armaduras de aço dos pilares da fachada sudeste do bloco A, demonstrando a diversidade e a gravidade que dos sintomas patológicos.  
Fonte: Acervo do Autor.

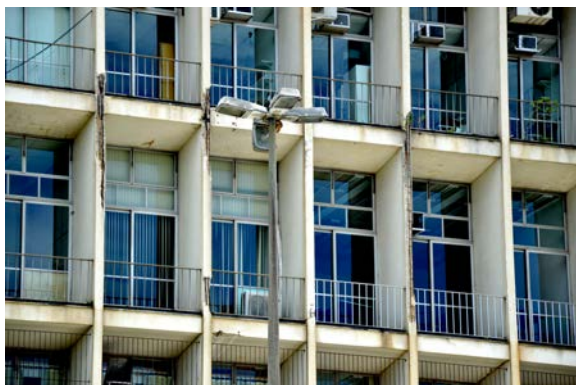


Figura 12 – Perda de aderência entre os materiais de revestimento, acabamento e cobertura em pilares, lajes e vigas da fachada sudeste do bloco A do edifício JMM.  
Fonte: Acervo do Autor.

Completando o espectro de sintomas, podem ser destacados o deslocamento dos revestimentos cerâmicos e da argamassa, conforme evidenciado com a exposição da alvenaria de tijolos cerâmicos na Figura 13; e o efeito da umidade – certamente, em razão da utilização de equipamentos individuais de condicionamento de ar – na perda de cobertura nas lajes das sacadas. Manchas superficiais, perda de revestimento cerâmico e perda considerável de parte do cobrimento são vistos em uma das sacadas fotografadas na Figura 14.

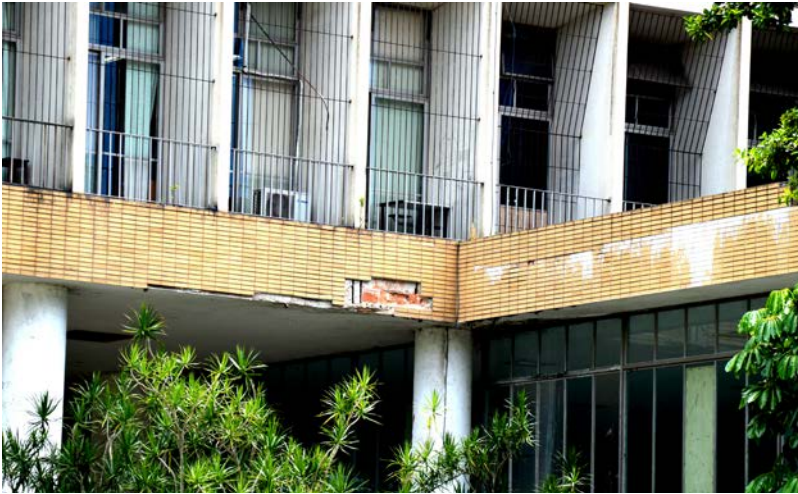


Figura 13 – Deslocamento dos revestimentos e exposição da alvenaria na fachada sudeste do bloco A do edifício JMM.

Fonte: Acervo do Autor.



Figura 14 – Perda de cobertura nas lajes das sacadas, manchas superficiais e perda de revestimento cerâmico na fachada sudeste do bloco A do edifício JMM.

Fonte: Acervo do Autor.



Diante deste cenário, as patologias construtivas apresentadas – apenas na fachada do bloco A, e que se replicam ao longo de todo o edifício e seus elementos –, intrinsicamente, ratificam o caráter emergencial e urgente da necessidade de proposição de soluções de recuperação estrutural e patrimonial, para além do método de monitoramento proposto com a metodologia DIC. E, neste sentido, em propostas apresentadas anteriormente, voltadas para a prática de conservação do patrimônio moderno, o presente autor, em conjunto à uma equipe multidisciplinar da FAU UFRJ, vem sugerindo um programa de atividades para auxiliar no diagnóstico das condições do patrimônio do JMM. Este programa se limitou na determinação das condicionantes para a conservação das fachadas do edifício JMM e consistiu em atividades que envolvem a pesquisa, análise, reconhecimento do local, inspeção e mapeamento da magnitude dos danos das estruturas e materiais, de maneira a viabilizar e tornar útil a adoção das informações obtidas com a correlação de imagem digital.

### **Discussão e perspectivas da pesquisa**

Ambas as etapas apresentadas neste capítulo – a correlação de imagem digital na escala material e a identificação e inspeção visual preliminar do patrimônio – fazem parte de uma abordagem multi e interdisciplinar, com pesquisadores de diferentes campos se articulando em uma série de investidas para promover um plano completo de conservação do patrimônio moderno do edifício JMM, e apresentam um passo inicial fundamental para aplicação adequada da DIC enquanto ferramenta digital de diagnóstico de patologias. Deste modo, o presente capítulo é concluído com uma breve descrição deste programa, indicando o caráter interdisciplinar das abordagens apresentadas até o momento.

### **Plano interdisciplinar de atividades complementares**

A fase inicial de documentação das condições atuais do edifício vem coletando informações úteis para o diagnóstico, que servirá de base em uma possibilidade de futura elaboração de um modelo em *Historic Building Information Model*. Deste modo, acredita-se que intervenções futuras que se façam necessárias, possam ser geridas de maneira mais eficiente. Dentre as técnicas disponíveis para realizar estes desenhos de documentação, devem ser adotadas fotografias áreas de alta definição, fotogrametria das fachadas e determinações métricas *in loco*.

Não menos relevante, a identificação de variáveis climáticas, que são riscos potenciais para a infraestrutura, como temperatura, umidade e condições dos ventos e chuvas predominantes são fundamentais. E, deste modo, determinar os métodos mais adequados e menos intrusivos de inspeção das fachadas e coberturas, os possíveis experimentos no local e a coleta de amostras.

A fase de inspeção vem identificando os danos nas fachadas e coberturas e os sintomas patológicos superficiais, isto é, visíveis, oferecendo informações preliminares para a análise acerca das condições existentes nas fachadas. Conforme apresentado, o trabalho se iniciou com a inspeção visual e registro fotográfico geral do edifício, sobretudo, dos principais sintomas patológicos já claramente manifestados. Em particular, vem se buscando mapear as condições gerais de dano da estrutura de concreto armado, das argamassas de revestimento, das cerâmicas e das esquadrias. A fim de ilustração, esta fase permitiu identificar e localizar a descontinuidade das superfícies, e seus padrões, de acabamento; as condições de aderência entre as argamassas (de revestimento e cobrimento) e a estrutura de concreto ou a alvenaria de vedação; extensão das fissuras propagadas e o dano causado na estrutura de concreto e na alvenaria; cobrimento das armaduras de aço; aderência das pastilhas cerâmicas; condições físicas e funcionamento das esquadrias de aço inoxidável.

Seguindo a análise visual realizada na inspeção, experimentos laboratoriais e in loco devem ser considerados, levando em conta uma avaliação de amostragem que respeite não apenas a dimensão do edifício JMM, mas a reprodutibilidade dos danos encontrados e a viabilidade de realizar toda a campanha experimental.

Por exemplo, a estrutura de concreto deve ser caracterizada no local por meio de métodos não destrutivos, como a determinação da carbonatação com solução de fenolftaleína, esclerometria e ultrassom. Os dados obtidos fornecem informações acerca da resistência do material, falhas no interior de sua microestrutura (por exemplo, microfissuras) e ataque de CO<sub>2</sub>, agente agressivo para as armaduras de aço.

A caracterização das armaduras de aço deve ser realizada por meios não destrutivos, como por exemplo, a análise de perda de seção e a resistividade elétrica. Além disso, o teste de potencial de corrosão é, certamente, uma técnica complementar necessária, no entanto, é um método destrutivo.

A análise da estrutura de concreto, que inclui os acabamentos argamassados, deve ser finalizada com experimentos laboratoriais de amostras de concreto e argamassa extraídas do elemento original. Ensaios de caracterização físico-química e mecânica deve ser adotada de maneira a compreender as propriedades do material existente, assim obtenho informações acuradas sobre as condições atuais da estrutura e dos elementos construtivos do edifício. Estes dados são cruciais para subsidiar um plano de conservação adequado da fachada, que envolva um patrimônio edificado no qual o material fundamental – o concreto armado – apresenta todas as particularidades já mencionadas.

A presente metodologia lida com a determinação quantitativa de informação relevante acerca dos fenômenos patológicos relacionados às deformações sofridas

pelos elementos construtivos do patrimônio do edifício JMM, ao invés de apenas documentar os danos encontrados nos elementos estruturais. Esta fase permitirá identificar e quantificar precisamente os danos existentes e sua extensão, isto é, as patologias estruturais no edifício assim como os processos de deterioração causados por elementos intrusivos. Está é uma ferramenta de caracterização importante para localizar a área danificada, auxiliando a compreensão a extensão do dano na superfície analisada, guiando pesquisas de investigações e propostas de monitoramento. Estas informações podem ser apresentadas a partir de representações em 2D das fachadas e coberturas, acompanhados de um relatório detalhado de identificação e quantificação das patologias, além da magnitude dos danos analisados.

Por fim, este trabalho interdisciplinar vem buscando implementar ferramentas computacionais baseadas em métodos de medida de campos completos, como as técnicas de correlação de imagem digital – que tem um sólido conhecimento desenvolvido no campo de pesquisas em mecânica experimental – aplicadas em análises qualitativas e quantitativas dos deslocamentos, deformações e propagação de fissuras sofridas ao longo do tempo pelos sistemas estruturais da edificação, suas vedações e acabamentos superficiais. Esta fase representa um avanço tremendo no desenvolvimento de um novo tópico de pesquisa científica no campo da conservação do patrimônio moderno edificado.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente capítulo apresentou uma discussão acerca da possibilidade de inserção de técnicas de correlação de imagens digitais como meio inovador para o diagnóstico de patologias construtivas do patrimônio edificado. A partir de uma abordagem interdisciplinar, foram discutidos desde aspectos relevantes ao patrimônio moderno do edifício JMM, suas condições atuais, as consequências da ausência de um plano de monitoramento preventivo, uma breve proposta para um completo diagnóstico da fachada e, por fim, os avanços que podem ser alcançados com a utilização de tecnologias digitais com imagem.

Os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais foram capazes de caracterizar o comportamento mecânico de diferentes tipos de materiais frágeis, monitorando globalmente as deformações sofridas e a propagação de fissuras. Deste modo, criando uma base de informações promissoras para aplicação da DIC em estruturas onde o concreto e os materiais a base de cimento são predominantes. Além disso, a metodologia DIC proposta, pautada em meios digitais – amplamente consolidada no campo da mecânica experimental – apresenta-se, também, como um instrumento potencial para aplicação em cenários emergências e de crise, como por

exemplo a atual pandemia da COVID-19, uma vez que é possível monitorar a edificação remotamente e em tempo real, ou mesmo analisando as imagens a posteriori.

A etapa de inspeção visual apresentou objetivamente o estágio avançado em que se encontram diversos sintomas patológicos na fachada do bloco A do Edifício JMM, e que se multiplicam por todo o edifício. Ilustrando, deste modo, não apenas este patrimônio como cenário fértil para a experimentação e aplicação do método de monitoramento proposto a partir da DIC, mas, sobretudo, a urgência na proposição de soluções de recuperação estrutural e patrimonial desta obra.

Por fim, acredita-se que a ampliação dos experimentos, isto é, uma correlação direta entre os ensaios laboratoriais e os sintomas diagnosticados *in loco*, e verificações para utilização da metodologia DIC na escala do ambiente construído e a maior inter-relação com as diferentes disciplinas envolvidas na preservação do patrimônio edificado, possibilite a continuidade da validação da correlação de imagem digital como alternativa, não destrutiva, eficiente no diagnóstico de evolução dos sintomas patológicos do patrimônio arquitetônico.

## AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao Dr. François Hild, pelas discussões valiosas sobre o tema, e às alunas Samara Ferreira Costa e Ana Carolina Alves Novak, pelo apoio incondicional e dedicação à pesquisa. Este projeto de pesquisa é financiado pela FAPERJ, Edital APQ1/2109 processo nº E-26/210.532/2019.

## REFERÊNCIAS

AMORIM, A. L. *A Documentação arquitetônica como uma atividade multi, inter e transdisciplinar*. Ponte de Acesso, V. 11, nº. 1, p. 61–84, 2017.

Carta de Veneza. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta de Veneza 1964.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf)>. Acesso em: 13.set.2020.

CARVALHO, C. R. *Conservação preventiva de edifícios e sítios históricos: pesquisa e prática*. In: *Revista CPC*, nº. 18, p. 141, 2014.

CARVALHO, C. S. R. DE. *Preservação da arquitetura moderna: edifícios de escritórios construídos no Rio de Janeiro entre 1930 e 1960*. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

CHASTRE, C.; LUDOVICO-MARQUES, M. Nondestructive testing methodology to assess the conservation of historic stone buildings and monuments. In: MAKHLOUF, A. S. H.; ALIOFKHAZRAEI, M. (Eds.). *Handbook of Materials Failure Analysis With Case Studies from the Construction Industries*. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018. p. 255–294.

CHU, T. C.; RANSON, W. F.; SUTTON, M. A. *Applications of digital-image-correlation techniques to experimental mechanics*. *Experimental Mechanics*, V. 25, nº. 3, p. 232–244, 1985.

COLLA, C.; GABRIELLI, E. Photoelasticity and DIC as optical techniques for monitoring masonry specimens under mechanical loads. In: *Journal of Physics: Conference Series*, V. 778, nº. 012003, 2017.

COSTA, S. F. *et al.* EVOLUÇÃO DOS SINTOMAS PATOLÓGICOS NO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA.

CIRMARE 2020. V Congresso Internacional na “Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios”. *Anais...* Rio de Janeiro: NPPG, 2020.

CURT, J. *et al.* Modal analysis of a wind turbine tower by digital image correlation. *Journal of Physics: Conference Series*, V. 1618, n.º. 2, 2020.

DAS, S. *et al.* Elucidating the influences of compliant microscale inclusions on the fracture behavior of cementitious composites. *In: Cement and Concrete Composites*, V. 94, n.º. August, p. 13–23, 2018.

DESTREBECQ, J. F.; TOUSSAINT, E.; FERRIER, E. *Analysis of Cracks and Deformations in a Full Scale Reinforced Concrete Beam Using a Digital Image Correlation Technique. Experimental Mechanics*, V. 51, n.º. 6, p. 879–890, 2011.

DUFOUR, J. E. *et al.* On the analysis of canvas wrinkling via isogeometric stereocorrelation. *In: International Journal of Solids and Structures*, V. 154, p. 114–123, 2018.

GHORBANI, R.; MATTA, F.; SUTTON, M. A. Full-Field Deformation Measurement and Crack Mapping on Confined Masonry Walls Using Digital Image Correlation. *Experimental Mechanics*, V. 55, n.º. 1, p. 227–243, 2015.

GRABOIS, T. M. *et al.* On the validation of integrated DIC with tapered double cantilever beam tests. *In: Engineering Fracture Mechanics*, V. 191, p. 311–323, 15.mar.2018.

KUJAWIŃSKA, M. *et al.* Remote online monitoring and measuring system for civil engineering structures. *Proc. of SPIE. Anais...*2009.

KÜNTZ, M. *et al.* Digital image correlation analysis of crack behavior in a reinforced concrete beam during a load test. *In: Canadian Journal of Civil Engineering*, V. 33, n.º. 11, p. 1418–1425, 2006.

LENNARD, F.; DULIEU-BARTON, J. M. Quantifying and visualizing change: Strain monitoring of tapestries with digital image correlation. *In: Studies in Conservation*, V. 59, n.º. 4, p. 241–255, 2014.

MALESA, M. *et al.* Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique. 14th *In: International Conference on Experimental Mechanics. Anais...*2010.

MATHIEU, F.; HILD, F.; ROUX, S. Identification of a crack propagation law by digital image correlation. *In: International Journal of Fatigue*, V. 36, p. 146–154, 2012.

PIEKARCZUK, A. *et al.* Application of Hybrid FEM-DIC Method for Assessment of Low Cost Building Structures. *In: Experimental Mechanics*, V. 52, n.º. 9, p. 1297–1311, 2012.

RÉTHORÉ, J.; ROUX, S.; HILD, F. An extended and integrated digital image correlation technique applied to the analysis of fractured samples. The equilibrium gap method as a mechanical filter. *In: European Journal of Computational Mechanics*, V. 18, n.º. 3–4, p. 285–306, 2009.

RIO DE JANEIRO. Determina o tombamento provisório do Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU – da UFRJ situado na Av. Pedro Calmon, n.º. 550, Cidade Universitária, Rio de JaneiroBrasil. *Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro*, 2016.

SILVOSO, M. M.; VARELLA, W. D. PATOLOGIAS DO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA – FAU/REITORIA DA UFRJ. 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios (PATORREB 2018). *Anais...*Rio de Janeiro: Poli UFRJ, 2018.

SUTTON, M. *et al.* Application of an optimized digital correlation method to planar deformation analysis. *In: Image and Vision Computing*, V. 4, n.º. 3, p. 143–150, 1986.

VARGAS, R. *et al.* Analysis of wedge splitting test on refractory castable via integrated DIC. *In: Journal of the European Ceramic Society*, V. 36, n.º. 16, p. 4309–4317, 2016.

VERSTRYNGE, E. *et al.* Crack monitoring in historical masonry with distributed strain and acoustic emission sensing techniques. *Construction and Building Materials*, V. 162, p. 898–907, 2018.





## PARTE II





**SUSTENTABILIDADE E  
MATERIALIDADE NA PRODUÇÃO  
DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**





---

# **Arquitetura de emergência**

Luis Manoel Pelmeiro

Graziela Bernardo

---

**D**esde tiempos inmemorables, el hombre ha sufrido los achaques de la naturaleza como si se tratase de una visita inesperada y nunca bien recibida. Para estas situaciones siempre se confiaba en la fortuna, así como en la esperanza en que pasara cuanto antes, causando el menor daño posible y, egoístamente, pensando en la supervivencia de uno mismo y los suyos. La suerte del hombre, en estos casos, dependía de las decisiones de una naturaleza que no se regía por ningún criterio, no seguía ninguna norma. Los elementos amenazaban sobre el débil dominio que el hombre tenía sobre la superficie del planeta.

En pleno siglo XXI, donde poco o nada queda por responder, nadie puede vaticinar donde está el peligro inminente, donde recaerá toda la fuerza de una naturaleza que puede ser una fuerza devastadora como así lo ha demostrado en tantos ejemplos por desgracia vividos y otros que seguramente llegarán. Hoy en día estamos, seguimos totalmente expuestos e indefensos, pero aún así, hemos sido capaces de agravar los efectos nocivos de la naturaleza con nuestras políticas abusivas y poco ambientales.

Así pues, el mundo contemporáneo está siendo testigo del preocupante aumento en la frecuencia y severidad de los desastres y las amenazas naturales, debido en gran parte a factores relacionados con el cambio climático, causado y consensuado por las sociedades más desarrolladas y avanzadas del planeta. En los últimos años nos hemos familiarizado con términos como, por ejemplo, efecto invernadero, deshielo, crecida del nivel del mar, aumento de la temperatura de los océanos, destrucción de la capa de ozono, emisiones de CO2..., términos asociados a una situación, ya en *vox populi*, conocida como cambio climático. Una situación sobrevenida, según los científicos causante de parte de las

desgracias y catástrofes naturales que nos asolan y que los gobiernos tratan de abordar con ciertos fracasos y por lo tanto escasos resultados. En definitiva, una época de abusos, excesos y explotación masiva de los recursos que la Tierra nos ofrece, asumiendo que los principales perjudicados a corto y largo plazo seremos los propios habitantes de la misma.

Hasta la fecha, ante una catástrofe de esta índole u otras provenientes de conflictos bélicos, la solidaridad mostrada por el conjunto internacional ha sido admirable, y aunque todavía queda mucho por hacer, se acude de inmediato al socorro de todos los afectados con los medios de los que se disponen según las posibilidades de cada país.

La destrucción de millones de hogares, suceso acontecido durante los últimos años supone nuestra mayor preocupación. La situación que viven los afectados bajo un techo o cobijo provisional no es digna, (ni tampoco justa).

La furia de la naturaleza les deja sin nada, sin pertenencias y por lo tanto sin recuerdos, sin un techo, sin ánimo de seguir...para empezar de cero.

Sin ánimo de resultar sensacionalistas, la Declaración Universal de los Derechos Humanos establece en su artículo 25: *Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios [...]*.<sup>1</sup>

Catástrofes de tipo sisma, tsunami, inundación o huracán (entre otros), convertía en nada la mayoría de estos derechos básicos. Una vivienda digna, en la que millones de afectados pudieran recuperar la sonrisa, un hogar donde volver a empezar con unas mínimas condiciones de higiene y espacio son las premisas, que, como objetivo previo se plantea en este estudio: **adecuar una vivienda a la situación que se vive inmediatamente después de un desastre. Una vivienda de emergencia que ofrezca unas condiciones de respeto y permanencia sin caer en la idea general de ser una solución provisional o temporal.**

Desde la preocupación y analizando la situación actual, nos gustaría entender las causas que, en parte, comparten la mayoría de los desastres naturales. La generalizada aprensión mundial después de años trágicos (por ejemplo 2010, 2011), requiere que estudiemos las modificaciones del clima que sin remedio se vienen sucediendo.

En la actualidad, es un hecho científico que el clima global está siendo alterado significativamente en el presente siglo, como resultado del aumento de concentraciones

---

<sup>1</sup> La Declaración Universal de los Derechos Humanos es un documento. Elaborada por representantes de todas las regiones del mundo con diferentes antecedentes jurídicos y culturales, la Declaración fue proclamada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en París, el 10 de diciembre de 1948 en su Resolución 217 A (III), como un ideal común para todos los pueblos y naciones. La Declaración establece, por primera vez, los derechos humanos fundamentales que deben protegerse en el mundo entero y ha sido traducida a más de 500 idiomas.

de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, etc. Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5 °C (el llamado Efecto Invernadero y Calentamiento Global). Como respuesta a esto, se estima que los parámetros de precipitación global y corrientes marinas también se alteren. Aunque existe un acuerdo general sobre estas conclusiones, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y las tasas de estos cambios a escalas regionales. Asociados a estos potenciales cambios, habrá grandes alteraciones en los ecosistemas globales. El calentamiento global y el cambio climático, junto con la búsqueda de un desarrollo sostenible, son los asuntos que generan más reuniones y eventos a nivel internacional y reúnen a gran número de líderes políticos. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, lo define como el cambio originado en el clima directa o indirectamente por la acción del hombre y que se suma a la variabilidad natural del clima. Tal y como se recoge en esta definición, el clima sufre una variabilidad natural, pero es mucho más lenta y progresiva que la que está ocurriendo hoy en día.

### **UNA MIRADA AL FUTURO. AGENDA 2030**

Ya queda lejos cuando en el año 1997, en la ciudad japonesa de Kyoto, los gobiernos dieron un primer paso aprobando el famoso Protocolo de Kyoto. El tratado comprometía a los países industrializados, (responsables de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero), a reducir o limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero y a alcanzar ciertos objetivos en materia de emisiones para años futuros. Los países industrializados que se adhirieron y ratificaron el protocolo tenían fijados los objetivos en la reducción de los gases de efecto invernadero comprendida entre el 5 y el 8 % con respecto a los niveles de 1990, pero, lamentablemente como se ha podido comprobar después de muchos años, los resultados no fueron todo lo bueno que se esperaban, quedando en una disminución discreta, aunque sí se llegó a ciertos niveles de concienciación muy importantes a nivel social y popular como por ejemplo el uso de la bicicleta con mucha más intensidad en muchos países u otras estrategias afines.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es una hoja de ruta para el desarrollo firmada por los Estados miembros de la ONU en 2015. Involucra a toda la comunidad internacional, incluyendo a la propia Organización de las Naciones Unidas y sus agencias, así como otras entidades públicas y privadas como empresas, universidades o Gobiernos municipales y regionales.

La Agenda 2030 es la sucesora de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), firmados en el año 2000 también en el marco de la ONU y centrados en combatir la pobreza en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, los ODM tenían una vigencia

de quince años, por lo que se hizo necesaria una actualización de cara a 2015. Esta nueva agenda, la Agenda 2030, se negoció entre países pero también incluyó consultas a actores sociales, académicos y ciudadanos anónimos. Además, amplió los horizontes de los antiguos ODM: combinó su enfoque en erradicar la pobreza con la preocupación por el medioambiente, y se diseñó como una agenda universal, y no solo para países en desarrollo, bajo el lema “*no dejar a nadie atrás*”. Esta nueva hoja de ruta se estructura en diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con un total de 169 metas, como por ejemplo el fin de la pobreza extrema ejemplo cuantificada en la proporción de población mundial que vive por debajo del umbral de pobreza desglosada por sexo, edad, situación laboral y ubicación geográfica.

Por lo tanto, aquí tenemos un nuevo reto de futuro inmediato, nunca mejor dicho, ya que los avances hasta ahora, aunque han sido significativos, no han sido suficientes, entre otras cuestiones porque la población mundial ha crecido de forma desorbitada y las medidas ya tienen un carácter de urgencia máxima. No obstante, queremos focalizar y volver al tema que en este estudio nos ocupa acerca de la **arquitectura de emergencia**.

Hablando de los desastres naturales y el cambio climático, conviene recordar los puntos críticos a tener en cuenta acerca de la estrategia apenas citada, de los cuales destacamos algunos de los más influyentes contra el cambio climático y que se resumen en:

1. Eliminar los combustibles fósiles. Lo primero es suspender el uso de carbón, petróleo e incluso gas natural. No hay duda de que el petróleo es el lubricante de la economía mundial; especialmente para el transporte, la producción de plásticos y la generación de energía; pero se pueden implementar algunas medidas alternas, tales como los plásticos derivados de productos vegetales, el biodiesel y la energía eólica.
2. Mejorar la infraestructura. Desde luego que la construcción de edificios nuevos implica el uso de grandes cantidades de cemento, una fuente importante de emisiones de GEI, (Gases Efecto Invernadero), pero edificaciones más eficientes en el uso de la energía (con mejor aislamiento térmico en países fríos o mejor ventilados en el trópico) ayudarían a cortar sus emisiones.
3. El transporte es una de las principales fuentes de GEI. Medidas como vivir más cerca del lugar de trabajo, caminar, usar bicicleta o medios de transporte masivo (o trabajar en casa), serían de mucha utilidad para su reducción.
4. Consumir menos. Comprar menos significa menor presión sobre los recursos naturales y menor uso de los combustibles fósiles utilizados de alguna manera en su proceso de producción. Piense verde y cuando sea posible utilice productos reciclados.

5. Ser eficientes. Haga más con menos, ya sea acelerando menos su vehículo (cuando no sea estrictamente necesario hacerlo) o apagando las luces cuando realmente no se necesitan. También utilizando electrodomésticos que gasten menos energía. Abrir las ventanas puede ahorrar la energía utilizada por ventiladores o equipos de aire acondicionado.
6. Comer mejor (¿volverse vegetarianos?). Las vacas son una de las principales fuentes de metano (un GEI más poderoso que el CO<sub>2</sub>), consumen más alimento del que producen, y ocupan miles de millones de hectáreas en todo el mundo que podrían utilizarse mejor cultivando alimentos más sanos.
7. No cortar más árboles. Cada año se pierden millones de hectáreas en bosques. Y se calcula que la industria maderera aporta anualmente a la atmósfera 1.500 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (algo así como el 20% de todas las emisiones de GI producidas por los seres humanos).
8. Habituar a desconectar nuestros aparatos domésticos. Aunque no lo crea, gran parte de la factura que usted paga por energía tiene que ver con el consumo que sus electrodomésticos generan cuando están apagados (pero no desconectados). Otra medida de gran valor es utilizar bombillos ahorradores de energía.
9. Reemplazar los combustibles fósiles. Los vehículos híbridos (que utilizan biodiesel y energía eléctrica en lugar de gasolina) parecen ser la mejor alternativa en el corto plazo para cumplir este propósito. Se necesitan soluciones radicales para revertir el cambio climático. Entre ellas se podría intentar la liberación de partículas de sulfatos (tal como lo hacen las erupciones volcánicas), para bloquear la luz del Sol, cubrir porciones de nuestro planeta con películas reflectoras de la luz solar (o en su defecto poner en órbita millones de espejos que cumplan la misma función) y fertilizar los océanos con hierro y otros nutrientes para estimular al plancton a absorber más dióxido de carbono.
10. Concienciación social. Desde las organizaciones ecologistas más importantes se lleva una política agresiva de publicidad. Con este propósito pretenden llegar a todos los hogares con su mensaje, boicoteando grandes eventos y arriesgando su situación para intentar impedir la mala gestión de los recursos y la destrucción del medio ambiente. Greenpeace abandera el movimiento desde todas las partes del mundo.

## **DESASTRES NATURALES. CAUSAS DE LOS MISMOS**

Los desastres naturales, como se citaba al inicio, son fenómenos de la naturaleza que suceden impredeciblemente. En muchas ocasiones provocando muerte y destrucción. Un movimiento sísmico, un huracán o cualquier otro fenómeno extremo de la naturaleza

se convierte en desastre o catástrofe cuando ocasiona pérdidas humanas o económicas. Es decir, se denomina “Desastre Natural” sólo cuando el problema social o económico es detonado por un fenómeno de la naturaleza. Un peligro latente o riesgo natural se convierte en desastre si ocurre donde vive gente.

Los desastres naturales es un tema que actualmente se hace más común y que, a pesar de que el mundo ya los ha vivido en diversas ocasiones, sigue sin estar preparado y sin darle la importancia debida para hacer frente a una situación que supone la pérdida de vidas humanas, recursos naturales y posterior ruina económica. A lo largo de los años los desastres naturales han escrito las páginas más tristes de la historia de muchos países que se han visto afectados por la fuerza de los elementos en mayor o menor medida.

El mundo está siendo testigo del alarmante aumento en la frecuencia y severidad de estas catástrofes, muestra de ello, los preocupantes datos recogidos del año 2010, un año que será recordado por las cuantiosas pérdidas humanas y económicas.

El universo está en constante movimiento, y la Tierra no es la excepción, por lo que, desde sus orígenes, nuestro planeta ha sufrido diversos cambios que han afectado su estructura, su clima y sus habitantes. Entre los agentes de cambio más comunes nos encontramos el movimiento de las placas tectónicas de la Tierra y el incremento o decremento natural de la cantidad de dióxido de carbono.

En relación con el movimiento de las placas tectónicas, lo que éstas causan básicamente es que los continentes y los océanos estén continuamente cambiando de forma y de posición, lo que a su vez afecta al clima ya que, dependiendo del acercamiento o alejamiento de los continentes a los polos, la temperatura tiende a ser más elevada o a ser más baja. Otro fenómeno que es consecuencia del movimiento de las placas tectónicas es la separación de los continentes y la creación de nuevas montañas, cañones, islas, montañas submarinas llamadas dorsales, volcanes, ... además de la repentina aparición de terremotos y tsunamis, consecuencia directa de estos desplazamientos.

En cuanto a la cantidad de dióxido de carbono, éste es capaz de retener el calor por lo que juega un papel importante en la regulación de la temperatura global, si este aumenta, la Tierra va a tener un clima más cálido y viceversa. Sin intervención de los seres humanos, nuestro planeta es capaz de regular la cantidad de dióxido que se encuentra en él, y de esta manera poder seguir alojando seres vivos.

La Tierra por si sola produce grandes cantidades de dióxido de carbono debido principalmente a las erupciones volcánicas, pero también tiene la capacidad de controlarlas, en cambio, gracias al uso de diversos contaminantes, las actividades del ser humano han favorecido al aumento del dióxido de carbono en el ambiente, sobrepasando



de esta manera la capacidad de regulación que posee nuestro planeta y por lo tanto ayudando al calentamiento global. Contaminación y calentamiento global provocado por el hombre y que diversas investigaciones relacionan directamente este hecho con la formación de catástrofes naturales en todo el planeta.

## **CONSECUENCIAS DE LOS DESASTRES NATURALES**

Así como hay causas, los efectos de un desastre natural son aún más importantes, presentan los daños irreversibles ante un fenómeno. A pesar de la innumerable tecnología que el ser humano ha sido capaz de desarrollar a lo largo de su historia, sigue siendo completamente vulnerable a los desastres naturales, ya que, debido a su magnitud, cada vez que ocurren, se pierden gran cantidad de recursos tanto humanos como económicos y materiales que en ocasiones, pueden ser totalmente irrecuperables para los países afectados.

Es necesario que las personas conozcan lo que ocurre en diferentes partes del mundo, que sean conscientes de lo que ocasiona un desastre natural y lo que lo provoca, ya que esto repercute en la población de manera material y económica, en cuestiones naturales, es decir, recursos, y, sobre todo, en términos de vidas humanas.

Pero estos datos son difíciles de reunir en el período inmediatamente posterior al desastre, especialmente si no existe una referencia exacta anterior. Más difícil aún es estimar las repercusiones a largo plazo, las consecuencias de la emigración o reasentamiento, o la cantidad de personas que sufrirán repercusiones en materia de salud y educación.

Así pues, los desastres pueden tener consecuencias tardías, es decir que sólo se pueden evaluar a lo largo de varios años. Una sequía o una inundación pueden afectar la economía de la región o de un país de manera tal que repercute en la calidad de vida y en la salud de su población durante varios años posteriores o incluso décadas.

### **Efectos socioculturales**

Los efectos socioculturales de los desastres naturales están relacionados con los seres humanos. Los recuentos de los daños después de una catástrofe arrojan cifras más que preocupantes de muertos, heridos y desaparecidos, no tan solo durante el desastre natural, sino también después de que éste ocurre. El número de afectados va a depender de la magnitud del desastre y al mismo tiempo del lugar en el que suceda. Todo desastre que afecte alguna zona poblada, afecta el estilo de vida de las personas que habitan en el mismo. Seres humanos que pierden a sus familiares y amigos, sus hogares y sus recuerdos. “Unas 373 catástrofes naturales causaron la muerte de más de 296.800 personas en el año 2010 y afectaron a cerca de 207 millones más”

## **DATOS DEL CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA EPIDEMIOLOGÍA DE LOS DESASTRES**

### **Efectos económicos**

Las pérdidas económicas causadas por los desastres naturales son siempre uno de los primeros efectos en notarse. Al parecer, conforme pasan los años, los desastres naturales van aumentando su intensidad y destrucción, dando como resultado un aumento en las pérdidas económicas de cada desastre, causando las mayores pérdidas huracanes y terremotos.

El mayor problema no es la pérdida de dinero en sí, sino la desproporción en la que los países se ven afectados respecto a su producto interno bruto, ya que los países en desarrollo sufren más las bajas que los países ricos. Esto hace vulnerables a las entidades en vías de desarrollo, exponiéndolos a la creciente pobreza.

En el momento en el que surge un fenómeno natural, dependiendo de la magnitud y del lugar en donde este azote, los agravios económicos pueden ser devastadores. La pérdida en infraestructuras, agricultura, así como los cuantiosos daños irreversibles en el medio ambiente afecta los estamentos productivos de los territorios golpeados. Todo esto constituye un obstáculo para el desarrollo económico y social de la región, especialmente en los países en desarrollo o lento desarrollo.

### **Efectos políticos**

Los efectos políticos de los desastres naturales toman lugar cuando el gobierno del país afectado tiene que aportar la cantidad de dinero necesaria para restaurar lo dañado por la catástrofe. Razón por la cual a los países del tercer mundo les cuesta aún más sobreponerse a un desastre natural que a un país del primer mundo. Los gobiernos de los países tercermundistas no cuentan con los recursos necesarios para poder sacar a sus países respectivos adelante. Aunque en ocasiones, los países más ricos, son motivo de polémica en cuanto a la inversión realizada en la reconstrucción del desastre, como ya sucedió en E.E.U.U tras el paso del huracán Katrina que arrasó la ciudad de Nueva Orleans dejando más de 1 millón de afectados.

### **Recuperación como labor objetiva y urgente**

Un desastre de esta magnitud conlleva un largo y costoso proceso de recuperación. Incluso en países ricos y preparados, (citemos de nuevo a EEUU), los efectos de las catástrofes naturales tardan años en superarse. Japón, uno de los países más ricos y Haití, uno de los más pobres, pero los dos, se enfrentan al mismo reto: tratar de recuperar una normalidad, que casi con toda seguridad nunca será como fue.

Una de las causas más importantes de la lentitud en el proceso de recuperación y reconstrucción de los países en desarrollo y subdesarrollados después de un desastre, es debida a que no cuentan con un alto porcentaje de bienes asegurados como sucede en los países desarrollados, donde la vuelta a la normalidad se sucede con, digamos una mayor “facilidad”.

Los propios afectados son los que deben reconstruir sus vidas. Muchos de ellos deben empezar de cero, habiendo perdido a sus familias, amigos y sus bienes materiales más preciados y de primera necesidad. Nunca podrían conseguirlo sin volver a un hogar en el que vivir, aunque a menudo no será su habitat original. Todo cambiará cuando los niños vuelvan al colegio, se reciba atención sanitaria en espacios normalizados, no haya escasez de agua ni de alimentos y se supere la pérdida de familiares.

Las víctimas, sin llegar a olvidar, intentarán superar todas las adversidades y para esto, no sólo necesitarán ayuda material sino también apoyo psicológico. Los estudios demuestran que tras una tragedia, aparece un elevado aumento de casos de estados depresivos, estrés, problemas de memoria, personas con problemas relacionados con el consumo de alcohol y drogas, e incluso un preocupante incremento de la tasa de suicidios.

### **Contrastes no solo geográficos**

Anteriormente hemos hablado sobre la contextualización de los refugiados, comentando sus puntos en común. Dichos puntos, pueden no tener ninguna aplicación práctica cuando ocurren cosas como la que vamos a comentar a continuación. En el ejemplo siguiente se reflejan los contrastes entre diferentes zonas, relativos al nivel de desarrollo de cada país. En primer lugar, algunos datos simples:

El terremoto de Haití fue de 7,0 grados en la escala de magnitud y se produjo a una profundidad de 8,1 kilómetros. El terremoto de Japón fue de 9,0 en la escala de magnitud y se produjo a una profundidad de 19,9 kilómetros bajo el lecho marino. Ambos sismos ocurrieron durante la tarde. Si bien las cualidades sísmicas son comparables, el efecto de los terremotos en Haití y Japón fueron significativamente diferentes.

La segunda diferencia importante se refiere a las estrategias de gobernanza de Japón frente a Haití. Los japoneses tienen una larga historia de terremotos y tsunamis y el gobierno desde hace mucho tiempo ha establecido directrices nacionales para la calidad de construcción de inmuebles. Japón es una nación rica y el gobierno tiene la influencia y el poder para hacer cumplir estas regulaciones. Por lo tanto, el número relativo de los edificios seriamente dañados o destruidos por el terremoto en Japón fue bajo. Por otra parte, en el terremoto en Haití fueron inmediatamente dañadas y destruidas un gran número de estructuras habitadas. El gobierno haitiano nunca antes había cumplido con las normas de construcción antisísmicas. En Haití, la calidad de

la construcción fue una fuente importante de accidentes, ya que sólo un puñado de personas murió a manos de un pequeño tsunami. Mientras que el número de muertos por el terremoto y el tsunami en Japón sigue siendo desconocido, se estima que entre 10.000 y 20.000. El número de personas fallecidas por los edificios que se derrumbaron en Haití está por 300.000.

La tercera principal diferencia se refiere a las complicaciones causadas por los accidentes nucleares en Japón. Haití no tiene un problema similar. La historia nuclear en Japón todavía se está desarrollando y nadie sabe aún la magnitud del impacto a largo plazo en el pueblo japonés y el medio ambiente.

Las consecuencias a corto plazo de los accidentes nucleares en Japón tienen un efecto enorme en los esfuerzos para responder a las zonas afectadas por el tsunami en la zona de peligro nuclear. En primer lugar, una de las principales preocupaciones de la situación nuclear es que el material radiactivo en ambiente circula a la deriva continental en forma de una nube de vapor o humo.

## ARQUITECTURA DE EMERGENCIA. VIVIENDA 24

Así pues, en este contexto que nos ocupa, pondremos el foco en los afectados y la pérdida de sus viviendas.

Es bien sabido que, (por desgracia), las viviendas espontáneas o de emergencia que se generan tras una tragedia del tipo que nos ocupa, tienen siempre una acción de **provisionalidad**, pero que, como en muchos casos sucede, esta provisionalidad no se concreta en nada, al contrario, se prolonga en el tiempo y pueden pasar años, incluso asentarse casi de forma definitiva con una población permanente con un origen transitorio o provisional.

Por lo tanto, tenemos que pensar en dos cosas fundamentales:

1. No proyectar ni idear una casa sin recursos, por la mera idea de que es algo provisional, un espacio temporal, algo digamos que, “por corto espacio de tiempo”. De esta forma, podremos pensar en dar a la casa una cierta idea de dignidad.
2. La segunda y no menos importante, sería una cuestión a nivel constructivo: pensar en un diseño sostenible con materiales provenientes del reciclado o bien del reuso. Es en este caso donde lo provisional ligado a la economía tiene más razón de ser.

Para pensar en un proyecto de este tipo podemos fijarnos en arquitectos que plantearon este reto de economía, sostenibilidad, organización y dignidad social. Es inevitable mencionar a Shigeru Ban quien ya en los inicios de su carrera profesional, mostraba su preocupación por reducir, reusar y reciclar recursos, organizando varias exposiciones temporales con un material infrautilizado: utilizando tubos de cartón,

un material barato y fácilmente reutilizable. Con este material fue desarrollando un sistema que, ensamblándolos entre sí, ofrecen una gama de posibilidades que ha ido perfeccionando en cada instalación. Materiales livianos, que además presentan fácil manejo y buenas capacidades estructurales y mecánicas. Además de las exposiciones Ban pensó en las soluciones provisionales habitativas para los campos de refugiados.

Asimismo, estas viviendas deben de presentar, con absoluta lógica, un organigrama modular, ya que esta combinación y repetición de un módulo prediseñado confiere homogeneidad a la construcción en todas sus piezas, además de ser un elemento mucho más fácil de reproducir, es decir, de fabricar, con la ventaja añadida de la fácil sustitución de alguna pieza en el caso de rotura.

Por ello, presentamos una propuesta perfectamente realizable a la cual hemos denominado **Vivienda 24**, la cual nace de la necesidad básica de proporcionar un refugio de forma urgente tras un desastre, buscando dar respuesta a la privación de unas condiciones dignas de habitabilidad, que sin duda antes del seísmo, huracán, inundación, o incluso a un conflicto bélico, tenían.

La primera de nuestras premisas, se basa en la necesidad de crear un espacio donde los desplazados vuelvan a tener un lugar en el que protegerse de las inclemencias del clima. Vivienda24 pretende dignificar la realidad actual del refugio de emergencia (tienda de campaña) y asemejarse a las construcciones definitivas después de un desastre en un país desarrollado. El diseño de la misma parte con la idea de recoger las virtudes de ambas soluciones. Facilidad de construcción y búsqueda de unas mínimas comodidades y condiciones de vida de las nuevas construcciones.

Bajo estas dos ideas, entre otras, comenzamos a desarrollar una propuesta, poniendo especial cuidado en la optimización y estudio del diseño de Vivienda24. Hacer de una idea, una realidad palpable, lejos de suposiciones banales, sino a través de un espacio medible y real con unas condiciones que permitan un desarrollo social y familiar.

### **La vivienda parte desde tres hitos.**

La **modulación** y sus posibles combinaciones para dar forma al espacio de un modo sistemático, ágil y de fácil construcción; **durabilidad**, (sin una precariedad apreciable), la cual suponga un uso prolongado al que, por norma general, no es característica común de los refugios de emergencia, además de la **reutilización** en pos de la sostenibilidad si algún día deja de servir al cometido propuesto.

## El módulo

Trabajar con un módulo en arquitectura quizá sea una de las maneras más antiguas de orden. Las posibilidades que presenta son múltiples, por lo que la funcionalidad de los espacios está íntimamente ligada a una forma de disponer los módulos. Combinación y repetición en el módulo son las características comunes en la construcción de nuestro caso, desde el suelo hasta el techo. Estructura y forma se entienden como un solo cuerpo. El propio conjunto se concibe como un módulo. La sistemática modular creará del mismo modo mediante una repetición modular todo el poblado.

El módulo confiere a la construcción homogeneidad en todas sus piezas con la pretensión de conseguir un diseño de presente y de futuro. Con este objetivo, se subsana cualquier imprevisto de pérdida o rotura de piezas y facilita la sustitución de las mismas, dejando abierta la posibilidad a la rehabilitación en el caso que fuera necesario.

## Fabricación en serie

La idea sería apoyarse en la fabricación repetitiva de un material que cumpla con unos estándares de sostenibilidad y al mismo tiempo de reutilización. La pieza modular forma la mayor parte del conjunto y siguiendo nuestras premisas, nos aporta la durabilidad que deseamos. Se propone la utilización de piezas idénticas o parecidas dimensiones y forma, y que respondan a una sencilla colocación y ensamblaje.

Con una estructura de perfiles y paneles del mismo material, conseguimos la volumetría equitativa de todo el conjunto. El posible desgaste que afectará a la casa con el paso del tiempo, no debería suponer un problema, ya que el material elegido, goza de unas características idóneas para su mantenimiento a la intemperie, además de otras muchas virtudes como su ligereza y versatilidad.

## El espacio

El espacio es una cuestión vital cuyo orden vendrá establecido por la modulación, la cual pasa por individualizar cada modelo de familia, de futuros residentes. Diseñar un hogar en el que la estancia prolongada se haga lo más llevadera posible cumpliendo con ciertos hábitos cotidianos imprescindibles es uno de los factores que condiciona el diseño de Vivienda 24. La amplitud en los módulos permitirá a sus habitantes disfrutar de una vida en familia en el interior, lejos de sentirse atrapados en una caja de pequeñas dimensiones.

Con este fin, se toma un módulo standard de 6 x 4 m, que constituye una superficie total de 24m<sup>2</sup>. En virtud del espacio se establece que, a cada habitante le corresponde una parte proporcional de 6 m<sup>2</sup> (módulo básico para 4 personas).

Es evidente nuestra preocupación por el espacio, así como las normas mínimas que rigen los protocolos de diseño de los refugios de emergencia. En ellos se estipula

una superficie de techo cubierto mínima por habitante de  $3,5\text{m}^2$  que garantizaría unas condiciones mínimas dignas de vida. Con este considerable aumento del derecho particular de superficie, se garantiza cierta comodidad en el interior y les aportará una cierta intimidad necesaria dentro de las posibilidades que este tipo de construcción representa.

Figura 1 – Diferentes combinaciones de adaptación.  
Fonte: Autores.

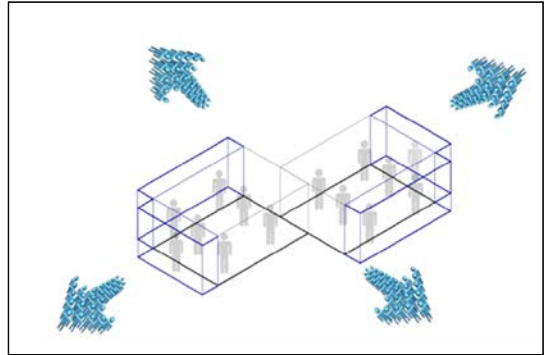
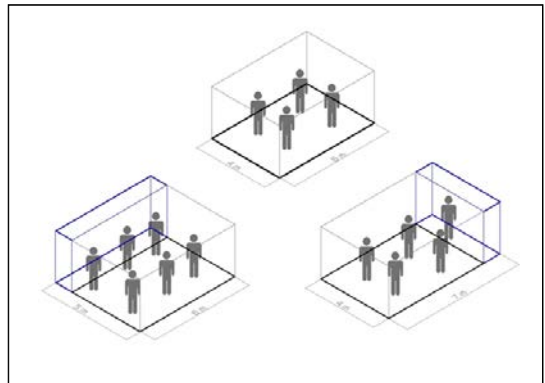


Figura 2 – El modelo puede crecer en todas direcciones.  
Fonte: Autores.



## CRECER EN TODAS DIRECCIONES

La idea de dejar que las familias puedan seguir construyendo sus vidas, en las situaciones actuales se ve condicionada por un problema de espacio. Con el fin de prestar una solución, y gracias a las posibilidades que nos ofrece el diseño modular, diseñamos sus hogares con una visión de futuro y crecimiento con el fin de responder a las familias con mayor número de miembros y prestar una solución de prosperidad a todos aquellos que puedan tener intención de ampliarla. Hecho que evidencia la posibilidad de conseguir un hogar que perdure en el tiempo si no fuera posible encontrar una solución de garantías de habitabilidad.

La ampliación se realiza de la manera más sencilla posible y siguiendo la línea constructiva de los módulos básicos. Añadiendo una pieza estándar más en la dirección que sea necesario conseguiremos la ampliación de tantas maneras como se desee.



## **Materiales**

Asentada presumiblemente sobre un terreno poco tratado, sin ningún tipo de solera hormigonada, pretendemos alzar los centímetros necesarios para evitar la humedad ascendente del propio terreno por contacto y por capilaridad. Esta pequeña distancia servirá, además, de barrera contra insectos, hormigas y parásitos.

Para la base, se requiere una gran superficie resistente al peso. El palé de madera presenta en sí mismo estos requerimientos. Su diseño, simple, pero a la vez robusto, le permite soportar fácilmente una tonelada de peso, así como eleva el conjunto los centímetros necesarios para su aislamiento y además, permite la ventilación gracias a los huecos que forma su estructura estandarizada.

Se trata de una pieza universal, industrializada en todas las partes del mundo. La solución adoptada resulta ser la idónea y sostenible. Un total de 45 palés, de dimensiones estandarizadas en todo el mundo (1,20 x 0,80 m.), por cada módulo básico, forma la elevación y además tiene la posibilidad de crear una terraza en el exterior si lo prolongamos, en la que se facilita la vida, (incluso vecinal), en el exterior de la vivienda a modo de porche cuando las condiciones meteorológicas lo permitan.

Sobre los palés, se dispondrá un entablado completo de piezas de aglomerado hidrófugo de dimensiones 1,44 x 2,44 m, clavado a los mismos. Se dispondrá sin juntas en la medida de lo posible y formará el piso definitivo. De este modo se presenta una estructura uniforme y homogénea y una textura fina que permite que sus dos caras y sus cantos tengan un acabado perfecto con la característica principal de ser resistente a la humedad y una larga vida útil sin necesidad de mantenimiento.

### ***Las paredes de un nuevo hogar***

Las uniones están pensadas como un ensamblaje perfecto en todas sus combinaciones. Montantes verticales conformados de manera que el encaje de las piezas sea una tarea de lo más sencilla.

La versatilidad que proporciona un material como por ejemplo el bambú permite la adaptación de formas, siempre con una semejanza estructural muy coherente. A su vez forma una estructura modular que sirve de montante a los paneles del mismo material o uno alternativo siempre de corte o de procedencia natural. La distribución interior, puede verse modificada con un simple cambio de perfil. Las particiones interiores gozan de la versatilidad que proporciona la adaptación de las piezas en todas las direcciones y que permite la separación de viviendas de una manera uniforme, en función a los usos.

Cuatro piezas longitudinales a modo de perfiles podrían servir de ayuda para los paneles de cierre de paramentos formados por paneles de paredes exteriores e interiores.

Siguiendo con el módulo, cada panel tiene las mismas medidas y aporta sus condiciones específicas. El panel básico opaco en diferentes versiones que utilizaremos bien a la hora de una posible ampliación, el panel de lamas que combinados en los cuatro costados creará la ventilación cruzada (ver ventilación) y el panel con ventana fija, dispuestos de manera que la luz solar sea recibida desde todas las posiciones.

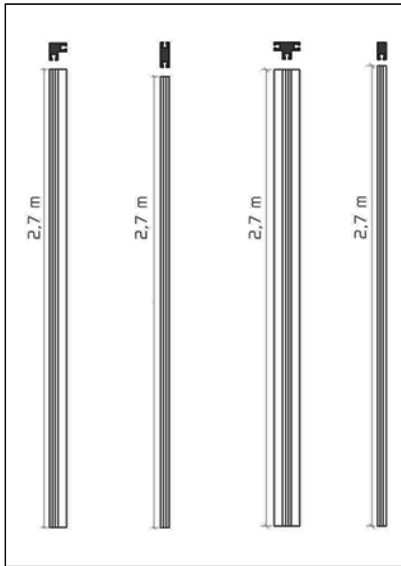


Figura 3 – Montantes verticales.  
Fonte: Autores.



Figura 4 – Paneles modulares que forman las paredes .  
Fonte: Autores.

### Estructura espacial

El conjunto se trata de una estructura espacial formada por elementos ensamblados a través de codos del mismo material y unidos entre sí con un adhesivo, si fuera necesario para reforzar y evitar el uso de clavos. Los cuatro montantes que sustentan la estructura se introducen en el terreno y se rellenan de arena dotando de mayor estabilidad al conjunto de la estructura, que, además, se encuentra triangulada en todas sus direcciones creando un conjunto firme de cierre superior presentando un principio de indeformabilidad gracias al triángulo.

La estructura (Figura 5), se cubre mediante una lona de plástico, dejando un espacio entre la cubierta y la propia lona, creando un espacio de ventilación que evitará el recalentamiento de la vivienda. Con todo ello pretendemos conseguir unas condiciones óptimas de temperatura en el interior, con la previsión de poder ser instalada en zonas tropicales con periodos de altas temperaturas en las que no se podrían soportar en una vivienda de estas condiciones si no se tiene en cuenta la ventilación de todo el habitáculo.

Para el techo físico se propone conseguir un diseño ligero y con la modalidad constructiva del “*hágalo usted mismo*”. Evitando una sub-estructura de cubierta que dificulte la ejecución de la misma. La idea inicial es mediante planchas (Figura 6), que se solapen entre ellas evitando el uso de chapas metálicas molestas para la habitabilidad.

El policarbonato modificado es un material que cumple con todos los requisitos previos y necesarios para su uso. La plancha corrugada combina la resistencia y flexibilidad, y consigue salvar la distancia entre las paredes de la envolvente. Su bajo peso facilita la colocación de un total de cinco planchas que cubren el módulo básico. Dejadas caer, irían sujetas a los montantes, cerrando el espacio superior.

En todos los casos, en cuanto a la elección de los materiales se ha realizado en función a la sostenibilidad de estos en su fabricación y puesta en obra, así como a las posibilidades de reciclado y reutilización, ya sea en su procedencia o futuro final.

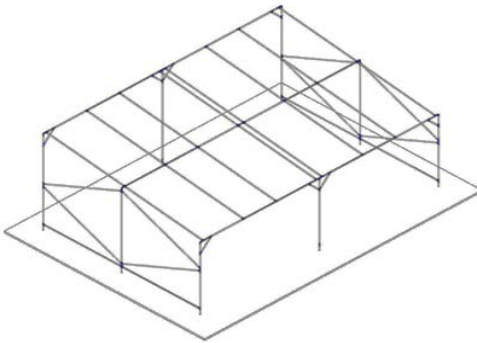


Figura 5 – Estructura básica completada.  
Fuente: Autores.

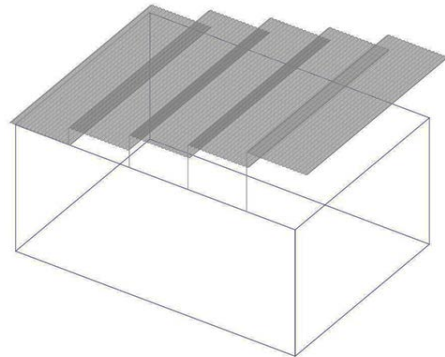


Figura 6 – Disposición de la planta cubierta.  
Fuente: Autores.

### **Estudio de la ventilación cruzada. Refrigeración del espacio naturalmente ventilado**

El concepto de ventilación natural (figuras 7, 8 y 9), se refiere a la que propiciamos por medio de aberturas diseñadas precisamente para ello. En el momento en el que generamos una abertura practicable en la envolvente del conjunto estamos permitiendo la ventilación natural. La ventilación cruzada consiste en generar aberturas estratégicamente ubicadas para facilitar el ingreso y salida del viento a través de los espacios interiores. Con este objetivo dispusimos el módulo básico de crecimiento. Además, se añade la ventilación en las zonas inferiores y superiores creando corrientes de refrigeración.

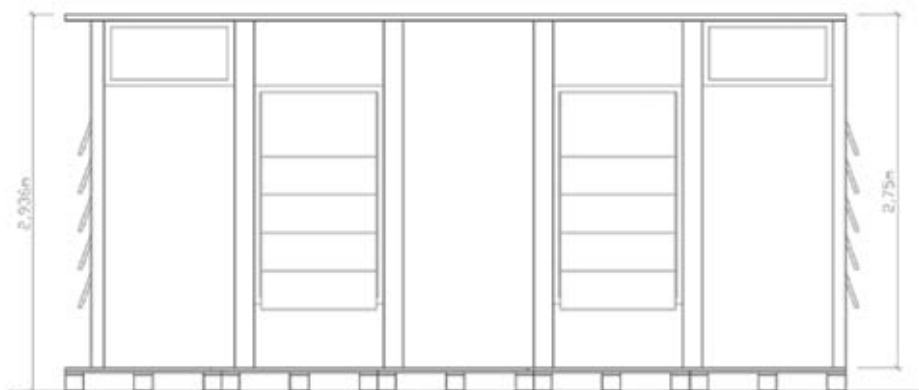


Figura 7 – Módulo básico.  
Fonte: Autores.

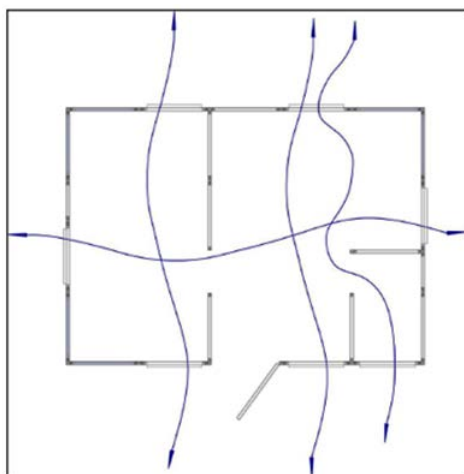


Figura 8 – Simulação de la ventilación cruzada en todas las direcciones.  
Fonte: Autores.

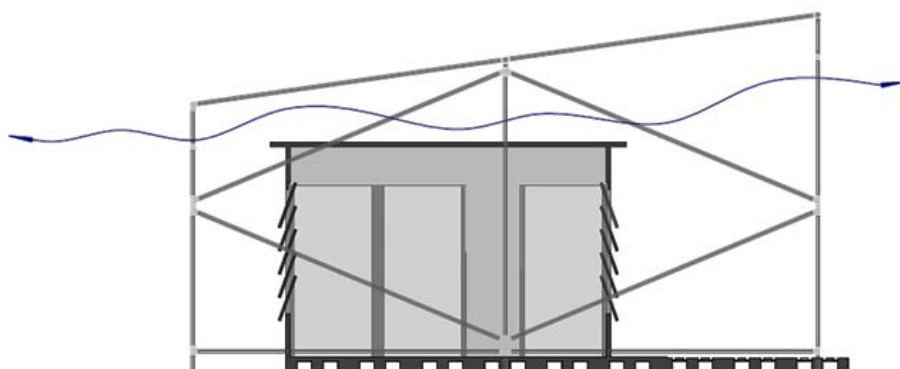


Figura 9 – Alzado lateral con la estructura exterior y la simulación de ventilación.  
Fonte: Autores.



Figura 10 – Perspectiva y distribución de la vivienda.  
 Fuente: Autores.



Figura 11 – Perspectiva y distribución de la vivienda  
 Fuente: Autores.

### Estructura y organización espacial

El tamaño, la densidad, la estructura socioeconómica y la independencia de los campos de refugiados varían enormemente de un contexto a otro. Condicionados por la parcela que se ceda a su fin, se intentará mantener las premisas con las que se ha diseñado el campamento. Si no fuera posible, se podría readaptar fácilmente privando de espacios e infraestructuras y reduciendo la superficie que se computa para el enorme número de habitantes. El número de la gente que vive en un campo depende de la crisis. Cuando el número de refugiados está en unos cientos de miles, las agencias de ayuda tratan de establecer varios campos más pequeños en lugar de uno masivo, de forma que la población de cada uno de ellos no supere las 20.000 personas.

Los campos más reducidos son más fáciles de manejar en caso de incendio, o en relación a la seguridad, control de enfermedades, etc. El campo modelo es de 10.000 personas. Para el diseño de Campamento24, se ha pensado en una distribución de en torno a los 5.000 refugiados.

Pudiendo multiplicarse cuantas veces fuera necesario repitiendo la misma estructura logística y de organización del campamento modelo, (Figuras 12 y 13).

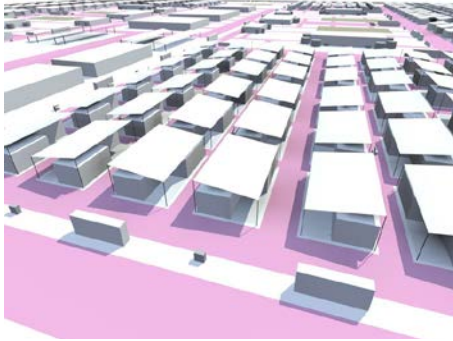


Figura 12 – Distribución en hilera.  
Fuente: Autores.

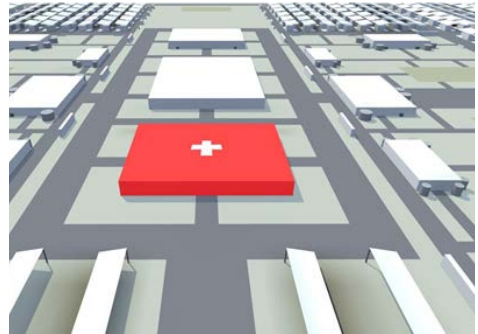


Figura 13 – Factor modular para infraestructuras.  
Fuente: Autores.

Esta organización espacial conforme más grande sea mayor infraestructura deberá de tener ya que los casos de posibles problemas pueden escalar de modo exponencial por ejemplo en el caso de enfermedades en atención a un centro médico, el cual será una de las instalaciones de mayor importancia. Así pues, el factor de reproducción puede ser de la siguiente manera.

En los campos suele establecerse uno o más lugares de encuentro, con distintas finalidades. Por ejemplo, allí se reúnen los líderes o los representantes de los refugiados, actividades de ocio en conjunto de diversas familias, sala de televisión, juegos de mesa, etc. Consiste, por lo general, en una tienda o en un simple porche protegido del sol.

Además, el programa debe permitir y facilitar actividades diversas y poder acoger sin ningún tipo de problemas las inquietudes e iniciativas de los residentes, ya que se pretende fomentar la vida social y cuidar del buen funcionamiento de las relaciones entre los refugiados.

En definitiva, un lugar en el que reunirse para realizar todo tipo de actividades. Se ha dispuesto un lugar de encuentro en la zona central en común para todo el poblado y uno en cada uno de los distritos de pequeñas dimensiones, en el que podrán realizarse las reuniones pertinentes.

Esta macro distribución deberá recoger toda una serie de instalaciones de uso común como puede verse (Figura 14), (la cual podrá desarrollarse en las cuatro direcciones cardinales), zonas como por ejemplo generador y centro de energía, zonas de higiene, saneamiento, zonas de tránsito rodado y de accesibilidad, entre otros.

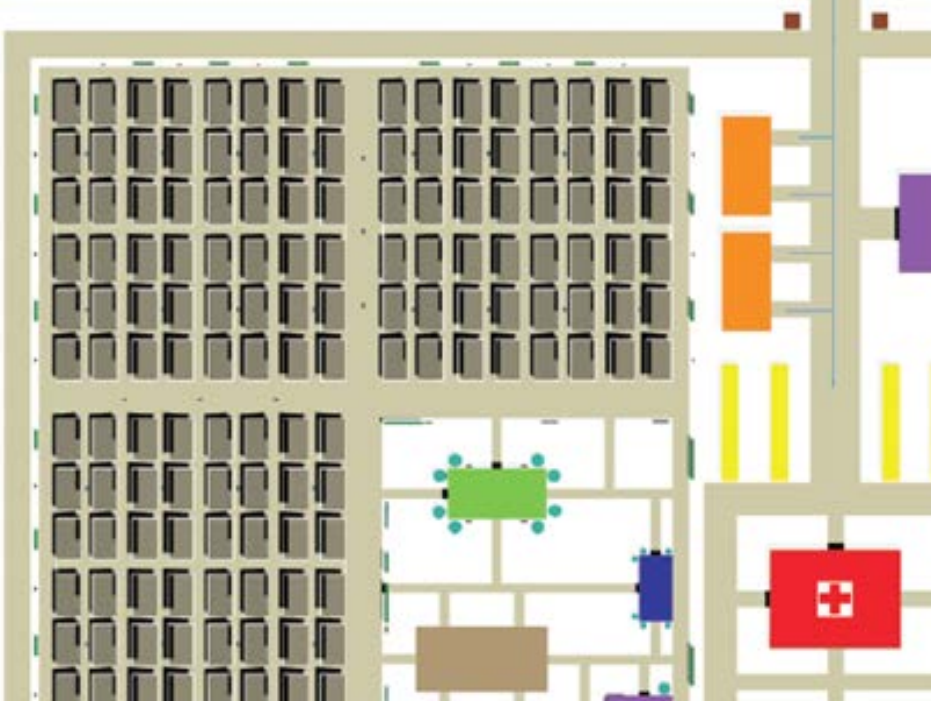


Figura 14 – Distribución espacial en cuadrícula, aquí se representa un cuarto con la posibilidad de poder ampliarse en las cuatro direcciones cardinales.  
Fonte: Autores.



Figura 15 – Vista final de Campamento 24.  
Fonte: Autores.



## CONCLUSIONES

La falta de documentación existente a nivel mundial, puso de manifiesto la falta de responsabilidades por parte de todos los agentes e instituciones que intervienen en el contexto del diseño de viviendas de emergencia. Por estas razones, pocos son los proyectos que llegan a materializarse por falta de medios y esto supone la poca especialización y estudio de este tipo de construcciones.

Parece que el estudio de la vivienda de emergencia debe tomar mayor repercusión y calibre si se analiza la severidad y frecuencia de los desastres naturales acaecidos en los últimos tiempos.

El objetivo en todos los casos es simple: mejorar las condiciones de vida de los afectados por los desastres naturales, (acostumbrados a vivir en tiendas de campaña y en una situación de precariedad absoluta), y responder a unas mínimas y dignas condiciones sociales e higiénicas sin una caducidad temporal, pero nunca definitiva.

La vivienda social tiene que ser una preocupación constante que atienda el sector. Por fortuna en los últimos años, hemos tenido embajadores que han sabido poner la atención sobre esta necesidad, Shigeru Ban primero y Alejandro Aravena después, dos premios Pritzker relevantes han alzado su voz desde su reconocimiento a nivel mundial y sobre todo a través de su ideario arquitectónico y proyectual para poder dar soluciones sobre la línea que hemos tratado, así como el africano Francis Kéré que ha sabido llevar luz y arquitectura a muchos lugares de África con intervenciones sostenibles, eficaces, útiles y de gran belleza formal y compositiva.

Así pues, la *arquitectura* que hemos denominada *de emergencia* la cual hemos querido representar a través de un prototipo contemporáneo denominado Vivienda 24, un modelo que dignifique las condiciones de las personas que por una causa u otra se ven condenadas a vivir de esta forma, trate de responder con una propuesta eficaz frente a desastres naturales o conflictos civiles con la interacción de un profesional concienciado ya sea arquitecto o ingeniero en un campo de relevancia por desgracia creciente. Nuestro cometido apunta hacia actitudes cercanas, criterios de diseño simples pero asequibles que configuren una arquitectura vivible y sin precariedad temporal. El prototipo mostrado sirve de ejemplo y recoge el espíritu del trabajo. Es una unidad con planteamientos que engloban diferentes localizaciones, materiales sostenibles y sistemas constructivos que responden a un modelo cuya construcción respondan a una escala de fabricación y de tiempo sencilla, rápida y durable en el tiempo. Posteriormente, se establecen relaciones, comparaciones y valoraciones de los prototipos, tanto entre sí, (conjunto), como individuales, para finalmente extraer conclusiones y reflexiones acerca de su configuración.

Por último, Vivienda 24 no debe de plantearse como una unidad identitaria, sino que, su modulación está pensada para alcanzar carácter repetitivo con diferentes

combinaciones de espacios vivibles y espacios de actividad y de ocio. Se ha demostrado en todos los casos que la solidaridad de los afectados en este tipo de desastre es infinita, y que, con el paso del tiempo, la socialización entre los afectados ha creado espacios improvisados de convivencia muy significativos. Es por ellos que, la última parte del presente artículo, pretende mostrar esta faceta de integración, mediante la conexión de los módulos repetidos que conforman celdas entre ellos y crean espacios interesantes de encuentro y desarrollo social.

Esta posibilidad da lugar a un trazado casi “urbano” en cuanto a la distribución de pasillos o corredores de distribución dejando en los cruces o encuentros entre ellos plazas a modo de ágoras. Además, como ocurre con tantos ejemplos en la actualidad, estos espacios de coincidencia fomentan los aspectos de intercambio, incluso a nivel comercial creando un modelo “similar” a una actitud y costumbre vivencial anterior, lo que supone un acondicionamiento momentáneo y una esperanza de futuro.

## AGRADECIMIENTOS

Alegre, S; Parra, A.; Martínez, A; Pérez J. por su ayuda y colaboración en textos y parte gráfica.

## REFERÊNCIAS

- ARAVENA, A.; *Arquitectura viva monografías*. nº. 185, Madrid: Arquitectura, 2016. Viva. p. 42-45.
- BAAS, S. *Análisis de sistemas de gestión del riesgo de desastres*. Roma: FAO, 2009.
- DAVIS. I. *Arquitectura de emergencia*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.
- JORDÁ RODRÍGUEZ, M.A. *Deployable emergency system: arquitecturas desechables de emergencia*. Modelo de sistema de ayuda a la toma de decisiones para la gestión de emergencias en el marco de la protección civil. *Publicación*: Departamento de organización de empresas, economía financiera y contabilidad, Universidad Politécnica de Valencia, 2003.
- MCQUAID, M. *Shigeru Ban*; Londres: Phaidon Press Limited, 2003.
- ROS GARCÍA, J.M. *Arquitecturas de emergencia: cuestiones pendientes*. Madrid: Asimétricas, 2015.
- Ros García, J.M., *Arquitecturas de emergencia*. V. I; Habitar en tierras extrañas en tiempos de crisis. Madrid: Fundación Universitaria San Pablo CEU, D.L., 2015.
- Sinclair, C.; *Architecture for humanity*. Design like you give a damn: architectural responses to humanitarian crises. Londres: Thames & Hudson, cop., 2006.
- Varios, *ideas para alojamientos temporales*; Fundación Cultural, D.L.; Madrid, 1996.
- Autoría de detalles constructivos, diseño y contenido gráfico de los firmantes.
- Webs consultadas**
- Ingenieros Sin Fronteras; Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano. *Emergencias*.

[www.cuadernos.tpdh.org](http://www.cuadernos.tpdh.org) [consulta 08/2020].

Medición de impacto y rendición de cuentas en las emergencias. *Una guía suficientemente buena*. Edita: Intermón Oxfam [https://pseataaskforce.org/uploads/tools/impactmeasurementandaccountabilityinemergenciesthegoodenoughguide\\_oxfamgb\\_spanish.pdf](https://pseataaskforce.org/uploads/tools/impactmeasurementandaccountabilityinemergenciesthegoodenoughguide_oxfamgb_spanish.pdf) [consulta 09/2020].

Archidaily: Casa ELEMENTAL *Tecnopanel: una alternativa eficiente a la vivienda de emergencia*. 2010: <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-39644/casa-elemental-tecnopanel-una-alternativa-eficiente-a-la-vivienda-de-emergencia>> [consulta 09/2020].

Better Shelter: *Designed with and for refugees*: <<http://www.bettershelter.org/product/>> [Consulta: 09/2020]

CEAR (2018). *Informe 2018: Las personas refugiadas en España y Europa*.

Madrid: CEAR. P: 9 <<https://www.cear.es/wp-content/uploads/2018/06/Informe-CEAR-2018.pdf>> [Consulta: 09/2020] <https://www.chilecubica.com/construcciones-en/bambú/> (Fig. 7)

---

# **Modelagem paramétrica e otimização multiobjetivo para melhoria do desempenho térmico de habitações sociais**

Angélica Saccol Berleze

---

**D**esafios econômicos, sociais e ambientais têm contribuído para intensificar esforços nacionais e internacionais para promoção do desenvolvimento sustentável. O setor da construção civil é fundamental nesse sentido, pois oferece oportunidades para o uso mais sustentável dos recursos naturais, para eficiência no uso de energia e para redução dos impactos ambientais.

De acordo com o Programa Ambiental das Nações Unidas, os edifícios são responsáveis por mais de 40% do uso total de energia e também são associados a 30% das emissões de gases do efeito estufa, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Apesar do alto impacto associado ao setor da construção civil, ele também representa um dos setores cuja mitigação significativa poderia ser alcançada com nenhum ou com baixo custo para a sociedade (UNEP, 2014).

No entanto, ainda hoje, a maior parte dos projetos arquitetônicos é baseada principalmente na experiência subjetiva dos arquitetos, o que leva normalmente a procedimentos pouco precisos em termos de desempenho e eficiência energética. O processo tradicional de projeto, utilizado pela maioria dos arquitetos, em geral, não inclui simulação computacional, e quando inclui ela é limitada a um pequeno número de casos.

No Brasil, o setor de edificações (comercial, público e residencial) é responsável pelo consumo de 50,5% de toda a energia elétrica consumida no país e mais da metade (25,4%) se deve exclusivamente ao uso residencial (BEN, 2019). Em relação à oferta de energia elétrica, em 2018, as fontes renováveis contribuíram com 83% do que foi ofertado no país. A participação das hidroelétricas na geração de energia, apesar de

ser a mais significativa, continua em queda em decorrência do baixo índice de precipitação, baixando de 68,1% (2016) para 66,6% (2018) (BEN, 2019). Apesar de o Brasil ainda ser associado à alta contribuição de fontes renováveis e à baixa emissão de gases de efeito estufa quando comparado a países como Estados Unidos, China e os da União Europeia, a eficiência energética é um objetivo que deve ser mundialmente buscado.

Edificações energeticamente eficientes e adequadas ao clima apresentam um alto potencial de redução do consumo energético e de emissões de gases de efeito estufa, cujas decisões de projeto relativas à forma e ao envelope são as que mais impactam no desempenho das edificações naturalmente ventiladas. Para tanto, é fundamental poder prever o desempenho dos edifícios, seja em relação ao seu consumo energético, à emissão de CO<sub>2</sub>, ao conforto térmico, à qualidade do ar interior, ou outros aspectos relevantes.

Nesse sentido, têm havido um crescimento no número de pesquisas e no desenvolvimento de métodos de projeto baseado em desempenho nos últimos anos. Programas de simulação termoenergética (EnergyPlus, TRNSYS, DOE-2, entre outros) já vêm sendo utilizados há algumas décadas. Contudo, essas ferramentas são mais amplamente associadas a estudos envolvendo métodos de tentativa e erro, o que leva a uma subutilização do potencial desses programas. Esses métodos não conseguem lidar com a complexidade de interações entre tantas variáveis de projeto e objetivos exigidos em edifícios mais eficientes. O resultado pode ser relativamente bom, mas tem pouca chance de atingir o melhor resultado possível (MAGNIER, 2008).

Normalmente, nesse tipo de método, a inserção dos parâmetros de interesse é feita a partir da variação – gradual, manual e individual – de valores dentro de um intervalo definido, enquanto que outros parâmetros são mantidos fixos. Esse processo pode ser repetido iterativamente com outras variáveis a fim de verificar seu impacto em relação aos objetivos do estudo. Nos casos em que a variação dos valores dos parâmetros é realizada manualmente pelo pesquisador, há uma tendência à simplificação de intervalos e no número de variáveis em estudo, uma vez que a quantidade de combinações pode se tornar exaustiva. Ainda assim, são métodos que consomem muito tempo e recursos humanos.

Por outro lado, pesquisadores têm apontado para o alto potencial de ferramentas computacionais, mais especificamente aquelas baseadas no uso de algoritmos, para auxiliar na geração da forma de edificações mais eficientes (FONSECA *et al.*, 2017; SANTANA, 2016; NGUYEN; REITER; RIGO, 2014). Novas aplicações de simulação computacional têm emergido de maneira promissora, como é o caso, por exemplo, de programas de modelagem paramétrica e algorítmica que permitem a automatização do

processo. Essas técnicas permitem a ampliação do número de intervalos das variáveis, assim como o aumento do número de variáveis em estudo, permitindo que as melhores alternativas de projeto sejam encontradas sem necessariamente explorar cada uma delas individualmente (BRE; ROMAN; FACHINOTTI, 2020).

Essa automatização normalmente é realizada por programação computacional e se baseia em métodos conhecidos como otimização numérica, otimização matemática ou ainda, otimização baseada em simulação (OBS) (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014). Apesar de também serem métodos que consomem tempo, eles normalmente consomem recursos computacionais, sem a necessidade de o pesquisador estar em frente ao computador realizando a tarefa (durante a etapa de processamento/otimização propriamente dita – vide Figura 2).

Problemas que envolvem programação matemática têm sido a base da maioria das pesquisas na área da Pesquisa Operacional (PO). Dentre elas se enquadram os estudos que lidam com processos estocásticos como a simulação e otimização de desempenho. Além disso, uma OBS também é inerentemente multidisciplinar, pois envolve conhecimento de áreas como arquitetura, engenharia, matemática, economia e ciência da computação.

Recentemente, diversos autores têm utilizado técnicas de OBS, integrando *softwares* de simulação computacional, como EnergyPlus, com algoritmos de otimização matemática a fim de encontrar as melhores soluções de projeto para edifícios eficientes (ASCIONE *et al.*, 2016; BRE; ROMAN; FACHINOTTI, 2020; TUBELO *et al.*, 2018)

Essa integração entre métodos e técnicas permite que o desempenho seja amplamente melhorado por meio da alteração da geometria e da configuração dos fechamentos do envelope, tais como materiais de fechamento, orientação solar, orientação e dimensão de aberturas, dimensão de proteções solares, entre outros.

A partir desse panorama, podemos caracterizar o projeto de novas edificações eficientes como um problema de otimização complexo, uma vez que envolve múltiplas variáveis (alternativas de projeto) e múltiplos objetivos que podem, com frequência, ser conflitantes entre si. Por exemplo, um dos objetivos da otimização pode ser a redução do consumo energético do edifício, enquanto outro objetivo seja o controle de custos de materiais e sistemas. Outro exemplo: em uma edificação condicionada naturalmente e localizada em clima temperado, um dos objetivos poderia ser melhorar o conforto térmico de verão, enquanto que o segundo objetivo seria melhorar o conforto térmico no inverno (nota-se que as estratégias bioclimáticas que normalmente contribuem para a melhoria de um dos objetivos, contribui para a piora do outro e vice-versa).



## MODELAGEM PARAMÉTRICA E ALGORITMICA

Arquitetos e engenheiros costumam adotar ferramentas computacionais em estágios mais avançados do processo de projeto, depois de já ter pré-definido muitas características relativas à forma. Ao fazer isso, decisões vitais, que incluem aspectos funcionais e de desempenho energético, já foram tomadas, restando possibilidades muito restritas em relação à concepção arquitetônica (ABRISHAMI *et al.*, 2015).

Uma possível solução para esse problema é a aplicação de projetos paramétricos aliados à otimização baseada em simulação. Essa abordagem pode auxiliar o projetista a resolver problemas complexos de projeto nas fases iniciais do processo de projeto arquitetônico.

Dessa forma, a avaliação de desempenho durante as etapas iniciais de projeto possibilita uma gama maior de soluções projetuais, uma vez que o projeto ainda não sofreu tantas restrições e condições quanto um projeto em estágio mais avançado, o que contribui para que edifícios com melhores desempenhos sejam criados.

Além disso, quando visamos a um desempenho específico, em alguns casos é impossível prever quais dados de entrada produzem os resultados desejados. Isso pode ser superado pela introdução de restrições e parâmetros de intervalo variável em programas de modelagem paramétrica (LOPES, 2012), que dão liberdade de escolha ao projetista.

O termo paramétrico, em sua multidisciplinariedade, pode ser entendido genericamente como qualquer estudo baseado no uso de parâmetros de intervalo definido. Um projeto paramétrico é, portanto, um método de projeto onde os parâmetros que compõem o objeto são declarados, e não a forma do objeto propriamente dita (KOLAREVIC, 2009). Na área do design e arquitetura, no entanto, projeto paramétrico tem sido entendido como aquele em que são utilizados *softwares* de modelagem paramétrica (LEACH, 2014).

O projeto paramétrico, muitas vezes, é associado apenas a seu potencial estético e estilístico, uma vez que, de fato, as ferramentas possibilitam grande liberdade e um controle rigoroso dos parâmetros que definem a forma do objeto ou edifício. Desse modo, podemos dizer que o projeto paramétrico auxilia no processo criativo ao permitir a geração de uma grande quantidade de variações e soluções projetuais visualizadas quase que instantaneamente.

Devido a seu potencial em resolver problemas sociais e ambientais do mundo real, a preocupação original dos pesquisadores desse tipo de método não era com a forma e estética do edifício, mas sim com a sua eficiência (FRAZER, 2016).

Já o termo “algoritmo” se refere ao uso de técnicas para resolver problemas de projeto. Tecnicamente, um algoritmo é uma instrução simples, mas no viés do projeto digital, ele se refere ao uso de linguagens de *script* (ex.: RhinoScript ou Visual

Basic), que permite ao projetista ir além das limitações da interface e projetar através da manipulação direta, não da forma, mas de um código (LEACH, 2014). O projeto algorítmico explora a capacidade do computador para operar como um mecanismo de pesquisa e executar tarefas que consumiriam tempo excessivo. Portanto, ele se presta à otimização e outras tarefas além das limitações de restrições de um projeto padrão (LEACH, 2014).

Ainda segundo Leach (2014), técnicas algorítmicas são baseadas no uso de códigos, enquanto técnicas paramétricas são baseadas na manipulação da forma, sendo, portanto, técnicas distintas, mas que geralmente são utilizadas de maneira associada. Projeto paramétrico, portanto, pode ser definido como “um processo baseado no pensamento algorítmico que permite a expressão de parâmetros e regras que, juntos, definem e esclarecem a relação entre a intenção do projeto e a resposta do projeto” (FRAZER, 2016).

Um exemplo de *software* de modelagem tridimensional muito utilizado atualmente é o Rhinoceros 3D (software CAD que utiliza tecnologia NURBS - *Non Uniforme Rational Basis Spline*, permitindo um controle rigoroso sobre curvas e superfícies). A modelagem paramétrica é possibilitada através do editor gráfico Grasshopper, atualmente integrado ao Rhinoceros.

## OTIMIZAÇÃO BASEADA EM SIMULAÇÃO

Aplicações de otimização numérica vêm sendo utilizadas desde as décadas de 1980 e 1990. Contudo, devido aos avanços computacionais recentes, a maioria dos estudos envolvendo problemas de engenharia foi desenvolvida a partir dos anos 2000 (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014).

Genericamente, o termo otimização se refere ao procedimento que torna algo (um projeto, sistema ou decisão) tão completamente perfeito, funcional e eficiente quanto possível. Em áreas como a matemática e estatística, otimização é o processo de encontrar a melhor solução para um problema a partir de um conjunto de alternativas disponíveis (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014). Porém, em simulação de desempenho de edificações, nem sempre otimizar significará encontrar a solução globalmente ótima para um problema, uma vez que pode ser inviável devido à natureza do problema ou do próprio programa de simulação. Além disso, alguns autores têm usado o termo “otimização” para indicar um processo de melhoria iterativa usando simulação computacional para atingir soluções subótimas (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014).

Todavia, dentre os pesquisadores de otimização baseada em simulação (OBS), é convencionalmente aceito que o termo “otimização” indica um processo automatizado, o qual é inteiramente baseado em simulação numérica e otimização matemática. Em

um estudo de otimização de edificações, este processo é geralmente automatizado pela união entre o programa de simulação e um motor de otimização (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014).

Uma grande quantidade de métodos tem sido desenvolvida para lidar com problemas de otimização. Os métodos envolvendo algoritmos de otimização são os mais promissores para resolver problemas de engenharia. Eles podem ser classificados como: locais ou globais; heurísticos ou meta-heurísticos; determinísticos ou estocásticos, baseado em derivação ou livre de derivação; baseados em trajetória ou baseados em população; bioinspirados ou não bioinspirados, mono-objetivo ou multiobjetivo, entre outros (NGUYEN; REITER; RIGO, 2014).

Os algoritmos evolutivos (AE) são algoritmos de otimização meta-heurísticos e bioinspirados. Eles reproduzem computacionalmente o princípio da Teoria da Evolução de Darwin (EVINS, 2013). Assim como na natureza, esse processo é caracterizado pela integração e interação entre o grande número de espécies e suas variações, que buscam atingir o equilíbrio com o meio através de uma disputa pela sobrevivência dos mais aptos.

Os algoritmos genéticos (AG) são uma classe particular de algoritmos evolutivos (AE), desenvolvidos por John Holland nos anos 1970, com a função de ser uma técnica de otimização. Os métodos estocásticos como os abrangidos pelos AG são considerados os mais adequados para lidar com a busca de alternativas de projeto e com simulações de desempenho de edificações. Isso porque os AG são capazes de lidar com funções não lineares, com variáveis contínuas e discretas e com problemas de otimização multiobjetivo. Além disso, os AG possuem melhor habilidade de lidar com descontinuidades e são menos prováveis de se prender a soluções locais mínimas (MAGNIER, 2008). Em relação à sua eficiência, os AG são reconhecidos por possibilitar otimizações muito detalhadas, usando um menor tempo computacional que outros algoritmos. Eles também são inspirados na biologia evolutiva, cujo princípio pode ser explicado de maneira bastante simples (MAGNIER, 2008):

1. Primeiramente, uma população inicial é criada randomicamente, nos quais cada indivíduo representa uma solução candidata. Esses indivíduos são gerados a partir de um conjunto de parâmetros (ex. variáveis de projeto);
2. A cada geração, casais de indivíduos (pais) produzem novas soluções por meio de mecanismos como cruzamento e mutação (esses novos indivíduos são conhecidos como filhos);
3. Ao final de cada geração, as soluções candidatas são avaliadas usando a função objetivo definida no estudo. As melhores soluções são mantidas na próxima geração de acordo com a taxa de elitismo definida.

4. As etapas 2 e 3 acontecem até que o critério de parada seja atingido (geralmente baseado no número de gerações ou na estagnação da população que melhor atende aos objetivos).

Matematicamente, a otimização multiobjetivo consiste na obtenção de um conjunto de soluções que satisfaça algumas restrições e otimize (minimize ou maximize) funções-objetivo. A avaliação das soluções factíveis passa, então, pelo conceito de Dominância de Pareto que diz que a solução para um problema de otimização multiobjetivo será ótima se não existir outra solução viável que cause a diminuição de um objetivo sem causar aumento de outro. Estas soluções que superam as outras são conhecidas como soluções não-dominadas.

A função dos algoritmos é buscar dentre uma ampla gama de alternativas de projeto, aquelas que contribuem para gerar as melhores soluções, formando o conjunto ótimo de Pareto (conjunto das soluções não-dominadas). Nos casos em que os objetivos são conflitantes, eles formam um conjunto de soluções multidimensional, chamado de Curva de Pareto (quando há 2 funções-objetivo) ou Fronteira de Pareto (quando há 3 ou mais funções-objetivo). A maioria dos estudos se baseiam em até 2 funções-objetivo devido à complexidade do processo e análise.

Dessa forma, o problema não terá uma única solução ótima e sim diversas soluções quase ótimas, pois conforme uma solução apresenta uma melhora em relação a um dos objetivos, exibe uma piora em relação ao outro e vice-versa. Por fim, o pesquisador deve decidir como determinar a solução “ótima” ao longo do conjunto de soluções de Pareto que será analisada e/ou que embasará alguma recomendação projetual. Bre e Fachinotti (2017) propuseram que esta escolha seja feita a partir do cálculo da menor distância entre a solução de Pareto e o ponto de utopia. Em problemas de otimização multiobjetivo, o ponto de utopia normalmente não é atingido devido à natureza conflitante dos objetivos, mas pode ser calculado por meio da Equação 1. Para determinar a distância da solução de Pareto ( $x^{ot}$ ) ao ponto de  $P_{utopia}$ , a Equação 2 deve ser utilizada.

$$P_{utopia} = [\min (f_1) \min (f_2) \dots (f_n)] \quad (1)$$

$$d(x^{ot}) = \sqrt{[f_1(x^{ot}) - \min(f_1)]^2 + [f_2(x^{ot}) - \min(f_2)]^2} \quad (2)$$

A Figura 1 esquematiza a curva de Pareto, o ponto de utopia e a solução “ótima” para um problema de minimização de 2 funções-objetivo conflitantes.

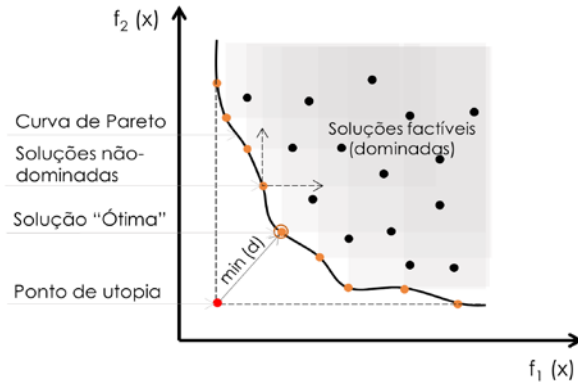


Figura 1 – Conjunto ótimo de Pareto  
Fonte: Adaptado de Bre e Fachinotti, 2017.

O objetivo deste estudo foi encontrar, por meio de técnicas de otimização baseada em simulação, as soluções que apresentassem os melhores desempenhos térmicos, a partir da variação de parâmetros referentes à geometria de um modelo de edificação habitacional. A partir disso, foi possível analisar o potencial de melhoria das condições de conforto térmico em relação à edificação original (modelo base) e verificar o conjunto de variáveis que levaram ao melhor resultado, o que indica o conjunto de configurações adequadas ao clima da região para o tipo de fechamento proposto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nguyen, Reiter e Rigo (2014) dividem uma otimização baseada em simulação em 3 fases principais: pré-processamento, processamento/otimização e pós-processamento (Figura 2), cada uma composta por diversas tarefas.

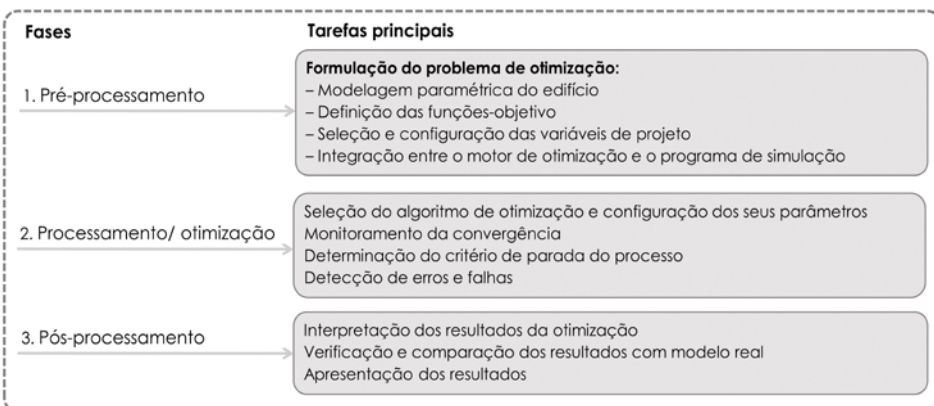


Figura 2 – Principais fases e tarefas de uma OBS  
Fonte: Baseado em Nguyen, Reiter e Rigo, 2014.

## Pré-processamento

A fase de pré-processamento de uma OBS pode ser dividida em 4 etapas, conforme a Figura 3.

Primeiramente, o edifício em estudo foi modelado parametricamente, integrando a forma, os materiais de fechamento, os regimes de ocupação, o arquivo climático, entre outros. Os objetivos da otimização foram determinados conforme os interesses do estudo, as condições climáticas e próprio objeto (habitação social térrea e naturalmente ventilada). Posteriormente, foram selecionadas variáveis que poderiam contribuir para atingir os objetivos propostos. Por último, um motor de otimização multiobjetivo foi acoplado ao modelo para automatizar o processo.

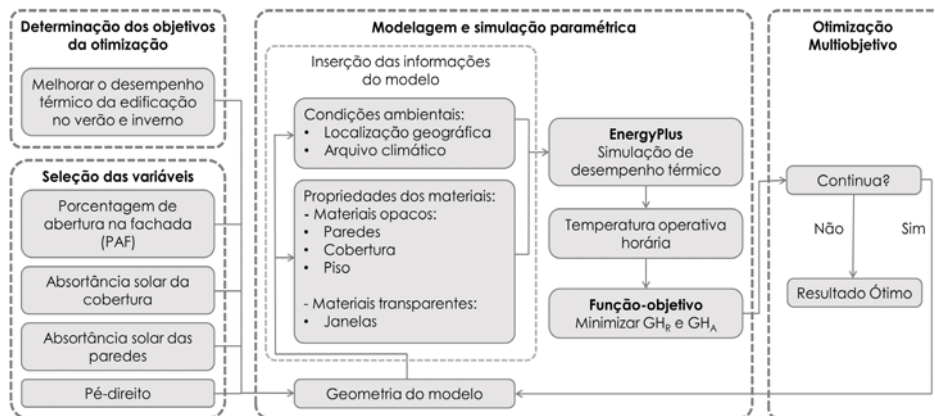


Figura 3 – Detalhamento da fase de pré-processamento

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

## Modelagem paramétrica

O modelo paramétrico foi desenvolvido no Rhinoceros V6.0, usando o Grasshopper como editor gráfico. O plugin Archsim foi utilizado para integrar o Grasshopper ao EnergyPlus V8.4, possibilitando as simulações de desempenho térmico do modelo. Esse plugin integra a geometria da edificação, as características termofísicas dos materiais e os regimes de uso e ocupação ao arquivo climático. A partir dos dados de saída do EnergyPlus (temperaturas operativas horárias dos ambientes de permanência prolongada), foram calculados os graus-hora de desconforto por frio e por calor. A função do plugin Octopus é conduzir a otimização multiobjetivo, aplicando os princípios evolucionários ao modelo paramétrico e automatizando o processo. As ferramentas utilizadas no processo de OBS são apresentadas na Figura 4.

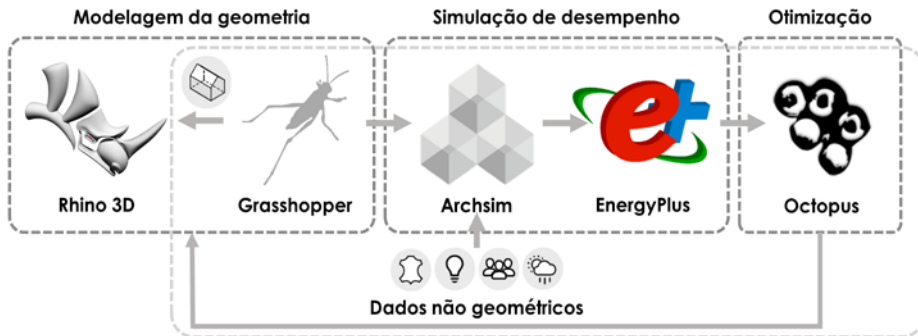


Figura 4 – Esquema de integração entre os programas e plugins utilizados

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

### Estudo de Caso

O estudo foi realizado na cidade de Chapecó, na Região Sul do Brasil (com latitude 27,10S, longitude 52,61W e altitude 670 m). A cidade pertence à Zona Bioclimática 3 brasileira, segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005). O clima se classifica como temperado Cfa (Köppen-Geiger), apresentando verões quentes e invernos frios. Segundo as normais climatológicas do INMET (2016), as temperaturas médias variam de 22.9 °C no mês mais quente (fevereiro) à 14.1 °C no mês mais frio (junho) e as temperaturas médias mínimas ficam em torno de 10 °C, porém as mínimas absolutas chegam a atingir temperaturas negativas. Conforme o relatório gerado no *software* AnalysisBio, V2.2 (ANALYSISBIO, 2018), Chapecó apresenta 34% das horas do ano em conforto higrotérmico e das 66% horas de desconforto, 43% do tempo é por frio e 23% é por calor. Dessa forma, se fazem necessárias as estratégias de ventilação e sombreamento no verão e de aquecimento solar passivo e inércia térmica para aquecimento no inverno, além de também ser necessário o aquecimento artificial nas horas mais frias do ano.

O modelo base do estudo foi a edificação originalmente encontrada em um conjunto habitacional de baixa renda do município, o Loteamento Expoente. A edificação original é uma habitação típica do Programa Minha Casa Minha Vida, térrea, com tipologia geminada (composta por 2 unidades habitacionais), cada uma contendo 2 dormitórios, 1 banheiro, 1 cozinha e 1 sala de estar/jantar. A área útil de cada unidade é de 32,07 m<sup>2</sup>, totalizando uma área total construída de 64,15 m<sup>2</sup> (Figura 5).

### Seleção das variáveis de projeto

Na análise do modelo base utilizou-se apenas a simulação de desempenho (sem otimizar nenhum parâmetro). Para tanto, foram consideradas as características reais dos fechamentos (conforme especificações do projeto), conforme apresentado na Tabela 1.



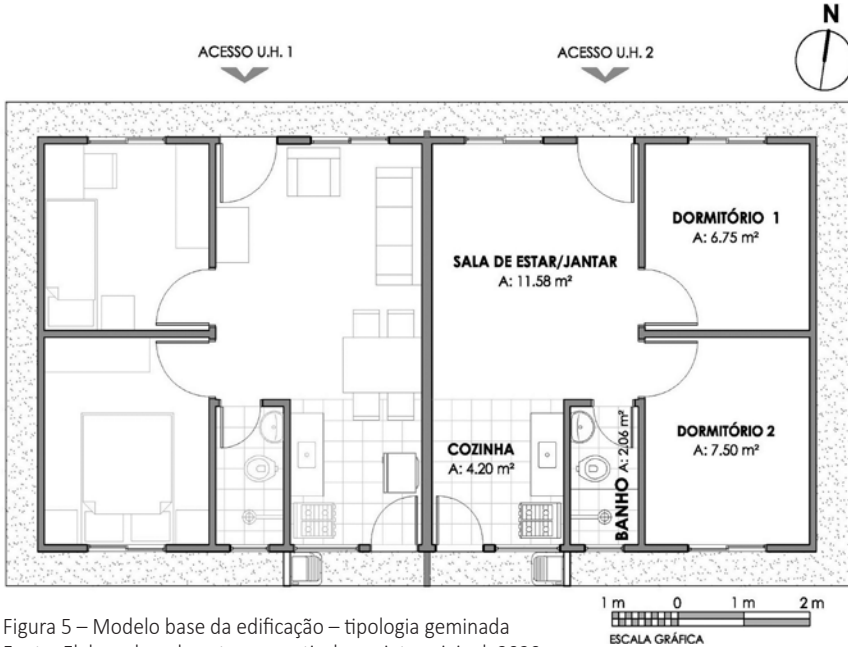
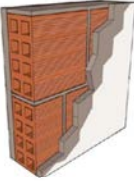
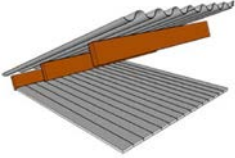


Figura 5 – Modelo base da edificação – tipologia geminada  
 Fonte: Elaborado pela autora a partir do projeto original, 2020.

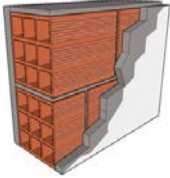
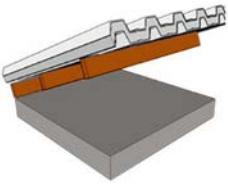
Tabela 1: Características reais do modelo base

Variável	Característica		
1	Orientação solar	Norte (fachada principal)	9° (conforme projeto)
2	Pé-direito		h = 2,50 m
3	Tipo de parede externa		Tijolo cerâmico 8 furos (9 cm) + reboco interno (1 cm) + reboco externo (1 cm)  U = 2,64 W/m².K CT = 102 kJ/m².K α = 0,4 φ <sub>PAR</sub> = 2,7 horas
4	Tipo de cobertura		Fibrocimento (8 mm) + câmara de ar > 5 cm + forro de PVC (1 cm)  U = 1,76 W/m².K CT = 15 kJ/m².K α = 0,8 φ <sub>COB</sub> = 0,6 horas
5	Tipo de vidro	Comum 3 mm	U = 5,7 W/m².K FS = 0,87
6	Janelas dos ambientes de permanência (sala e dormitórios)	Taxa de infiltração = 0,01 kg/s.m Vão efetivo de ventilação = 40%	A = 1,44 m²
	Janela da cozinha	Coefficiente de descarga = 0,60	A = 0,8 m²

Fonte: Berleze, 2020.

Um estudo realizado previamente (BERLEZE, 2020)<sup>1</sup> indicou os materiais apresentados no Tabela 2 como os mais adequados para essa tipologia e local. Dessa forma, as variáveis relativas aos materiais de fechamento de paredes e cobertura não foram otimizadas neste estudo, mas sim mantidas fixas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Característica termofísicas do modelo otimizado

Parede pesada e pouco isolada*		<p>Parede de tijolo cerâmico 9 furos (14 cm) + reboco interno (2,5 cm) + reboco externo (2,5)</p> <p><math>U_{PAR} = 1,93 \text{ W/m}^2.K</math>  <math>CT = 189 \text{ kJ/m}^2.K</math>  <math>\Phi_{PAR} = 4,6 \text{ horas}</math>  <math>FS_{PAR} = 1,5 (\alpha = 0,2) \text{ a } 6,2 (\alpha = 0,8)</math></p>
Cobertura pesada e bem isolada*		<p>Telha metálica com PU (4,2 cm) + câmara de ar &gt; 5 cm + laje concreto (10 cm)</p> <p><math>U_{COB} = 0,55 \text{ W/m}^2.K</math>  <math>CT = 230 \text{ kJ/m}^2.K</math>  <math>\Phi_{COB} = 12,6 \text{ horas}</math>  <math>FS_{COB} = 0,4 (\alpha = 0,2) \text{ a } 1,8 (\alpha = 0,8)</math></p>

\* Nonemclatura sugeria por Berleze (2020).

As variáveis vinculadas ao processo de otimização seguiram o especificado na Tabela 3. As absortâncias de paredes e cobertura foram divididas em 4 intervalos, variando de 0,2 a 0,8. O pé-direito foi dividido em 3 intervalos, variando de 2,5 a 3,5 m. Já as aberturas foram variadas em função da área de parede externa dos ambientes de permanência prolongada. O projeto original da edificação prevê aberturas apenas nas fachadas norte e sul. Sendo assim, cada janela de dormitórios, sala e cozinha foi parametrizada independentemente das demais, podendo variar conforme o descrito na Tabela 4. Vale ressaltar que a Porcentagem de Abertura da Fachada (PAF) é uma variável dependente do pé-direito. A mesma porcentagem de abertura resulta em áreas diferentes caso o pé-direito seja maior ou menor.

<sup>1</sup> Esse estudo se baseou nas características da edificação real/projeto original. A partir disso, foram variados tipos de coberturas e paredes, absortâncias solares de coberturas e paredes e pés-direitos. As demais variáveis foram mantidas fixas, conforme o projeto original.

Tabela 3 – Variáveis e intervalos utilizados na otimização

Variáveis	Unidade	Valor-limite	Intervalo	Tipo
Absortância da Cobertura	-	0,2 - 0,8	0,2	Discreta
Absortância da Parede	-	0,2 – 0,8	0,2	Discreta
Pé-direito	m	2,5 – 3,5	0,5	Discreta
PAF do dormitório 1 (norte)	-	0,4 a 0,7	Livre	Contínua
PAF do dormitório 2 (sul)	-	0,4 a 0,7	Livre	Contínua
PAF do Estar (norte)	-	0,4 a 0,7	Livre	Contínua
PAF da cozinha (sul)	-	0,45 a 0,65	Livre	Contínua

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

Tabela 4 – Variação de área e PAF factíveis na otimização

Abert. Parametrizadas	PD (m)	PAF 0,4	% piso	PAF 0,7	% piso
Janela do dormitório 1 (A <sub>ÚTIL</sub> = 6,75 m <sup>2</sup> )	2,5	1 m <sup>2</sup>	15%	2,9 m <sup>2</sup>	43%
	3,0	1,2 m <sup>2</sup>	18%	3,5 m <sup>2</sup>	52%
	3,5	1,4 m <sup>2</sup>	21%	4,1 m <sup>2</sup>	61%
1/7 do piso === 0,96 m <sup>2</sup>					
	<b>PD</b>	<b>PAF 0,4</b>	<b>% piso</b>	<b>PAF 0,7</b>	<b>% piso</b>
Janela do dormitório 2 (A <sub>ÚTIL</sub> = 7,5 m <sup>2</sup> )	2,5	1 m <sup>2</sup>	13%	2,9 m <sup>2</sup>	39%
	3,0	1,2 m <sup>2</sup>	16%	3,5 m <sup>2</sup>	47%
	3,5	1,4 m <sup>2</sup>	19%	4,1 m <sup>2</sup>	55%
1/7 do piso === 1,07 m <sup>2</sup>					
	<b>PD</b>	<b>PAF 0,4</b>	<b>% piso</b>	<b>PAF 0,7</b>	<b>% piso</b>
Janela da sala de estar (A <sub>ÚTIL</sub> = 11,6 m <sup>2</sup> )	2,5	1 m <sup>2</sup>	9%	2,9 m <sup>2</sup>	25%
	3,0	1,2 m <sup>2</sup>	10%	3,5 m <sup>2</sup>	30%
	3,5	1,4 m <sup>2</sup>	12%	4,1 m <sup>2</sup>	35%
1/7 do piso === 1,66 m <sup>2</sup>					
	<b>PD</b>	<b>PAF 0,45</b>	<b>% piso</b>	<b>PAF 0,65</b>	<b>% piso</b>
Janela da cozinha (A <sub>ÚTIL</sub> = 4,2 m <sup>2</sup> )	2,5	0,6 m <sup>2</sup>	14%	1,2 m <sup>2</sup>	29%
	3,0	0,7 m <sup>2</sup>	17%	1,4 m <sup>2</sup>	33%
	3,5	0,8 m <sup>2</sup>	19%	1,6 m <sup>2</sup>	38%
1/7 do piso === 0,6 m <sup>2</sup>					

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

A variação dos parâmetros assumindo valores mínimos e máximos do intervalo pré-definido podem ser visualizados no modelo a partir do exemplo da Figura 6.

As configurações de cargas internas referente à pessoas, iluminação e equipamentos, padrões de uso e ocupação e ventilação natural foram definidas conforme o método de simulação do RTQ-R<sup>2</sup> (INMETRO, 2012).

<sup>2</sup> Sabe-se que os padrões de uso e ocupação afetam diretamente o desempenho térmico das edificações e que possuem um grau de incerteza questionável, principalmente em relação a sua generalização em um país com tantas diferenças culturais e ambientais como o Brasil. Portanto, apesar desses dados terem sido utilizados no estudo, entende-se que eles podem não corresponder a realidade local.

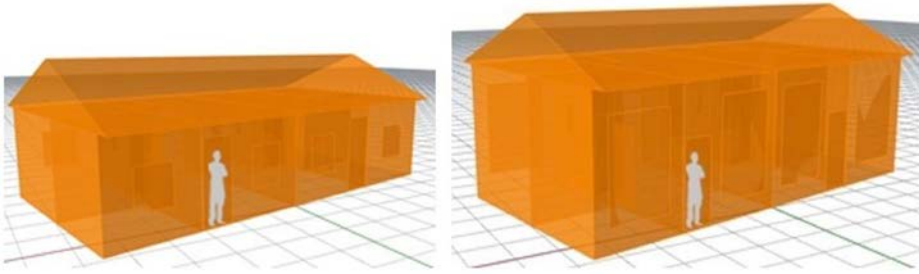


Figura 6 – Variações na geometria do modelo otimizado (Rhino 3D/ Grasshopper)

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

A modelagem do sistema de ventilação natural seguiu o definido pelo RTQ-R. Para o cálculo de ventilação natural foi utilizado o módulo *Airflow Network*<sup>3</sup> do EnergyPlus. O padrão de uso da ventilação natural foi configurado através da estratégia de controle automático, por temperatura. O padrão que controla a abertura das janelas habilita sua abertura toda vez que a temperatura do ar do ambiente ( $T_{int}$ ) for igual ou superior à temperatura do termostato ( $T_{int} \geq T_{termostato}$ ) e ao mesmo tempo em que a temperatura do ar ambiente for superior à temperatura externa ( $T_{int} \geq T_{ext}$ ). A ventilação natural foi configurada como disponível o ano inteiro, com *setpoint* de temperatura de operação ( $T_{termostato}$  igual de 20°C);

O vão efetivo de ventilação foi configurado de acordo com o modelo da janela, conforme Anexo II do RTQ-R (INMETRO, 2012), o que corresponde a 40% para as janelas de correr e basculante e 90% para portas. O coeficiente de descarga foi definido como 0,60 para janelas e portas (INMETRO, 2012).

As temperaturas de solo foram calculadas a partir do programa *Slab*, do *EnergyPlus*.

Para simulação foi utilizado o arquivo climático TRY da cidade de Chapecó/SC e consideradas as 8760 horas do ano.

### Definição das funções-objetivo

Foram criadas duas funções-objetivo para o processo de otimização. A primeira consiste no cálculo de graus-hora de resfriamento, baseada no método de simulação do RTQ-R (INMETRO, 2012) (Equação 3). Segundo o RTQ-R, graus-hora (GH) é um indicador de desempenho térmico da envoltória de edificações naturalmente ventiladas que representam o desconforto térmico proporcionado por determinada edificação. O

<sup>3</sup> *Airflow Network* é o modelo de cálculo de fluxo de ar utilizado em modelos ventilados naturalmente no EnergyPlus. O usuário pode optar em não calcular os coeficientes de pressão do vento. Nesse caso, o programa EnergyPlus utiliza a equação de Swami e Chandra (1988) para edificações de pequeno porte.

Regulamento avalia apenas o desempenho de verão por este método, o desempenho de inverno é avaliado pelo consumo por aquecimento (CA) usando sistema de ar condicionado.

No entanto, foi previamente verificado por Berleze (2020) que as edificações em estudo, de baixa renda, são predominantemente ventiladas naturalmente, sem o uso de sistemas artificiais. Em função disso, o desempenho térmico da edificação no inverno não seguiu a metodologia do RTQ-R e sim, a de graus-hora de aquecimento, conforme a Equação 4, baseada em Sorgato (2009).

$$GH_R = \sum_{i=0}^{8760} T_i > 26^\circ C, \quad (3)$$

$$GH_A = \sum_{i=0}^{8760} T_i > 18^\circ C - T_i, \quad (4)$$

Onde:

$GH_R$  é o indicador de graus-hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada (°Ch);

$GH_A$  é indicador de graus-hora de aquecimento dos ambientes de permanência prolongada (°Ch);

$T_i$  são as temperaturas operativas horárias dos ambientes de permanência prolongada (°C);

$i$  é cada uma das 8760 horas do ano (hora);

A temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento é de 26° e para o cálculo de graus-hora de aquecimento é de 18°.

Em todos os casos, quanto mais próximo de zero forem os resultados de graus-hora, maior será o indicador de conforto térmico para as situações de calor (graus-hora de resfriamento) e de frio (graus-hora de aquecimento), assim como para o ano todo.

Os dados de saída extraídos de cada simulação do EnergyPlus foram as temperaturas operativas horárias dos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala/cozinha integradas). A partir desses dados, foram calculados, por meio de equações modeladas no Grasshopper, primeiramente, os graus-hora de resfriamento e aquecimento de cada um dos ambientes de permanência e, posteriormente, por meio das médias ponderadas pelas áreas desses ambientes, os graus-hora de desconforto da edificação.

## **Processamento/otimização**

A fase de processamento consiste na otimização propriamente dita. Como já mencionado, um algoritmo genético é baseado no princípio da evolução de Darwin e, portanto, evolui por meio de mecanismos como cruzamento e mutação, e também depende da definição de outros parâmetros para descrever como o processo irá evoluir.

O Octopus, motor de otimização utilizado neste estudo, permite a utilização dos algoritmos genéticos SPEA-2 e HyPE. Este último é altamente eficiente para resolver problemas multiobjetivo e, portanto, foi o escolhido para este estudo. Além disso, o Octopus permite configurar os parâmetros referentes ao AG, tais como: tamanho da população, número de gerações, taxa de elitismo, taxa de cruzamento, probabilidade de mutação e taxa de mutação, que afetam diretamente o processo de convergência das soluções.

O tamanho da população possui grande influência no processo pois é ela que determina o tamanho do espaço de busca por soluções potenciais. A definição de uma população pequena pode conduzir a solução para um mínimo local. A adoção de uma população grande fornece uma cobertura mais representativa do domínio do problema, além de prevenir convergências prematuras para soluções locais. Entretanto, quanto maior o tamanho da população, maior é o tempo de análise e maiores são os recursos computacionais necessários.

O número de gerações determina se o processo terá tempo hábil para encontrar as melhores soluções. Um número baixo de gerações pode ser insuficiente para que as operações genéticas conduzam a uma solução ótima desejada. Contudo, um alto número de gerações pode elevar significativamente o custo computacional.

O elitismo é um mecanismo disponível para alguns tipos de AG, como os utilizados nesse estudo. Essa taxa define a porcentagem de melhores soluções que serão mantidas na geração seguinte, sem sofrer alteração. Altas taxas de elitismo podem levar a uma convergência prematura da solução, o que significa que a solução converge rapidamente para um resultado subótimo, e pode impedir que uma solução ótima global seja encontrada.

O cruzamento é o principal mecanismo de evolução de um AG. Esse mecanismo é responsável pela obtenção de novos indivíduos pela troca ou combinação de alelos. Os alelos são os valores que um gene pode assumir. Analogamente, o gene pode ser entendido como uma das variáveis de projeto e os alelos são os possíveis valores do intervalo que aquela variável pode assumir. Altas taxas de cruzamento permitem que a evolução ocorra mais cedo, acelerando a convergência para a solução ideal. Por outro lado, faz com que os parâmetros que podem compor a solução ideal se cruzem em um estágio inicial, o que pode levar à extinção antes que a combinação eficaz ocorra.

Idealmente, a taxa de cruzamento deve ficar entre 0,6 e 0,9 (MARTINO, 2015; KITCHLEY; SRIVATHSAN, 2014).

A mutação é um mecanismo que modifica aleatoriamente um ou mais valores de uma variável. Esse processo ocorre a fim de ampliar a busca através do espaço de soluções e para que haja uma maior probabilidade de melhoria da aptidão da próxima geração. A mutação é realizada a fim de prevenir que haja convergência para uma solução local, o que pode levar a uma perda de soluções potenciais. Usualmente, a probabilidade e a taxa de mutação devem ser pequenas em função da possibilidade de gerarem indivíduos potencialmente piores. O ideal é que a taxa de mutação seja menor que 0,05 (SUGA; KATO; HIYAMA, 2010).

Em trabalho anterior, Berleze (2020) avaliou o processo de convergência com diferentes configurações do algoritmo genético, tendo se mostrado mais adequadas as configurações conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Configuração dos parâmetros do algoritmo genético

Elitismo	Probabil. Mutação	Taxa Mutação	Cruzamento	Pop.	AG
0,1	0,02	0,02	0,90	100	HypE

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

É importante esclarecer que a primeira vez em que esse processo é conduzido, não se sabe até onde o algoritmo genético (AG) conseguirá avançar, encontrando as melhores soluções. Dessa forma, a tendência é permitir que o processo rode por mais gerações até que se garanta que não existirão resultados melhores, o que significa que terá havido uma convergência dos resultados. O critério de parada foi baseado na convergência das soluções através da observação dos resultados do conjunto de Pareto, dos gráficos gerados pelo Octopus, assim como na densidade da distribuição dos pontos ao longo da curva de Pareto. No estudo previamente conduzido, a convergência ocorreu aproximadamente na 60ª geração.

### Pós-processamento

A fase de pós-processamento ou análise dos resultados é a mais trabalhosa em uma OBS, exigindo muitas horas de recursos humanos. A desvantagem do Octopus em relação a outros motores de otimização é que a visualização, manipulação e análise das melhores soluções ainda não foi desenvolvida de uma maneira atrativa. Dessa forma, a maior parte dos estudos envolvendo esses métodos e esse *plugin* especificamente, acabam analisando pontualmente as gerações, sem conseguir analisar todo o processo de convergência, nem verificar a ocorrência de erros.



Nesta pesquisa, priorizou-se a importação de todas as soluções não-dominadas de todas as gerações, o que só foi possível e viável após a criação de Macros no Excel que automatizaram todo o processo de importação desses dados. Além disso, a organização dos dados também exigiu a utilização de funções avançadas e a criação de filtros no Excel.

## RESULTADOS

Essa seção resume alguns dos principais resultados encontrados por Berleze (2020). No estudo original foram analisadas três soluções: (1) a solução com melhor desempenho térmico no verão (menor  $GH_R$ ); (2) a solução com melhor desempenho térmico no inverno (menor  $GH_A$ ); (3) a solução ótima global (menor distância até o ponto de utopia). Aqui, contudo, serão apresentados apenas os resultados da solução ótima global e sua comparação com os resultados do modelo base (edificação original).

### Modelo base - Edificação Original

O modelo base da edificação em estudo corresponde a uma configuração de fechamentos que englobam paredes e coberturas leves e não isoladas<sup>4</sup>, baixo pé-direito (2,5 m), janelas com área de 1,44 m<sup>2</sup> (dormitórios e sala) e 0,80 m<sup>2</sup> (cozinha), absorvências da cobertura de 0,8 e absorvência de parede 0,4.

Tabela 6 – Desempenho térmico e configuração das variáveis do modelo base

$GH_R$	$GH_A$	$GH_{ANUAL}$	PD (m)	JANELA DORM. NORTE m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA DORM. SUL m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA SALA NORTE m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA COZ. SUL m <sup>2</sup> (PAF)	ABS COB	ABS PAR
4.114	8.555	12.669	2,5	1,44 (0,5)	1,44 (0,5)	1,44 (0,5)	0,8 (0,55)	0,8	0,4

Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

Esse modelo resultou em um desconforto por calor ( $GH_R$ ) de 4.114 °Ch e em um desconforto por frio ( $GH_A$ ) de 8.555 °Ch, totalizando um desconforto térmico anual ( $GH_{ANUAL}$ ) de 12.669 °Ch, conforme Tabela 6. O modelo correspondente a essa edificação pode ser visualizado na Figura 7.

Nesta etapa, foram analisados os dados de saída do EnergyPlus considerando a mesma faixa de conforto utilizada para o cálculo dos graus-hora de desconforto, ou seja, 18 °C a 26 °C.

<sup>4</sup> Nomenclatura sugerida pela autora (BERLEZE, 2020).

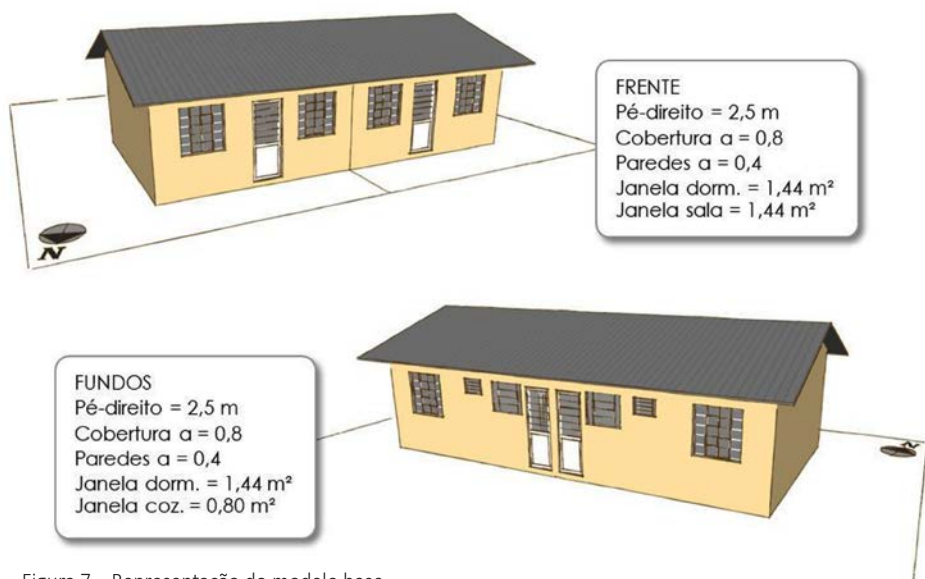


Figura 7 – Representação do modelo base.  
Fonte: Elaborado pela Autora, 2020.

A Figura 8, representa a temperatura externa do ar e a temperatura operativa da edificação com dados horários ao longo de um ano. Também foi demarcada a faixa de conforto (entre  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Percebe-se que as maiores temperaturas da edificação excedem as temperaturas externas, uma vez que estão sobrepostas.

Além disso, as temperaturas acima da faixa de conforto, apresentaram uma média de  $2,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , distribuídas em 1.440 horas, o que representa 16% do ano em desconforto térmico por calor. Em relação às temperaturas abaixo da faixa de conforto, apresentaram uma média de  $3,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , distribuídas em 2.642 horas, o que representa 30% do ano em desconforto térmico por frio. O desconforto por calor, portanto, além de ocorrer com menor frequência, também apresenta uma diferença menor de temperatura em relação à faixa de conforto que o desconforto por frio.

As menores temperaturas (Figura 9) ocorrem no dormitório 1 de ambas as unidades, localizados a nordeste e noroeste da edificação, alcançando  $5,6 \text{ }^\circ\text{C}$  no inverno. As maiores temperaturas ocorreram nas salas/cozinhas das casas 1 e 2, no dormitório 2 da casa 2, a sudoeste e no dormitório 1 da casa 1, a nordeste, alcançando  $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$  no verão.

Em relação aos desconfortos (Figura 10), o ambiente que apresentou o maior desconforto térmico foi o dormitório 1, com 17% do ano em desconforto por calor e 31% do ano em desconforto por frio. O menor desconforto por calor (14%) foi gerado no dormitório 2 da casa 1 (a sudeste) e o menor desconforto por frio (29%) foi gerado na sala/cozinha e dormitório 1 (a noroeste) da casa 2.

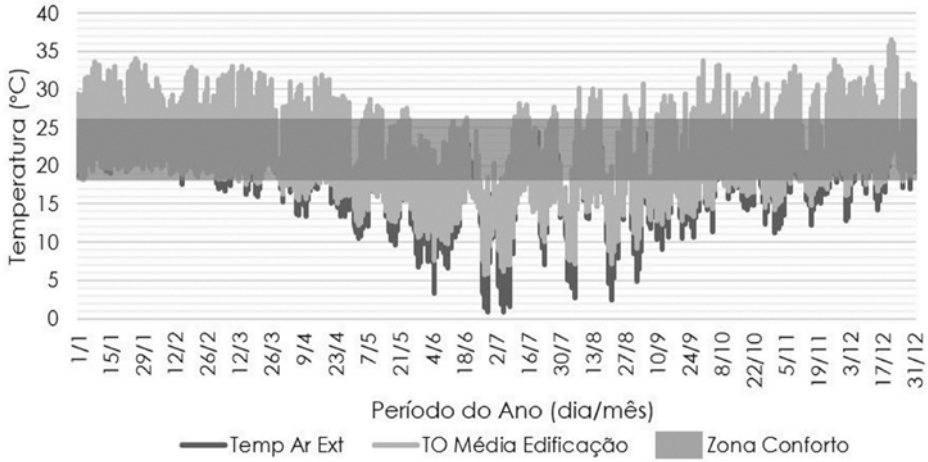


Figura 8 – Temperatura externa do ar X temperatura operativa da edificação.  
 Fonte: Autora.

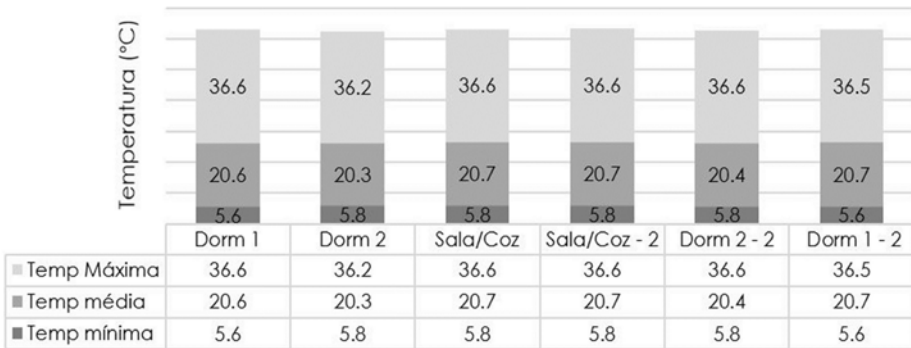


Figura 9 – Temperaturas operativas mínimas, máximas e médias dos APP.  
 Fonte: Autora.

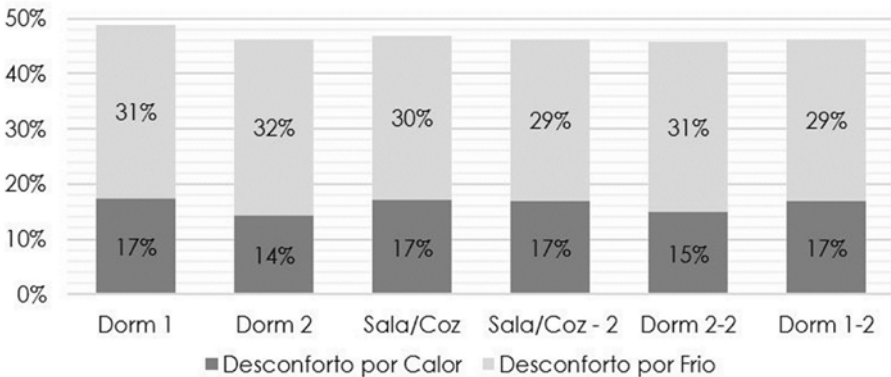


Figura 10 – Porcentagem de desconforto dos APP.  
 Fonte: Autora.

Percebe-se, portanto, que a moradia existente não proporciona conforto térmico aos moradores. Uma vez verificado que é baixo o uso de sistemas de condicionamento artificial no local, deveria haver uma maior preocupação em relação ao desempenho térmico dessas habitações e com o bem-estar dos moradores.

### Solução “ótima” global

A otimização baseada em simulação resultou em soluções com  $GH_R$  que variaram de 233 °Ch a 2.287 °Ch (desconforto por calor) e com  $GH_A$  que variaram de 4.791 °Ch a 6.954 °Ch (desconforto por frio).

A Figura 11 apresenta o conjunto ótimo de Pareto com todas as soluções encontradas no processo de otimização. Com acesso a esses dados, o projetista poderia definir se pretende priorizar uma ou outra estação do ano ou ainda o desempenho anual da edificação (definido pela soma de  $GH_R$  e  $GH_A$ ).

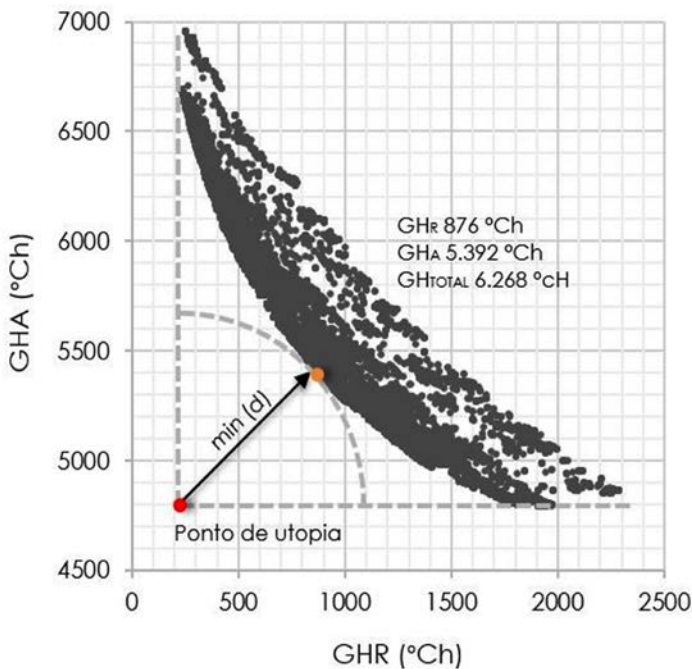


Figura 11 – Conjunto de soluções de Pareto.  
Fonte: Autora.

No entanto, percebe-se que o número de soluções é muito grande para ser analisado individualmente e uma maneira de encontrar a solução “ótima” global, utilizada por Bre e Fachinotti (2017), é através do cálculo da menor distância até o ponto de utopia (calculada por meio da Equação 2).

É importante mencionar que o método proposto por Bre e Fachinotti (2017) leva à praticamente a mesma solução que o cálculo do melhor desempenho anual utilizado em Berleze (2020), e definido pelo menor somatório de  $G_{H_R}$  e  $G_{H_A}$  para uma mesma solução. Os métodos se correspondem devido ao fato de que, neste estudo, ambas as funções-objetivo se referem a mesma variável (graus-hora) e nenhuma delas sofreu ponderação.

A solução “ótima” que proporcionou o melhor desempenho ao longo do ano, apresentou um  $G_{H_R}$  de 876 °Ch e um  $G_{H_A}$  de 5.392°Ch, totalizando 6.268 °Ch de desconforto (Tabela 7). O menor desconforto anual, portanto, não é proporcionado nem pelo modelo que apresenta os menores valores de  $G_{H_R}$  nem pelo modelo com os menores valores de  $G_{H_A}$  e sim, um modelo que apresenta desempenhos individuais intermediários.

Esse é o menor desconforto anual possibilitado por essa geometria e pela configuração de fechamentos proposta. Em termos percentuais, significa que essa solução apresentou uma melhora no conforto térmico em relação ao modelo base de: 79% no período quente; 37% no período frio; e 51% ao longo do ano todo.

Tabela 7 – Desempenho térmico e configuração das variáveis da solução “ótima”

$G_{H_R}$	$G_{H_A}$	$G_{H_{ANUAL}}$	PD (m)	JANELA DORM. NORTE m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA DORM. SUL m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA SALA NORTE m <sup>2</sup> (PAF)	JANELA COZ. SUL m <sup>2</sup> (PAF)	ABS COB	ABS PAR
876	5.392	6.268	2.5	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)	2,2 (0,6)	0.55 (0,4)	0.2	0.8

Fonte: Autora.

É importante reforçar que os materiais de paredes e cobertura dessa solução são pesados, com maior inércia e atraso térmico que os fechamentos do modelo base. Para este tipo de combinação de fechamentos (Figura 12) se mostrou mais adequado o pé-direito baixo (contribui para a inércia térmica da edificação), aberturas pequenas nos dormitórios (a norte e a sul) e cozinha, e abertura média/grande na sala de estar (a norte). Além disso, contribuíram para o melhor desempenho ao longo do ano a absorvância baixa da cobertura, assim como a absorvância alta das paredes.

Também é importante destacar que dificilmente chegaríamos a essa combinação de variáveis se, enquanto arquitetos, contássemos apenas com a nossa experiência/empirismo.

A Figura 13 apresenta a temperatura externa do ar e a temperatura operativa da edificação com dados horários ao longo de um ano, com demarcação da faixa de

conforto. Nesse caso, percebe-se que as temperaturas internas já são bem mais amenas que as temperaturas externas e ainda que no caso anterior.

As temperaturas acima da faixa de conforto, apresentaram uma média de  $1,1^{\circ}\text{C}$  distribuídos em 729 horas, o que representa 8% de desconforto térmico por calor. Em relação às temperaturas abaixo da faixa de conforto, apresentaram uma média de  $3^{\circ}\text{C}$  distribuídos em 1.778 horas, o que representa 20% do tempo em desconforto térmico por frio. No total, haveria desconforto térmico em 28% das horas do ano, seja por calor ou por frio.

As menores temperaturas mínimas ( $7,7^{\circ}\text{C}$ ) ocorrem na casa 1, igualmente no dormitório 1, dormitório 2 e sala/cozinha. A maior temperatura mínima ( $8,1^{\circ}\text{C}$ ) é atingida no dormitório 1 da casa 2 (a noroeste). As maiores temperaturas ( $31,8^{\circ}\text{C}$ ) ocorreram no dormitório 1 das casas 1 e 2 (a nordeste e noroeste, respectivamente) (Figura 14).

Em relação aos desconfortos (Figura 15), o ambiente que apresentou o maior desconforto térmico foi o dormitório 1 da casa 1, com 10% do ano em desconforto por calor e 20% do ano em desconforto por frio. O menor desconforto por calor (6%), assim como o maior desconforto por frio (23%) foi atingido no dormitório 2 da casa 1 (a sudeste). Já o menor desconforto por frio (19%) foi gerado no dormitório 1 da casa 2 (a noroeste).

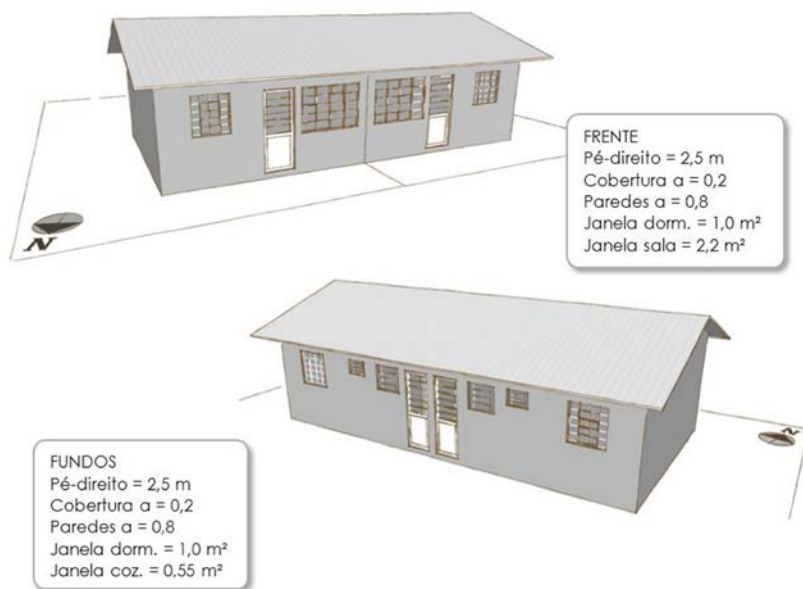


Figura 12 – Representação da solução “ótima”.  
Fonte: Autora.

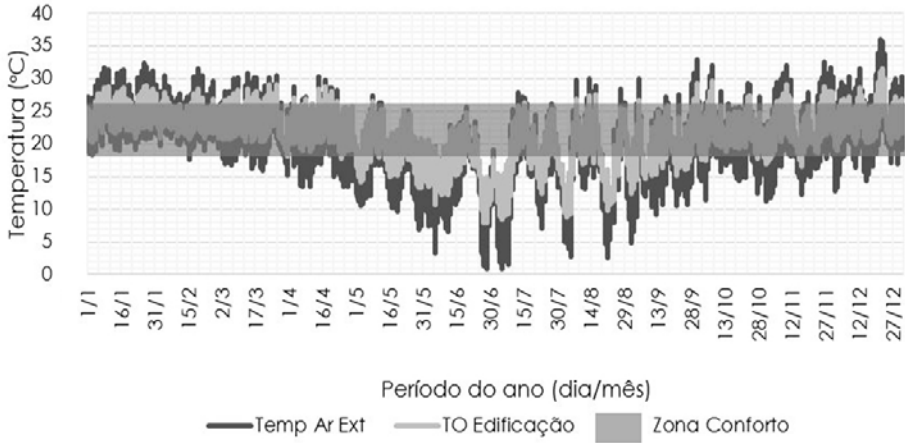


Figura 13 – Temperatura externa do ar x temperatura operativa da edificação.  
 Fonte: Autora.

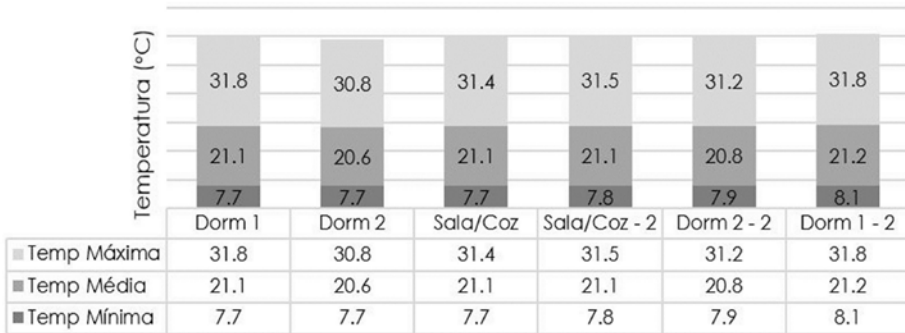


Figura 14 – Temperaturas operativas mínimas, máximas e médias dos APP.  
 Fonte: Autora.

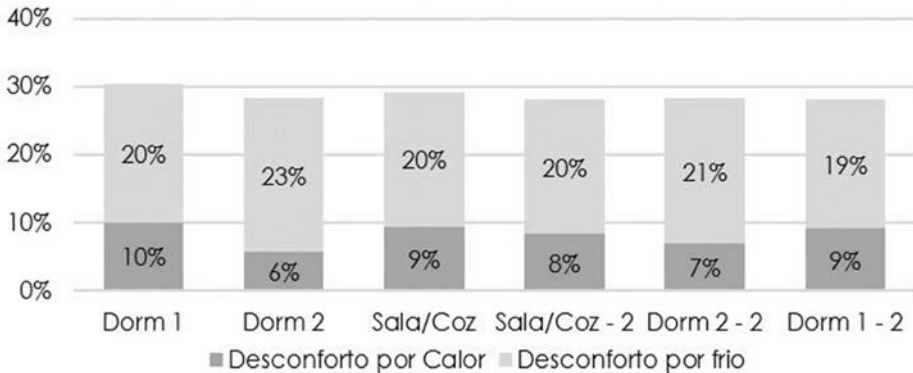


Figura 15 – Porcentagem de desconforto dos APP.  
 Fonte: Autora.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi utilizar técnicas de otimização baseada em simulação para encontrar as soluções que apresentassem os melhores desempenhos térmicos para um modelo de edificação habitacional existente em Chapecó/SC. Características da geometria como pé-direito e tamanhos das janelas foram variadas, assim como a absorvância dos fechamentos de cobertura e paredes.

A partir da análise da solução “ótima”, que apresentou melhor desempenho anual, foi possível analisar o potencial de melhoria no conforto térmico dessa habitação. Além disso, foi possível analisar os desconfortos térmicos dos ambientes de permanência prolongada e compará-los com o modelo base.

O modelo que resultou no melhor desempenho térmico ao longo do ano, apresentou temperaturas mais amenas que o modelo base tanto no verão quanto no inverno, em todos os ambientes. Comparativamente, a quantidade de horas em desconforto do modelo base para o modelo proposto também baixou, em média, de 16% para 8% no verão e de até 30% para 20% no inverno. Os resultados do estudo confirmaram a análise bioclimática que havia demonstrado maior desconforto no período frio, além de uma porcentagem de horas com necessidade de aquecimento artificial. O desconforto por frio se mostrou bem menos sensível às estratégias passivas, demonstrando que nessa região do país o inverno é a estação mais problemática para edificações ventiladas naturalmente.

Em relação à combinação de fechamentos, pode-se considerar que alguns parâmetros são intuitivos quando o objetivo é o melhor desempenho térmico de verão ou de inverno isoladamente. No entanto, quando o objetivo é melhorar o desempenho térmico anual da edificação, apenas métodos de simulação e otimização podem indicar quais parâmetros são mais adequados. Nesse sentido, a otimização apresentou alguns resultados pouco previsíveis, o que reafirma a vantagem em utilizar esse tipo de método nos estágios iniciais do projeto arquitetônico.

Em uma otimização baseada em simulação, a etapa de pré-processamento, ou seja, de modelagem e configuração geral do modelo ainda é a mais rápida e fácil. Quando utilizados *softwares* paramétricos como o Rhino e Grasshopper, exigem pouco ou nenhum conhecimento de programação em *script*, o que facilita sua utilização pelo arquiteto/pesquisador. A etapa de processamento ou otimização propriamente dita consome tempo de simulação (horas/dias) e recursos computacionais (diferentemente da simulação caso a caso). Portanto, o projetista tem liberdade para desenvolver outras tarefas enquanto a otimização está em processamento no computador.

De todas as fases necessárias para realizar a OBS, certamente a de pós-processamento ou análise dos resultados é a mais trabalhosa, exigindo muitas horas de

recursos humanos, principalmente se o pesquisador quiser analisar todas as soluções do conjunto.

Este tipo de estudo reforça a importância da simulação computacional para edificações que visam à eficiência energética e o desempenho térmico. Técnicas de otimização possibilitam o aumento no número de variáveis e de intervalos do estudo, além de possibilitar um aumento significativo na complexidade do estudo e, ainda, aumentar a robustez dos resultados. Ferramentas mais amigáveis também contribuem para a adesão desse tipo de método em escritórios de arquitetura e engenharia, como ferramentas de auxílio à tomada de decisão no que tange à forma e a configuração de fechamentos a fim de garantir edificações mais eficientes e confortáveis.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## REFERÊNCIAS

ABRISHAMI, S. et al. Virtual generative BIM workspace for maximising AEC conceptual design innovation: A paradigm of future opportunities. *In: Construction Innovation*, V. 15, nº. 1, p. 24-41, 2015.

ANALYSISBIO. *Software Livre*. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares>>. Acesso em: 9.set. 2018.

ASCIONE, F. et al. Optimization of building envelope design for nZEBs In Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. *In: Applied Energy*, V. 183, p. 938–957, 2016.

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

BEN. *Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018*. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

BERLEZE, A. S. *Desempenho funcional e térmico, parametrização e otimização multiobjetivo: aplicações para habitações sociais unifamiliares e Chapecó/SC*. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Rio de Janeiro, 2020.

BRE, F.; FACHINOTTI, V. D. A computational multi-objective optimization method to improve energy efficiency and thermal comfort in dwellings. *In: Energy and Buildings*, [S. l.], V. 154, p. 283–294, 2017.

BRE, F.; ROMAN, N.; FACHINOTTI, V. D. An efficient metamodel-based method to carry out multi-objective building performance optimizations. *In: Energy and Buildings*, [S. l.], V. 206, p. 109576, 2020.

EVINS, R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *In: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V. 22, p.230–245, 2013.

FONSECA, L. P. G.; NUNES, V. D. L.; SANTANA, L. O.; CARLO, J. C.; CÉSAR JÚNIOR, K. M. L. Otimização multiobjetivo das dimensões dos ambientes de uma residência unifamiliar baseada em simulação energética e estrutural. *In: Ambiente Construído*, Porto Alegre, V. 17, nº. 1, p. 267-288, jan./mar. 2017.

FOOD4RHINO. Disponível em: <https://www.food4rhino.com/app/octopus>. Acesso em: 20.nov. 2019.

- FRAZER, J. Parametric computation: history and future. *In: Architectural Design*, V. 86, n.º 2, p. 18-23, 2016.
- INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R*. Rio de Janeiro, 2012.
- KITCHLEY, J.J.L.; SRIVATHSAN, A. Generative methods and the design process: a design tool for conceptual settlement planning. *In: Applied Soft Computing*. V. 14, p. 634–652, 2014.
- KOLAREVIC, B. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York; London: Taylor & Francis, 2009.
- LEACH, N. Parametrics Explained. *Next Generation Building*, V. 1, n.º 1, p. 33-42, 2014.
- LOPES, J. A. B. O. *Modern programming for generative design extended abstract*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: 2012.
- MAGNIER, L. *Multiobjective Optimization of Building Design Using Artificial Neural Network and Multiobjective Evolutionary Algorithms*. Ph.D Thesis in Applied Science (Building Engineering) at Concordia University Montreal, Quebec. Canada, 2008.
- MARTINO, J. A. *Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura*. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 2015.
- MARTINS, T. A. L. *De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipomorfologias urbanas em contexto de clima tropical*. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.
- NGUYEN, A.; REITER, S.; RIGO, P. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *In: Applied Energy*, Elsevier, n.º. 113, ago. 2014.
- SANTANA, L. O. *Otimização multiobjetivo da geometria de edificações residenciais energeticamente eficientes por meio de algoritmos genéticos*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2016.
- SORGATO, M. J. *Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente*. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.
- SUGA, K.; KATO, S.; HIYAMA, K. Structural analysis of Pareto-optimal solution sets for multi-objective optimization: An application to outer window design problems using Multiple Objective Genetic Algorithms. *In: Building and Environment*, V. 45, p. 1144–1152, 2010.
- SWAMI, M. V.; S. CHANDRA. 1988. Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow. *In: ASHRAE Transactions* 94 (1988) (Pt 1), p. 243-266.
- TUBELO, R. *et al*. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil’s moderate climates zones. *Building and Environment*, V. 133, p. 213–227, 2018.
- UNEP. United Nations Environment Programme. Sustainable Building. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings>. Acesso em: 20.Ago. 2020.

---

## **Simulações de desempenho termo-energético para sistemas de vedações verticais em habitações de interesse social**

Tatiane Pilar de Almeida

Marcos Martinez Silvosso

Alice de Barros Horizonte Brasileiro

---

**A** arquitetura tem como uma de suas principais funções oferecer condições necessárias ao conforto humano no interior das edificações independentemente de quais sejam as condições climáticas externas, aproveitando fatores agradáveis do clima e amenizando os aspectos negativos (FROTA; SCHIFFER, 2003). Para isso, o projeto arquitetônico deve ser desenvolvido de acordo com as características bioclimáticas de cada local, levando em consideração as necessidades de implantação e orientações das fachadas, a adequada geometria da edificação, a localização e o dimensionamento de aberturas e também a materialidade do edifício, sobretudo no que concerne aos sistemas de vedação.

A envoltória é interface entre o ambiente externo e interno, controlando, portanto, as trocas térmicas entre a edificação e o meio, fenômeno altamente dependente das propriedades termofísicas dos materiais utilizados no envelope. Conforme apontam Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a especificação dos materiais construtivos que irão compor uma edificação é uma das decisões que competem ao arquiteto, mostrando-se assim fundamental conhecer o comportamento térmico dos sistemas de vedações, especialmente dos fechamentos verticais no caso de edificações multifamiliares com mais de um pavimento, pois esses elementos correspondem à maior parcela da envoltória nesses casos. Este conhecimento mostra-se imprescindível para que os projetistas estabeleçam, de maneira eficiente, estratégias adequadas às especificidades de diferentes climas.

É necessário então que o emprego de sistemas construtivos seja pensado considerando questões energéticas e ambientais, principalmente no caso de edificações

residenciais. Relatórios referentes ao balanço energético nacional mostram que no setor de edificações, são as residenciais que apresentam o maior consumo de energia elétrica (EPE, 2018), consequência do grande número de unidades no país. Em paralelo a isso, há a necessidade de diminuir o déficit habitacional existente, o que é cumprido parcialmente com o fornecimento de habitações de interesse social (HIS), como as produzidas pelo Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Nos últimos dez anos, o PMCMV, teve como uma de suas marcas a disseminação de projetos padronizados ao longo de todo o território nacional, em que a adoção de uma mesma tipologia de edificação e de um mesmo sistema construtivo em localidades de clima totalmente distintos tem sido uma constante.

Diversos são os estudos que apontam tal padronização. Amore, Shimbo e Rufino (2015) afirmam que a produção do PMCMV para a Faixa 1 (faixa de renda mais baixa apoiada pelo programa) teve como características mais significativas a ampla padronização dos projetos e o grande porte dos empreendimentos, fatores impostos pela lógica da escala industrial almejada pelas empresas de construção civil. Essa prática leva então à criação de edificações inadequadas ao clima do local em que são construídas, tornando-as altamente dependentes de sistemas artificiais de climatização para que se obtenha condições adequadas de conforto nos ambientes, apresentando consequentemente baixos níveis de eficiência energética.

No Rio de Janeiro esse processo de padronização para as HIS do programa não foi diferente, sendo percebido principalmente quando se trata dos sistemas construtivos utilizados, em que aproximadamente 80% das edificações multifamiliares são compostas por paredes maciças de concreto moldadas *in loco*, estando o restante da produção dividido entre a utilização de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, alvenaria estrutural em blocos de concreto e alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos (VASQUEZ, 2017). Contudo, o sistema de parede de concreto, justamente o mais utilizado, mostra-se inadequado para todas as zonas bioclimáticas do país (MORENO, 2013).

Segundo Ribeiro (2016), a partir de depoimentos dos moradores de um conjunto habitacional do PMCMV no Rio de Janeiro, houve um aumento nos custos de vida da população que deixou a favela para viver em tais condomínios, de modo que muitos não puderam arcar com os valores referentes ao fornecimento de energia elétrica e têm retornado às suas moradias anteriores. Bodach e Hamhaber (2010), para o contexto geral de HIS no Rio de Janeiro, também evidenciaram que a manutenção e operação de uma edificação apresentam gastos aos usuários com os quais não podem arcar, indicando ainda que os aumentos nas tarifas de energia se tornaram um problema, uma vez que tal parcela da população utiliza grande parte de seus salários no pagamento de energia. Tais relatos apontam a necessidade de edificações que apresentem baixa demanda energética no setor de habitações de interesse social.

No Brasil, normas como a NBR 15220 (ABNT, 2005), a NBR 15575 (ABNT, 2013) e o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, o RTQ-R (BRASIL, 2012), foram instituídas visando estabelecer parâmetros mínimos relativos ao desempenho termo-energético em edificações residenciais. Tais normatizações têm ganhado força e reconhecimento no âmbito da construção civil, estabelecendo parâmetros e métodos de avaliação de desempenho térmico de edificações.

Dentre esses métodos, há os que indicam a utilização de simulações computacionais. Com o uso desse tipo de ferramenta, é possível avaliar o desempenho termo-energético de edificações construídas ou em fase de projeto, permitindo que sejam analisadas em um curto espaço de tempo diversas alternativas relacionadas às características geométricas e construtivas da edificação, contribuindo para a melhoria de seu desempenho. A especificação adequada de materiais construtivos a serem utilizados nos sistemas de vedações de edificações, considerando os elementos climáticos do local, permitem então uma melhor condição final de conforto no ambiente interno, contribuindo para a redução do consumo energético. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo geral discutir a influência dos materiais opacos dos sistemas de vedações verticais no desempenho termo-energético de edificações multifamiliares de interesse social localizadas na cidade do Rio de Janeiro, pertencente à Zona Bioclimática 8.

A presente pesquisa baseia-se em simulações computacionais de desempenho termo-energético, apresentando duas etapas principais. Primeiramente realizou-se diferentes simulações para uma das tipologias de HIS multifamiliares empregadas no Rio de Janeiro variando os materiais opacos que compõem os sistemas de vedações verticais da mesma. Foram considerados nas simulações os principais sistemas construtivos adotados pelo PMCMV: alvenaria estrutural em blocos de concreto, alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, alvenaria de vedação com tijolo cerâmico e paredes maciças de concreto. Essa fase da pesquisa teve como objetivo avaliar comparativamente os diferentes sistemas construtivos empregados em habitações de interesse social.

Na segunda etapa, apenas para as paredes maciças de concreto (sistema construtivo mais utilizado no Rio de Janeiro), foram realizadas novas simulações variando elementos em sua composição e, conseqüentemente, os valores de suas propriedades termofísicas, com vistas à condução de melhores resultados de desempenho termo-energético. Analisou-se, portanto, o comportamento dos materiais empregados, considerando a sua influência no desempenho termo-energético da edificação selecionada, a fim de ressaltar a importância dos fechamentos opacos dos sistemas de vedações verticais para adequada interação entre edificação e clima. Ressalta-se que a pesquisa apresentada no presente capítulo é parte da



dissertação de mestrado de um dos autores (ALMEIDA, 2019), correspondendo, portanto, a uma parcela da dissertação<sup>1</sup>.

## **O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA NO RIO DE JANEIRO**

Instituído em 2009 pela Lei nº 11.977, o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) teve como principal objetivo promover a produção e aquisição de imóveis para os segmentos populacionais com renda familiar mensal de até 10 (dez) salários-mínimos (BRASIL, 2009). Desde seu início, estima-se que o programa tenha financiado a contratação de 4,2 milhões de unidades habitacionais em todo o país, das quais 2,6 milhões foram entregues (BRASIL, 2017). Desse montante, aproximadamente 1.380.166 habitações são referentes à Faixa 1 do programa, sendo que no Estado Rio de Janeiro foram entregues 91.931 unidades dessa mesma faixa até 2016 (CEF, 2017). Foram contratadas para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro um total de 77.413 unidades habitacionais da Faixa 1 do PMCMV, estando 32.714 dessas unidades habitacionais localizadas no município do Rio de Janeiro (CEF, 2017). Para 2018, era esperada a construção de 650 mil unidades habitacionais em todo o país, das quais 130 mil seriam referentes à faixa 1, entretanto, a CEF suspendeu, por falta de recursos, a contratação de novas unidade do programa para as faixas 1 e 1,5 (BRASIL, 2018).

Cabe ressaltar a importância que o tema HIS, por si só, tem em um país como o Brasil, cujo déficit habitacional total é de aproximadamente 6,18 milhões de habitações, apresentando suas maiores parcelas nas regiões Sudeste e Nordeste (FJP, 2017). Para o Estado Rio de Janeiro, o déficit habitacional é de 468.292 habitações, sendo aproximadamente 89,7% desse déficit referente a faixa de renda de até 3 (três) salários-mínimos. Do valor total relativo ao déficit do Estado, 351.443 habitações concentram-se na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, dos quais 87,7% compreendem a faixa de renda até 3 (três) salários-mínimos (FJP, 2017). Apesar de válidos, vê-se que os esforços para a construção de novas habitações sociais ainda não são suficientes para suprir a demanda proveniente da crescente taxa de urbanização.

Ademais, a viabilidade econômica dos empreendimentos está intimamente ligada a um dos problemas identificados na produção do programa: a escala dos conjuntos habitacionais. Segundo Cardoso e Lago (2015), as principais soluções técnicas utilizadas pelas

---

<sup>1</sup> O texto completo apresenta ainda uma etapa de experimentos laboratoriais que buscaram avaliar empiricamente o comportamento térmico de painéis de vedação. Foi desenvolvido um procedimento experimental (câmara térmica) que permitiu estimar a condutividade térmica e o fluxo térmico de uma parede de concreto de referência e da variação de composição que, de acordo com os resultados das simulações da etapa 2, propiciou um melhor desempenho térmico. Por fim, foram realizadas novas simulações comparando os resultados obtidos a partir das propriedades termofísicas calculadas por meio dos ensaios realizados em laboratório com os obtidos nos instrumentos normativos e utilizados nas etapas anteriores de simulação, validando a etapa experimental e os resultados das análises de desempenho termo-energético da edificação.

empresas de construção civil ligadas à habitação de interesse social no Rio de Janeiro, paredes de concreto maciço e alvenaria estrutural, exigem uma grande escala para se viabilizarem financeiramente, ou seja, há a necessidade de concentrar a produção em empreendimentos de grande porte, gerando então graves problemas para a gestão dos mesmos, a qual muitas vezes é realizada pelos próprios moradores. Fazendo uso de justificativas baseadas em margens de lucro mais estreitas, os projetos muitas vezes trazem a implantação de vários condomínios contíguos no intuito de ganhar na escala da produção, alguns deles com mais de 2.000 unidades habitacionais (VASQUEZ, 2017).

Além disso, tais técnicas construtivas fazem também parte da estratégia de maximização de rentabilidade das construtoras, ação que acaba por resultar na padronização dos projetos, além de impedirem qualquer modificação por parte dos usuários em suas habitações (AMORE; SHIMBO; RUFINO, 2015). Desse modo, apesar dos procedimentos adotados por tais empresas aumentarem a produtividade, reduzindo o tempo para a entrega das moradias, isso não significa que as diferentes características sociais, culturais e ambientais de cada local serão devidamente atendidas.

De acordo com Vasquez (2017), a principal tipologia habitacional empregada pelo PMCMV na Região Metropolitana do Rio de Janeiro é configurada por edificações de apartamentos multifamiliares, implantados em blocos de 3 até 5 pavimentos, correspondendo a mais de 80% da produção total. Em sua pesquisa, informa ainda que tais edificações apresentam majoritariamente quatro sistemas construtivos, sendo as paredes maciças de concreto moldadas *in loco* o predominante (com uma incidência de aproximadamente 80%), seguida respectivamente pela alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, alvenaria estrutural com blocos de concreto e alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos. Ressalta ainda que edificações construídas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos eram predominantes no início do programa, perdendo a posição a partir de 2012 para as paredes de concreto moldadas *in loco*, logo após a publicação da norma de paredes de concreto em maio de 2012, a NBR 16.055 (ANBT, 2012).

Segundo Cardoso (2013), para acelerar o processo de construção e reduzir os custos de produção, os projetos do PMCMV acabaram por apresentar as mesmas características construtivas e elevada padronização ao longo de todo o país. Como consequência, criou-se uma gama de edificações sem distinção projetual para os diferentes climas do Brasil e que, por conseguinte, apresentaram níveis de eficiência energética insatisfatórios (MORENO, 2013). De acordo com Ceotto (2006), 80% dos custos relativos à vida útil de uma edificação estão na fase de sua operação, sendo o consumo referente à energia um dos custos predominantes. É preciso ressaltar que grande parte da população não possui recursos para arcar com tais despesas, ficando dependente do comportamento térmico de suas edificações. Em se tratando de HIS, tal fato é ainda mais preocupante pois, por

ser uma esfera extremamente desfavorecida, o controle de custos é um fator significativo para essa parcela da população.

Em função do elevado número de habitações de interesse social (HIS) produzidas no Brasil, em especial pelo Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) desde o seu lançamento em 2009, muitas pesquisas procuraram avaliar o desempenho termoenergético de tais habitações. Por apresentarem soluções projetuais com características construtivas semelhantes e elevada padronização, independente da região na qual estivessem situadas, essas edificações acabaram por apresentar níveis de eficiência energética insatisfatórios e associados principalmente a problemas relacionados aos materiais utilizados na envoltória, dimensionamento/tipo de abertura de esquadrias, ausência de sombreamento e de ventilação cruzada, dentre outros (BRASILEIRO; MORGADO; ALMEIDA, 2016).

Moreno (2013) avalia o desempenho térmico da envoltória de uma edificação unifamiliar, considerando sistemas construtivos que são tipicamente utilizados nos projetos de habitação de interesse social, para as oito zonas bioclimáticas brasileiras. Foram realizadas avaliações em três etapas, a primeira consistiu em avaliações segundo o a NBR 15220-3, a NBR 15575; e o Selo Casa Azul, além de avaliações relativas aos pré-requisitos da envoltória de acordo com o RTQ-R. Na segunda etapa a autora realizou avaliações das envoltórias selecionadas segundo o método prescritivo do RTQ-R. A partir dessas etapas foram selecionados dois envelopes para as análises por meio do método da simulação do RTQ-R, o primeiro foi o que recebeu o maior número de aprovações nas avaliações anteriores, apresentando bloco cerâmico com revestimento interno e externo de argamassa como constituição das vedações verticais; o segundo envelope é composto por paredes maciças de concreto, sendo esse o que recebeu o menor número de aprovações.

Os resultados da pesquisa de Moreno (2013) apontaram que os sistemas construtivos que possuem cerâmica em sua composição e cores externas claras, bem como lâmina de alumínio sob as telhas apresentam os melhores níveis de desempenho, já os que apresentaram paredes maciças de concreto em sua composição obtiveram níveis inferiores de desempenho, sendo reprovados em todas as zonas bioclimáticas. Os níveis de eficiência observados nas avaliações da edificação unifamiliar, de apenas um pavimento, pela avaliação do método prescritivo e de simulação do RTQ-R são insatisfatórios, sendo “C” o nível máximo obtido; pelo método prescritivo a autora observou que o nível “D” foi predominante, e pelo método de simulação o nível “E”.

Triana; Lamberts; Sassi (2015) avaliaram o desempenho energético de tipologias representativas do PMCMV no Brasil. Para alcançar tal objetivo, fizeram uso do método prescritivo do RTQ-R. Os autores realizaram um levantamento dos projetos referentes às diferentes faixas de renda do PMCMV - faixas 1, 2 e 3 -, utilizando como fonte listas de edificações

financiadas pela Caixa Econômica Federal (CEF) e os projetos requisitados aos agentes públicos, municipais e às companhias de construção. As edificações levantadas foram submetidas à avaliação pelo método prescritivo do RTQ-R para duas diferentes zonas bioclimáticas, ZB3 e ZB8. As edificações, em todas as situações, apresentaram desempenhos insatisfatórios, observou-se que, nos resultados de avaliação das unidades habitacionais estudadas, não houve nenhuma classificação “A” ou “B”, apenas “C”, “D” e “E”. De modo geral, notou-se que para ambas as zonas bioclimáticas, as condições de verão apresentaram os piores resultados, sendo que para a ZB8 as edificações apresentaram desempenho pior do que para a ZB3. Nas edificações com mais de um andar os autores observaram que o desempenho do pavimento térreo é melhor que o dos pavimentos intermediários e do que o do último pavimento, que apresentou os piores resultados.

Buscando avaliar e discutir o nível de classificação de eficiência energética de três conjuntos do PMCMV no Rio de Janeiro, os quais foram erguidos com dois diferentes sistemas construtivos, paredes maciças de concreto e alvenaria estrutural de blocos de concreto, Brasileiro *et al.* (2016) utilizaram o método prescritivo do RTQ-R para realizar as avaliações das envoltórias de tais conjuntos. Assim como outros estudos, observaram que não houve unidades com classificação “A” ou “B” em suas envoltórias. Os principais motivos para tais resultados são relativos às restritas áreas úteis para a entrada de ventilação natural, à utilização do sistema construtivo de paredes de concreto - o qual apresenta uma transmitância térmica de  $4,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  (BRASIL, 2013), superior ao limite máximo permitido na ZB8, que é  $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  (BRASIL, 2012), se forem utilizadas cores médias/claras -, à falta de ventilação cruzada em algumas unidades e à implantação de algumas edificações voltadas para orientações desfavoráveis.

Vasquez (2017) avaliou o desempenho térmico de dois projetos habitacionais do PMCMV (faixa 1) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, utilizando o método da simulação proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013). A autora analisou duas edificações multifamiliares, o empreendimento A, constituído de paredes de concreto moldadas *in loco*, e o empreendimento B, constituído de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. O empreendimento A não atingiu o nível mínimo para o desempenho térmico para os ambientes de ocupação prolongada e não atende a exigência de ventilação mínima para a sala; já o empreendimento B teve desempenho térmico considerado adequado para as vedações verticais, mas também não atendeu a exigência de ventilação mínima para a sala. A autora comenta ainda que vários fatores têm influência no desempenho final da edificação, como as propriedades termofísicas dos materiais, a orientação e geometria da edificação, além da dimensão e vedação das esquadrias, de modo que uma única variável não responde isoladamente pelo resultado do desempenho de uma edificação, sendo necessário que o projetista realize uma avaliação conjunta das características do projeto.

A partir do apresentado sobre habitações de interesse social no Brasil, pôde-se evidenciar o desempenho térmico insatisfatório de tais edificações frente aos diferentes climas do país, especialmente para cidades localizadas na zona bioclimática 8. De forma agravante, a revisão bibliográfica permitiu que fosse identificado o uso predominante do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas *in loco* no Rio de Janeiro (ZB8), o qual foi dito como inadequado para todas as zonas bioclimáticas do país, sendo, geralmente, o que se mostra com pior desempenho termo-energético.

Além disso, as pesquisas apontam também a influência de propriedades termofísicas dos materiais da envoltória no desempenho das edificações, destacando principalmente a absorvância, a capacidade térmica, a transmitância e a inércia térmica. No entanto, viu-se que a maioria dos autores utilizam edificações unifamiliares como objeto de estudo, tipologias que não podem ser consideradas representativas em relação as unidades produzidas pelo PMCMV no Rio de Janeiro, as quais são majoritariamente edifícios de apartamentos com mais de um pavimento. Além disso, pôde-se perceber também que, apesar da quantidade significativa de trabalhos relacionados às propriedades termofísicas dos materiais, poucos foram especificamente para o Rio de Janeiro.

Nesse sentido, observa-se a importância de realizar avaliações de desempenho termo-energético considerando os principais sistemas construtivos empregados pelo PMCMV em habitações de interesse social multifamiliares que estejam localizadas no Rio de Janeiro, discutindo a influência dos materiais opacos dos sistemas de vedações verticais. Além disso, verifica-se a necessidade de avaliar estratégias que promovam melhor adequabilidade do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas *in loco* ao clima local.

## **SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TERMO-ENERGÉTICO PARA UMA TIPOLOGIA HABITACIONAL DO PMCMV NO RIO DE JANEIRO**

A presente pesquisa baseia-se em simulações para uma tipologia de HIS multifamiliar empregada no Rio de Janeiro variando os materiais opacos que compõem seus sistemas de vedações verticais, utilizando o programa EnergyPlus e seguindo parâmetros definidos pelo RTQ-R (BRASIL, 2012). Foram analisados os sistemas em alvenaria estrutural em blocos de concreto, alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, alvenaria de vedação com tijolo cerâmico e paredes maciças de concreto. Foram realizadas simulações somente para as paredes maciças de concreto, variando elementos em sua composição, como a adição de revestimento ou de material isolante térmico.

O estudo de caso consiste em um projeto representativo de habitação multifamiliar do PMCMV (faixa 1) empregado no Rio de Janeiro, cidade que apresenta clima quente e úmido, com baixa amplitude térmica diária e altas temperaturas durante o verão,

apresentando situação de desconforto por calor durante 63% do ano (PROJETEEE, 2018). O modelo utilizado nas simulações termo-energéticas apresenta geometria linear, sendo composto por quatro pavimentos tipo, com quatro unidades por andar. Os apartamentos possuem dois dormitórios, um banheiro e sala com cozinha integrada, totalizando 37 m<sup>2</sup> (Figura 1), apresentam pé direito de 2,60m. As características das esquadrias da edificação encontram-se descritas na Tabela 1.



Figura 1 – Planta do pavimento tipo da edificação analisada.

Fonte: Os Autores.

Tabela 1 – Características das esquadrias da edificação em estudo

COMPONENTES		DIMENSÕES
Janelas	Sala (2 folhas de correr)	1,40 x 1,20m (Fator de Ventilação 0,45)
	Quartos e Cozinha (2 folhas de correr)	1,20 x 1,20m (Fator de Ventilação 0,45)
	Banheiro (báscula)	0,60 x 0,60m (Fator de Ventilação 0,70)
Portas	Entrada - Sala	0,80 x 2,10 m
	Quartos e Banheiro	0,70 x 2,10 m

Fonte: Os Autores, adaptado do projeto legal fornecido pela CEF.

As simulações foram realizadas para quatro diferentes orientações (Figura 2), todas as condições de modelagem foram inseridas segundo o método da simulação proposto pelo RTQ-R (BRASIL, 2012), considerando o padrão de ocupação, uso da iluminação, cargas internas de equipamentos e uso de ventilação encontrado no mesmo. A temperatura do solo foi calculada utilizando o pré-processador Slab, integrado ao EnergyPlus.

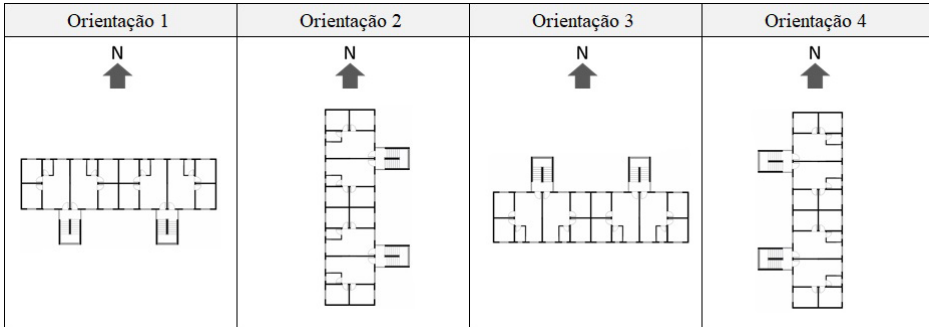


Figura 2 – Orientações da tipologia utilizada.

Fonte: Os Autores.

Para o Rio de Janeiro, cidade pertencente à Zona Bioclimática 8, a avaliação da envoltória é realizada apenas para as condições de verão, sendo analisado somente o desempenho da envoltória quando naturalmente ventilada, ressaltando que o padrão de uso da ventilação foi modelado utilizando a estratégia de controle automático por temperatura, o qual habilita a abertura das janelas quando a temperatura do ar interna for igual ou superior à temperatura do termostato, adotada pelo RTQ-R como 20°C, e quando a temperatura interna for superior à externa. É calculado então o indicador graus-hora para resfriamento ( $GH_r$ ) a partir dos valores de temperatura operativa de cada ambiente de permanência prolongada (APP). Os resultados em  $GH_r$  são classificados de acordo com limites pré-determinados, apresentando níveis que podem variar de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), que indicam diferentes aportes de energia demandada para atingir situações de conforto ao usuário no ambiente interno. Para cada um dos quatro pavimentos foi então calculado o valor médio do indicador  $GH_r$ .

Além dos parâmetros descritos anteriormente, para a realização das simulações computacionais faz-se necessária a inserção dos valores referentes às propriedades termofísicas dos materiais presentes na envoltória de uma edificação. Na Etapa 1 foram realizadas diferentes simulações para a tipologia selecionada, variando os materiais opacos que compõem os sistemas de vedações verticais da mesma, considerando os principais sistemas construtivos adotados pelo PMCMV no Rio de Janeiro. As simulações foram realizadas para as quatro orientações descritas.

Na Etapa 2, apenas para as paredes maciças de concreto, sistema construtivo mais utilizado pelo PMCMV, foram realizadas novas simulações para as quatro orientações variando detalhes da composição das paredes externas, como a espessura, a absorvância, a condutividade, a densidade, o uso de revestimento e o isolamento térmico, objetivando identificar a influência de tais elementos na melhoria do desempenho térmico da edificação para esse sistema. A variação de densidade e condutividade deu-se pela adoção de outros materiais em conjunto ao concreto, como o emprego da argila expandida e do poliestireno



expandido (EPS), levando em consideração características adequadas para que os mesmos fossem utilizados no sistema construtivo, inclusive considerando sua classe de resistência. Os valores das propriedades dos materiais empregados nas simulações podem ser verificados da Tabela 2 à Tabela 4.

**Tabela 2 – Propriedades Termofísicas dos Materiais comuns às Simulações**

ELEMENTOS COMUNS A TODAS AS SIMULAÇÕES				
Construção	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)	Absortância - $\alpha$
Cobertura	Laje maciça (10,0cm), câmara de ar (> 5,0 cm), Telha cerâmica	2,01	273	0,7
Laje entre pavimentos	Laje maciça de concreto (10 cm)	3,74	240	0,7

Fonte: Os Autores, adaptado do projeto legal fornecido pela CEF.

**Tabela 3 – Propriedades Termofísicas dos Materiais comuns às Simulações**

ETAPA 1					
Sistema	Construção	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)	Absortância - $\alpha$
Sistema 1	Bloco de Concreto (14,0 x 19,0 x 39,0 cm)	Argamassa de Revestimento externo (2,5 cm) e interno (2,5 cm)	2,69	272	0,5
Sistema 2	Bloco Cerâmico (14,0 x 19,0 x 29,0 cm)	Argamassa de Revestimento externo (2,5 cm) e interno (2,5 cm)	2,08	186	0,5
Sistema 3	Vedação de Tijolos Cerâmicos de 8 furos (12,0 x 19,0 x 19,0 cm)	Argamassa de Revestimento externo (2,5 cm) e interno (2,5 cm)	2,24	155	0,5
Sistema 4	Paredes de concreto moldadas <i>in loco</i> (10 cm)		4,40	240	0,5

Fonte: Autores, calculados de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) e o Anexo V do RAC (BRASIL, 2013).

**Tabela 4 – Propriedades Termofísicas dos Materiais dos Sistemas de Vedações Verticais Externas da Etapa 2**

ETAPA 2					
Variação	Construção	Descrição	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)	Absortância - $\alpha$
Variação 1	Paredes de concreto moldadas in loco (10 cm) com baixa absorvância		4,40	240	<b>0,3</b>
Variação 2	Paredes de concreto moldadas in loco (12 cm)		4,19	288	0,5
Variação 3	Paredes de concreto (10 cm)	Argamassa de Revestimento externo (1,5 cm) e interno (1,5 cm)	3,95	300	0,5
Variação 4	Paredes de concreto (10 cm)	Concreto com Argila Expandida	3,77	170	0,5
Variação 5	Parede sanduíche de Concreto e EPS	Concreto Externo (4cm) - EPS (4 cm) - Concreto Interno (4 cm)	0,82	194	0,5
Variação 6	Parede sanduíche de Concreto e EPS com baixa absorvância	Concreto Externo (4cm) - EPS (4 cm) - Concreto Interno (4 cm)	0,82	194	<b>0,3</b>

Fonte: Autores, calculados de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) e o Anexo V do RAC (BRASIL, 2013).

Os materiais de cobertura e laje entre pavimentos foram mantidos constantes em todas as simulações. Além disso, na Etapa 1, todas as simulações foram realizadas considerando-se o mesmo valor para a absorvância ( $\alpha$ ) das paredes externas; apenas na Etapa 2 houve variação desse valor em alguns casos, objetivando observar a influência de tal variável. Os valores de absorvância adotados foram baseados nas recomendações da NBR 15575 para simulações com alternativas para cores claras ( $\alpha = 0,3$ ) e médias ( $\alpha = 0,5$ ), não foram realizadas simulações para cores escuras ( $\alpha = 0,7$ ) pois tal variação teria um impacto negativo nos resultados das simulações, interferindo na real influência da constituição da envoltória.

Os gráficos apresentam resultados referentes ao indicador  $GH_R$  de acordo com as variações propostas para a envoltória, sendo este o resultado relativo ao desempenho termo-energético anual da edificação. Na etapa 1, para cada pavimento, calculou-se a média ponderada dos valores em  $GH_R$  de cada unidade habitacional (UH) em função de

suas áreas, resultando em uma média de desempenho termo-energético de cada andar, valores que então foram explanados em gráficos comparativos para cada um dos quatro diferentes sistemas construtivos e das quatro orientações. O mesmo foi feito para a etapa 2, comparando então o desempenho das propostas construtivas simuladas com o da parede maciça de concreto e também com o do sistema construtivo que, na etapa 1, mostrou-se com melhor desempenho termo-energético. Os resultados obtidos são relativos ao desempenho da edificação considerando o período de um ano na simulação, sendo expressos através do indicador  $GH_r$  e classificados segundo os níveis de eficiência propostos pelo RTQ-R para o Rio de Janeiro (Tabela 5).

**Tabela 5 – Limites de classificação dos valores em  $GH_r$  para a cidade do Rio de Janeiro, utilizando arquivo climático TRY, de acordo com o método da simulação do RTQ-R**

ZB8 - Cidade: Rio de Janeiro (RJ)			
Eficiência	EqNumEnvResfr	Método da Simulação: Arquivo TRY	
A	5	$GH_r \leq$	4159
B	4	4159 < $GH_r \leq$	6686
C	3	6686 < $GH_r \leq$	8548
D	2	8548 < $GH_r \leq$	10714
E	1	10714 < $GH_r$	

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2012.

### Etapa 1 das simulações

As análises referentes à Etapa 1 da pesquisa consistiram na avaliação de desempenho termo-energético relativa à utilização dos seguintes componentes nas vedações verticais da edificação, os quais são adotados pelo PMCMV no Rio de Janeiro na construção de HIS: alvenaria estrutural em blocos de concreto, alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, alvenaria de vedação com tijolo de oito furos e paredes maciças de concreto. Na Figura 3 e na Figura 4 podem ser observados os resultados referentes à Orientação 1 e Orientação 3, respectivamente. Essas orientações apresentam o maior eixo da edificação no sentido Leste-Oeste, de modo que as maiores superfícies da edificação estão voltadas para Norte e Sul, recebendo menor carga térmica que as Orientações 2 e 4.

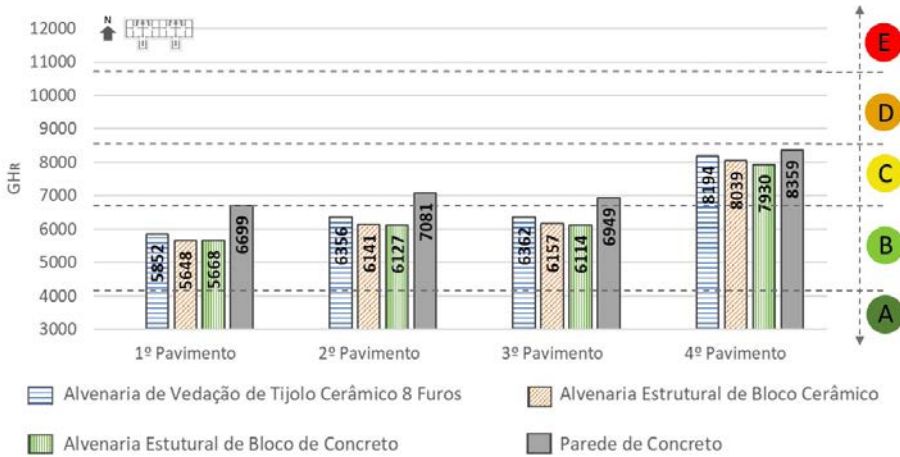


Figura 3 – Desempenho termo-energético em GHR para os diferentes materiais na Orientação 1. Fonte: Os Autores.

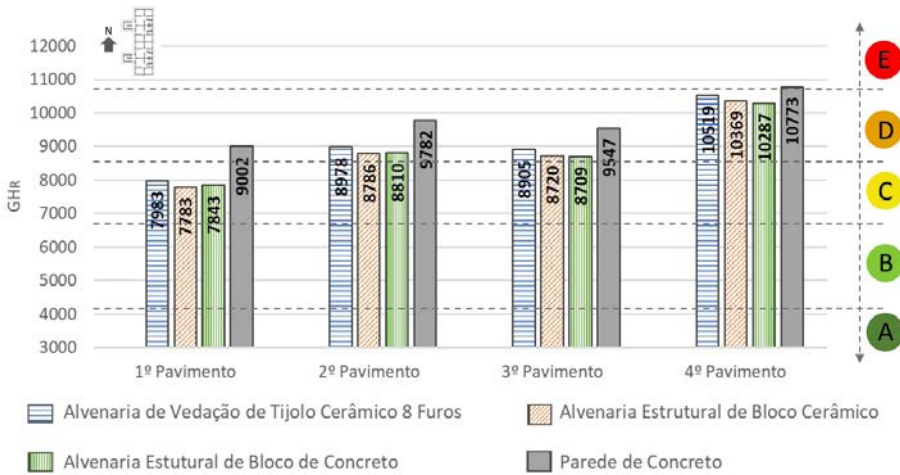


Figura 4- Desempenho termo-energético em GHR para os diferentes materiais na Orientação 3. Fonte: Os Autores.

Os resultados obtidos para tais orientações são bastante similares, apresentaram classificação “B” para todos os materiais nos três primeiros pavimentos, com exceção das paredes maciças de concreto, com classificação “B” apenas no primeiro pavimento da Orientação 3 e “C” nos demais, inclusive no primeiro pavimento da Orientação 1; já os melhores resultados variaram entre a alvenaria estrutural em bloco de concreto e em bloco cerâmico. Para o último andar, todos os sistemas analisados receberam classificação “C”. É necessário destacar que, embora as paredes de concreto possuam nível “B” de

eficiência energética no térreo da Orientação 3, o resultado encontra-se extremamente próximo ao limite entre os níveis “B” e “C”, sendo seu desempenho termo-energético claramente inferior ao apresentado pelos demais sistemas construtivos, ainda que apresentem a mesma classificação.

Já na Figura 5 e na Figura 6 podem ser observados os resultados referentes à Orientação 2 e Orientação 4, respectivamente. Essas orientações apresentam o maior eixo da edificação no sentido Norte-Sul, estando as maiores áreas de fachada voltadas para Leste e Oeste, recebendo maior carga térmica que as Orientações 1 e 3, apresentando, portanto, classificações inferiores às mostradas anteriormente. Como esperado, os piores resultados obtidos são referentes às paredes em concreto maciço, a qual obteve, para a Orientação 2, classificação “D” nos três primeiros pavimentos e, no último, classificação “E”; já para a Orientação 4 a classificação foi “D” em todos os pavimentos. Para ambas as orientações, todos os demais sistemas característicos do PMCMV apresentaram classificação média “C” no primeiro pavimento e classificação “D” nos três últimos.

Os piores desempenhos encontrados no último pavimento e a aproximação entre os resultados das simulações para os diferentes os tipos de vedações verticais analisadas, apontam para a grande influência do ganho de carga térmica pela cobertura, indicando que, para as unidades habitacionais do último andar de edificações multifamiliares localizadas na ZB8, deve-se atentar não somente aos elementos compondo as vedações verticais, mas especialmente aos materiais empregados na cobertura.

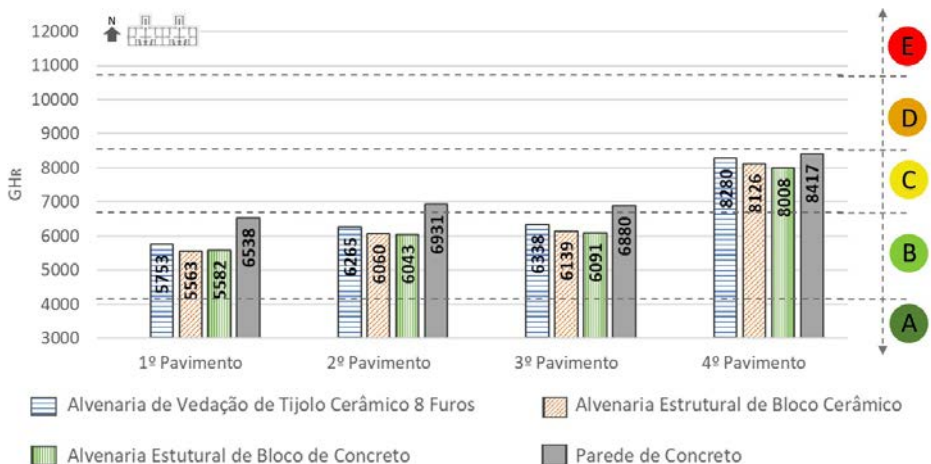


Figura 5 – Desempenho termo-energético em  $GH_r$  para os diferentes materiais na Orientação 2.  
Fonte: Os Autores.

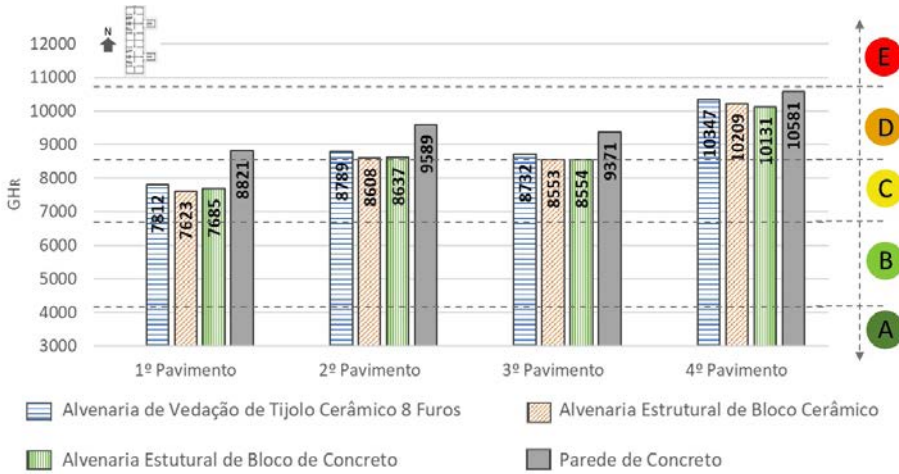


Figura 6 – Desempenho termo-energético em  $GH_r$  para os diferentes materiais na Orientação 4.  
Fonte: Os Autores.

Com os resultados das simulações, a classificação geral da envoltória da edificação pôde ser calculada para cada um dos diferentes sistemas construtivos (Tabela 6). Ressalta-se novamente que a avaliação dos pré-requisitos da envoltória não foi realizada, de modo que os resultados obtidos são oriundos unicamente da média ponderada do indicador  $GH_r$  de cada unidade, não sendo considerados eventuais rebaixamentos de classificação.

Tabela 6 – Classificação Final da Envoltória dos Sistemas Construtivos analisados na Etapa 1 e resultados do indicador  $GH_r$

Classificação Final da Envoltória - Etapa 1	Orientação 1	Orientação 2	Orientação 3	Orientação 4
Sistema 1 Alvenaria Estrutural em Bloco de Concreto	6460 B	8912 D	6431 B	8752 D
Sistema 2 Alvenaria Estrutural em Bloco Cerâmico	6497 B	8915 D	6472 B	8754 D
Sistema 3 Alvenaria de Vedação em Tijolo Cerâmico de 8 Furos	6691 C	9096 D	6659 B	8920 D
Sistema 4 Parede de Concreto Moldada <i>In Loco</i>	7272 C	9776 D	7191 C	9590 D

Fonte: Os Autores.

Primeiramente pode ser verificado que não houve nenhuma classificação “A”, indicando uma limitação dos sistemas construtivos utilizado pelo PMCMV e da própria geometria da edificação. Em relação aos sistemas construtivos, observa-se uma grande semelhança entre os resultados obtidos pela alvenaria estrutural em blocos de concreto (sistema 1) e pela alvenaria estrutural em bloco cerâmico (sistema 2), os quais apresentaram a mesma classificação para todas as orientações, diferindo apenas nos valores absolutos do indicador  $GH_R$ . Embora haja proximidade entre resultados, considerando tais valores em  $GH_R$ , a alvenaria em blocos de concreto apresentou os melhores resultados para as quatro orientações. Os piores resultados, tanto em classificação quanto em valores absolutos, são do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas *in loco* (sistema 4).

Ao comparar a orientação 1 e 3, nota-se que a orientação 3 apresentou resultados ligeiramente melhores que a orientação 1, apresentando três classificações nível “B” e apenas uma classificação nível “C”, ao passo que a orientação 1 contou com duas classificações “B” e duas “C”. Observando o indicador  $GH_R$  para essas orientações em caso de mesma classificação, a orientação 3 apresenta ainda os melhores resultados. Como pode ser visto na Tabela 12, o limite de classificação entre os níveis “B” e “C” é de 6686  $GH_R$ , nesse caso, embora o sistema construtivo em alvenaria de vedação em tijolo cerâmico tenha obtido classificação “C” na orientação 1, seu resultado em  $GH_R$  (6691) encontra-se extremamente próximo ao limiar entre os níveis. Tal resultado aponta para as questões discutidas por Morgado e Brasileiro (2017), em que destacam a percepção equivocada gerada em situações em que os resultados do indicador  $GH_R$  apresentam valores muito próximos, porém acarretam duas classificações diferentes.

As orientações 2 e 4 apresentaram a mesma classificação para todos os sistemas construtivos em questão, obtendo nível “D” para os quatro sistemas simulados. Analisando então pelo indicador  $GH_R$ , a orientação 2 apresenta os piores resultados dentre todas para os quatro sistemas construtivos. Observa-se que a variação de orientação pode resultar em uma diferença de até dois níveis de classificação, como ocorre com os sistemas construtivos 1, 2 e 3 (variações de “B” para “D” apenas com a mudança de orientação).

## **Etapa 2 das simulações**

Como o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* obteve os piores resultados nas análises da primeira etapa e por ser o mais empregado em habitações multifamiliares pelo PMCMV no Rio de Janeiro, optou-se por realizar uma segunda etapa na pesquisa, por meio de novas simulações, conforme descrito no método. Os resultados de tais simulações



foram então expressos em gráficos semelhantes aos apresentados na Etapa 1, nos quais, além dos resultados das novas simulações, foram também incluídos como referencial para comparações os resultados obtidos para as paredes maciças de concreto e para a alvenaria estrutural de blocos de concreto (melhor desempenho termo-energético obtido na primeira etapa). Nas Figuras 7 e 8 podem ser observados o desempenho termo-energético para as variações propostas para o sistema construtivo de paredes maciças de concreto moldadas *in loco* para a Orientações 2 e 4 respectivamente.

No caso da Orientação 2, para o primeiro pavimento, a variação com argila expandida e a variação de espessura apresentaram classificação “D”, a mesma que a parede de concreto original, já as demais variações obtiveram nível “C”. Para o segundo pavimento, apenas as opções em que houve a inclusão do EPS alcançaram nível “C”, todas as outras variações receberam “D”. O resultado para o terceiro pavimento foi muito semelhante ao segundo, mas nesse caso, a parede de concreto com absorvância 0,3 também obteve classificação “C”. O último pavimento apresentou os piores resultados, praticamente todas as variações foram classificadas com desempenho “D”, apenas a variação com argila expandida obteve o mesmo resultado que a parede de concreto original, “E”.

Os resultados para a Orientação 2 e 4 diferem em termos de classificação apenas para a parede de concreto com absorvância 0,3 no segundo pavimento, a qual nesse caso recebeu nível “C”. Entretanto, essa diferença de classificação confirma as questões levantadas por Morgado e Brasileiro (2017), pois a parede de concreto com absorvância 0,3 no segundo pavimento apresentou 8601  $\text{GH}_R$  na Orientação 2 e 8441  $\text{GH}_R$  na Orientação 4, sendo o limite entre os níveis “C” e “D” 8548  $\text{GH}_R$ , ou seja, ambos os valores estão próximos ao limiar entre os níveis.

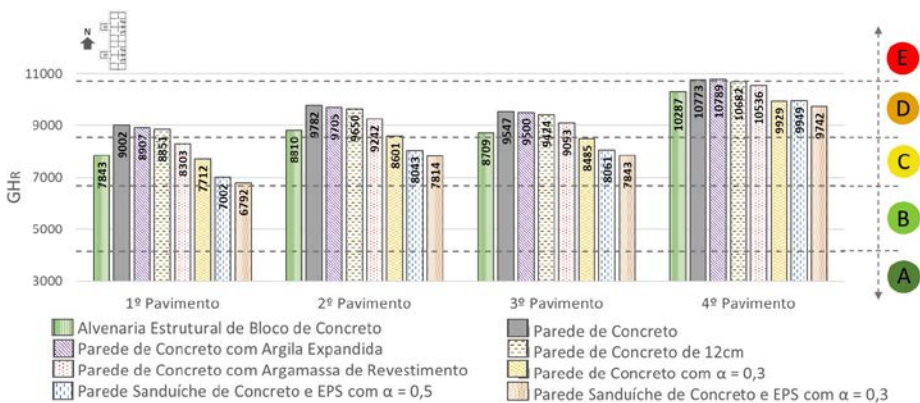


Figura 7 – Desempenho termo-energético em  $\text{GH}_R$  para cada uma das variações simuladas na Etapa 2 para a Orientação 2.

Fonte: Os Autores.

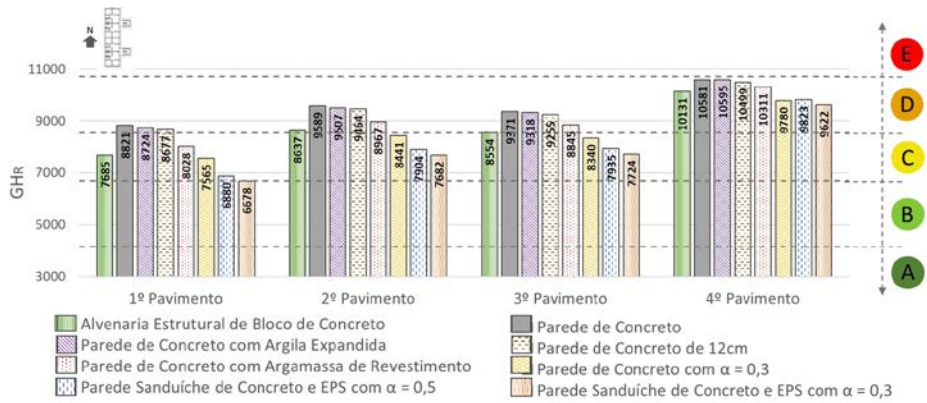


Figura 8 – Desempenho termo-energético em  $GHR_r$  para cada uma das variações simuladas na Etapa 2 para a Orientação 4.  
 Fonte: Os Autores.

Nas figuras a seguir podem ser observados os resultados para a Orientação 1 (Figura 9) e Orientação 3 (Figura 10), as quais apresentam maiores áreas de fachada voltadas para Norte e Sul. No primeiro pavimento, para a Orientação 3, todas as variações obtiveram classificação “B”; no caso da Orientação 1, apenas a parede maciça de concreto original da etapa 1 obteve classificação “C”, estando o indicador  $GHR_r$  próximo ao limite entre os níveis “B” e “C”, como já mencionado. O resultado do segundo e terceiro pavimentos apresentaram as mesmas classificações em ambas as orientações, apenas as variações com argila expandida e com aumento de espessura receberam nível “C”, assim como a parede de concreto original, as demais apresentaram nível “B”. Por fim, no último pavimento, todas as variações foram classificadas com nível de eficiência “C”.

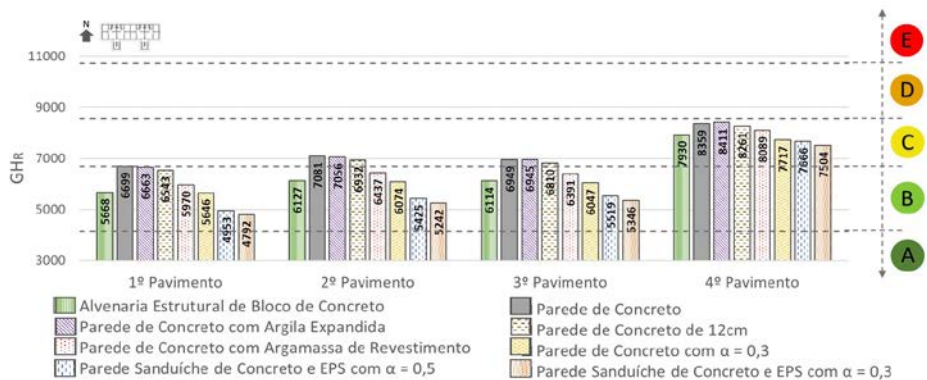


Figura 9 – Desempenho termo-energético em  $GHR_r$  para cada uma das variações simuladas na Etapa 2 para a Orientação 1.  
 Fonte: Os Autores.

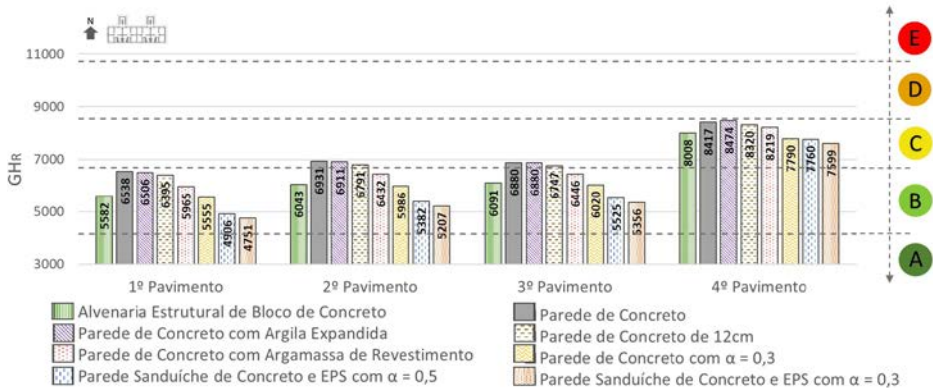


Figura 10 – Desempenho termo-energético em  $GHR_r$  para cada uma das variações simuladas na Etapa 2 para a Orientação 3.

Fonte: Os Autores.

Observa-se que a variação de espessura (parede de concreto com 12 cm) e a variação de condutividade térmica e densidade adotadas na parede de concreto com argila expandida exerceram pouca influência no desempenho térmico em relação à parede de concreto original. Embora a utilização de argamassa de revestimento apresente um resultado um pouco mais significativo que os anteriores, essa variação ainda não mostra vantagens em relação ao desempenho térmico da alvenaria estrutural de bloco de concreto em nenhum pavimento. É fundamental que se destaque que não é intenção dessa pesquisa invalidar o potencial da utilização dessas variações. Na composição com argila expandida, por exemplo, os valores das propriedades termofísicas utilizadas nas simulações foram normativos, oriundos na NBR 15220 (ABNT, 2005), os quais podem não representar completamente as diferentes possibilidades de utilização desse material como agregado leve, bem como, sua utilização com teores que permitam obter resultados mais expressivos no desempenho térmico para paredes de concreto.

Claramente, dentre as variações analisadas, as que mais impactaram o desempenho termo-energético em relação ao obtido pela parede de concreto original foram as que diminuíram o valor da absorvância e/ou incluíram uma camada de EPS na composição da mesma, mostrando-se sempre superiores ao desempenho da parede composta por alvenaria estrutural em blocos de concreto. Ainda que a variação unicamente da absorvância (parede de concreto com absorvância igual a 0,3) apresente um desempenho térmico inferior ao da inclusão de uma camada de EPS (sem variação da absorvância) nos três primeiros pavimentos para todas as orientações analisadas, esse resultado se inverte para o quarto pavimento no caso das Orientações 2 e 4, mostrando-se ligeiramente superior à parede sanduíche de concreto e EPS com absorvância 0,5. No quarto pavimento das Orientações 1 e 3, ainda que a variação com EPS apresente um resultado menor para o indicador  $GHR_r$ , a diferença entre eles é praticamente irrelevante.

O EPS apresenta um baixíssimo valor de condutividade térmica, o qual resulta em uma elevada resistência térmica, dificultando, portanto, a condução do fluxo de calor através da envolvente vertical. No caso do quarto pavimento os ganhos térmicos através da cobertura são muito elevados, de modo que o EPS, que originalmente foi empregado para reduzir a transmissão de calor do meio externo para o interno, acaba por diminuir a dissipação do calor absorvido pela cobertura. Sendo assim, para esse andar, a utilização do EPS mostra-se desnecessária, apresentando vantagens pouco significativas em comparação com a variação apenas da absorvância, indicando diferentes demandas para cada pavimento.

Para a Etapa 2 foi também realizada a classificação da envoltória para cada uma das variações analisadas (Tabela 7). Mesmo com as modificações propostas não houve classificação “A”, mostrando que alterações unicamente nos materiais das vedações verticais da edificação não foram capazes de garantir a obtenção do maior nível de eficiência energética de acordo com a classificação do RTQ-R para a edificação analisada.

**Tabela 7 – Final da Envoltória das Variações analisadas na Etapa 2 e resultados do indicador GH<sub>R</sub>**

<b>Classificação Final da Envoltória - Etapa 2</b>	<b>Orientação 1</b>	<b>Orientação 2</b>	<b>Orientação 3</b>	<b>Orientação 4</b>
Variação 1 - Parede de Concreto com Absortância 0,3	6371	8682	6338	8532
	B	D	B	C
Variação 2 - Parede de Concreto 12cm	7137	9652	7063	9473
	C	D	C	D
Variação 3 - Parede de Concreto com Argamassa de Revestimento	6772	9294	6766	9038
	C	D	C	D
Variação 4 - Parede de Concreto com Argila Expandida	7269	9725	7189	9536
	C	D	C	D
Variação 5 - Parede de Concreto e EPS com Absortância 0,5	5895	8264	5893	8135
	B	C	B	C
Variação 6 - Parede de Concreto e EPS com Absortância 0,3	5731	8048	5728	7927
	B	C	B	C
Sistema 1 - Alvenaria Estrutural em Bloco de Concreto (Etapa 1)	6460	8912	6431	8752
	B	D	B	D
Sistema 4 - Parede de Concreto Moldada <i>In Loco</i> (Etapa 1)	7272	9776	7191	9590
	C	D	C	D

Fonte: Os Autores.

Todas as classificações para as Orientações 1 e 3 foram iguais, havendo diferenças apenas a nível do indicador  $GH_R$ , sendo a Orientação 3 a que apresenta menores valores de tal indicador e, portanto, melhor desempenho. Para as Orientações 2 e 4 houve diferença de classificação apenas para a parede de concreto com absorvância 0,3 (variação 1), com nível “D” na orientação 2 e “C” na orientação 4. Novamente tem-se uma variação de nível de classificação sem que haja diferenças significativas no valor absoluto do indicador  $GH_R$ . Quanto às variações simuladas, as melhores classificações finais da envoltória foram para a parede de concreto e EPS com absorvância 0,3, seguida pela parede de concreto e EPS com absorvância 0,5 e depois pela parede de concreto de absorvância 0,3, sendo essas três as únicas variações com resultados melhores que a alvenaria estrutural em blocos de concreto. Todas as variações apresentaram resultados melhores para o indicador  $GH_R$  que a parede de concreto original, entretanto, as variações de espessura, utilização de revestimento em argamassa e a utilização de argila expandida não proporcionaram variação de nível na classificação final da envoltória.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou uma avaliação relativa ao desempenho termo-energético de uma HIS multifamiliar do PMCMV com o objetivo de discutir a influência de materiais opacos dos sistemas de vedações verticais no desempenho térmico de edificações. Para isso, a pesquisa adotou como método simulações computacionais realizadas com o auxílio do *software* EnergyPlus.

Os resultados encontrados permitiram a identificação do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas *in loco* como o que apresenta pior desempenho térmico dentre os utilizados pelo PMCMV, ao passo que a alvenaria estrutural em blocos de concreto obteve o melhor desempenho. Além das análises comparativas entre os materiais, foi observado que os benefícios proporcionados pela utilização de orientações favoráveis às fachadas dos edifícios muitas vezes são mais eficientes que a troca dos materiais das vedações verticais, cabendo ao arquiteto conhecer os resultados trazidos por diferentes decisões projetuais e a melhor forma de os empregar em conjunto.

Em função do alto índice de utilização desse sistema construtivo desde 2012, em detrimento aos demais, e de sua baixa eficiência energética quando submetido a simulações de desempenho térmico para o clima do Rio de Janeiro, torna-se clara a necessidade da busca por soluções construtivas diferentes que tornem a resposta desse sistema construtivo mais adequada e eficiente do ponto de vista energético. Desse modo, foi realizada uma segunda etapa de simulações de desempenho térmico para a mesma edificação, na qual foram propostas variações na composição material do sistema construtivo em paredes de concreto. As simulações relativas às variações propostas demonstraram potencial

para a melhoria de desempenho termo-energético do sistema construtivo em paredes de concreto, em especial as que fizeram uso do EPS como elemento de composição. Esse resultado pode significar ao morador uma redução nos custos de operação referentes à demanda energética da edificação.

Os resultados indicaram ainda que as necessidades das fachadas não são homogêneas. Além de haver aspectos particulares para cada orientação, viu-se que o tratamento das vedações verticais das unidades habitacionais localizadas em diferentes pavimentos não precisam ser fundamentalmente os mesmos. As demandas necessárias ao último pavimento são as que mais diferem dos demais, uma vez que este sofre grande impacto dos ganhos térmicos provenientes da cobertura. Foi verificado, inclusive, que a utilização do EPS não é necessária nas vedações verticais para o último pavimento, pois dificulta a dissipação do calor absorvido pela cobertura. Nesse caso, é imperativa a realização de pesquisas voltadas ao tratamento da cobertura, de modo a minimizar tais ganhos térmicos.

Embora as propostas simuladas para as paredes de concreto tenham apresentado benefícios ao desempenho térmico da edificação, nenhuma das variações sugeridas recebeu classificação “A” de acordo com os parâmetros de análise propostos pelo RTQ-R - método de simulação adotado -, independente das orientações de fachada analisadas. Dessa forma, pôde-se verificar que apenas o material construtivo não é capaz de garantir altos níveis de eficiência energética para um edifício. Tal resultado demonstra a necessidade de uma visão holística ao arquiteto, para que o mesmo seja capaz de agregar ao projeto arquitetônico todas as respostas necessárias às condições climáticas do local, seja por meio de decisões referentes à implantação, à geometria, ao dimensionamento de ambiente e vãos, às necessidades específicas de tratamentos de fachada ou mesmo às decisões relativas à materialidade da edificação.

A avaliação realizada diante dos parâmetros e métodos do RTQ-R permitiu uma comparação eficaz entre os materiais analisados. Apesar das limitações existentes no método proposto pelo regulamento, especialmente no que concerne às diferenças de classificações encontradas que muitas vezes não expressam uma alteração significativa em relação ao desempenho termo-energético da edificação, o mesmo possibilitou a realização de uma análise global, por meio do indicador  $GH_r$  e da classificação da edificação, promovendo uma visão geral do desempenho térmico da edificação para os diferentes materiais utilizados nas vedações verticais.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao órgão de fomento CNPq pelo apoio à pesquisa realizada. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *Edificações habitacionais – Desempenho*. NBR 15575. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *Desempenho térmico de edificações*. NBR 15220. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos Procedimentos*. NBR 16055. Rio de Janeiro, 2012.
- AMORE, Caio Santo; SHIMBO, Lúcia Zanin; RUFINO, Maria Beatriz Cruz (Orgs.). *Minha casa... e a cidade? Avaliação do programa Minha Casa Minha Vida em seis estados Brasileiros*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015.
- ALMEIDA, Tatiane. *A influência dos materiais de sistemas de vedações verticais no desempenho termo-energético de edificações: habitações de interesse social no Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), UFRJ. Rio de Janeiro, 2019.
- BODACH, S.; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. In: *Energy Policy*, V. 38, nº. 12, p. 7898–7910, dez. 2010.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e qualidade industrial (INMETRO). *Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais*. Brasília, 2012.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e qualidade industrial (INMETRO). *Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações*. Brasília, 2013 [Anexo Geral V].
- BRASIL. *Lei nº 11.977. Dispõe sobre o programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas*. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm)>. Acesso em: 10.set.2017.
- BRASIL. *Portal Brasil*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/03/em-sete-anos-minha-casa-minha-vida-entrega-mais-de-1-000-casas-por-dia>>. Acesso em: 10.set.2017.
- BRASIL. *Portal Brasil*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2018/02/moradia-digna-650-mil-residencias-serao-construidas-pelo-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 10.março.2018.
- BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Cláudio; ALMEIDA, Tatiane. Elementos projetuais para a elevação da classificação do nível de eficiência energética em conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- CARDOSO, Adauto. *O programa Minha Casa Minha Vida e seus efeitos territoriais*. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013.
- CARDOSO, Lucio Adauto; LAGO, Luciana Corrêa. *Avaliação do programa Minha Casa Minha Vida na região metropolitana do Rio De Janeiro: Impactos urbanos e sociais*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[http://www.observatoriodasmegropoles.net/images/abook\\_file/relatório\\_mcmv\\_rj\\_2015.pdf](http://www.observatoriodasmegropoles.net/images/abook_file/relatório_mcmv_rj_2015.pdf)>. Acesso em: 10.ago.2017
- CEOTTO, Luiz Henrique. A Construção civil e o meio ambiente: 1ª parte. *Notícias da construção*, Ed. 51, São Paulo: Sinduscon SP, 2006. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/secoes.asp?subcateg=74&categ=16>>. Acesso em: 30.nov. 2011.
- CEF (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL). *Projetos aprovados no PMCMV Faixa1*. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx/asp/download.asp>>. Acesso em: 10.jun.2017.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). *Balanco energético nacional 2018: Ano base 2017*. Rio de Janeiro: EPE 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>>



PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018\_\_Int.pdf>. Acesso em. 09.jan.2019.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FJP (Fundação João Pinheiro). *Déficit habitacional no Brasil*. Belo Horizonte: FJP, 2017. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/deficit-habitacional/deficit-habitacional-no-brasil>>. Acesso em. 09. fev.2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. *Eficiência energética na arquitetura*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2014.

MORENO, Ana Cecília Rodrigues. *Minha Casa Minha Vida: Análise de Desempenho Térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul E RTQ-R*. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG. Belo Horizonte, 2013.

MORGADO, Cláudio; BRASILEIRO, Alice. Aplicação da teoria dos conjuntos Fuzzy na classificação de eficiência energética das edificações. In: IX Encontro Nacional, VII Encontro Latino-Americano, II Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, São Leopoldo, 2017. *Anais...* São Leopoldo: Casa Leiria, 2017.

PROJETEEE (Projetando edificações energeticamente eficientes). *Estratégias bioclimáticas*. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em: 10. mar.2018.

RIBEIRO, Rodrigo L.C. *Na periferia do centro: intervenções públicas, vida condominial e o mercado de “doação” em dois conjuntos habitacionais do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Sociologia), UFF. Niterói, 2016.

TRIANA, A.M.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. In: *Energy Policy*, v. 87, p. 524-541, 2015.

VASQUEZ, Elizabeth Maceira Antelo. *Análise do conforto ambiental em projetos de habitações de interesse social segundo a NBR 15.575:2013*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), PUC. Rio de Janeiro, 2017.

---

## **Arquitetura com terra na construção sustentável**

Beatriz Temtemples de Carvalho

Marcos Martinez Silvos

---

**N**as últimas décadas do século XX, instituições começaram a se mobilizar para encontrar ações alternativas capazes de minimizar os danos ao meio ambiente resultantes das atividades humanas. O aumento do consumo dos recursos naturais, a poluição atmosférica causada pela emissão de gás carbônico, a degradação dos recursos hídricos com a liberação de compostos nocivos, a contaminação dos solos são apenas alguns fatores, dentre tantos outros, que contribuíram para a criação da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente em 1987. Nessa ocasião foi publicado um relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, mais conhecido por Relatório Brundtland, onde nasce o conceito de desenvolvimento sustentável, definido como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (CMMAD, 1991, p. 46). O relatório Brundtland representa um marco histórico que, fundamentado na preocupação com o futuro, alargou os limites conceituais da sustentabilidade. Agora, não somente o aspecto ambiental seria importante, como também os aspectos econômicos e sociais deveriam ser levados em consideração.

A definição proposta pelo relatório reflete a necessidade de buscar ações integradas em todos os setores da vida humana, e a arquitetura, por sua vez, está inserida nessa lógica. Cabe aqui compreender de que forma a arquitetura pode atuar no desenvolvimento sustentável, a fim de conciliar as três dimensões supramencionadas. Para responder a tal indagação é necessário, antes de tudo, compreender a definição dada pelo Congresso Mundial da Construção Civil, em 1998, ao conceito de construção sustentável como sendo “um processo holístico que aspira a restauração e manutenção

da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica” (CIB, 2002, p. 8). Tal definição aponta para um direcionamento ético, visto que é necessário buscar a harmonia não só das ações humanas, contemplando assim, todo um modo de vida que inclui a prática da arquitetura.

Com essa definição, fica evidente a importância que a indústria da construção civil exerce na intervenção, direta e indireta, do ecossistema, da economia e da sociedade, realizando, dessa forma, um papel central na concretização dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Destaca-se, portanto, o que foi posto por Agopyan e John (2011) quando descrevem que o crescimento da sustentabilidade no setor da construção civil depende de soluções em diversos níveis que devem ser articuladas dentro de uma visão sistêmica, e afirmam que a arquitetura é a ciência capaz de atribuir essa qualidade a todo o processo. Isso significa que, a simples adoção de sistemas altamente tecnológicos, ditos “sustentáveis”, na construção e operação de edificações, não extingue a busca por materiais e processos alternativos que sejam mais econômicos, nem mesmo resolvem problemas sociais que, muitas vezes, são motivados pela indústria da construção civil (CARVALHO, MINTO e SILVOSO, 2017).

Considerando a importância dos materiais e a necessidade dessa visão sistêmica exigida pela busca da sustentabilidade, é imperativo discutir sobre quais materiais e processo construtivos são os mais adequados para esse contexto. Com isso, é necessário adotar materiais que estejam disponíveis na natureza, que são facilmente renováveis e com pouca necessidade de processamento apresentando, assim, um baixo custo construtivo. Dessa forma, esses materiais são facilmente adotados em práticas construtivas participativas autogestionária.

Apresenta-se, portanto, a pergunta que vai nortear as discussões apresentadas nesse capítulo: é possível considerar as práticas de construções com terra como possíveis protagonistas na busca por ações sustentáveis? Para respondê-la, há que compreender os motivos propulsores do resgate das práticas construtivas com terra e o porquê elas têm ganhado, nos últimos anos, espaço nas discussões sobre provisão de moradias. Neste capítulo serão abordados conceitos associados ao potencial do emprego da arquitetura com terra na construção sustentável, que são aplicados e analisados em um estudo de caso onde a construção com Bloco de Terra Comprimida (BTC) se apresenta como uma alternativa para a produção de moradia em práticas de processos participativos.

## **ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE**

Desde as primeiras civilizações, a produção arquitetônica se constituía de modo sustentável, tendo em vista que, a estrutura social das civilizações mais antigas

contemplava, via de regra, as três dimensões do conceito em questão. No entanto, infelizmente, ao longo dos séculos, outros interesses foram inseridos na lógica construtiva e o conceito de sustentabilidade foi distanciando cada vez mais de sua essência, eclodindo então, a necessidade de sistematizá-lo para devolver à arquitetura essa característica que, um dia, foi intrínseca. Foi apenas nos últimos 50 anos que se iniciaram as discussões acerca do conceito e que, de fato, foram definidas suas diretrizes. Nos anos 1970, alguns movimentos arquitetônicos começaram a reconsiderar a relação existente entre a arquitetura e o seu entorno com a chamada “Arquitetura Solar”, que tinha como principal objetivo reduzir as demandas energéticas necessárias para o funcionamento das construções. Posteriormente, esse conceito foi ampliado e passou a ser chamado de “Arquitetura Bioclimática”, buscando uma total interação entre o desenho de arquitetura e as condições locais, com o objetivo de proporcionar aos usuários um maior conforto ambiental através da utilização de estratégias passivas (OLGYAY e OLGAY, 1973).

Durante os anos 1980, o conceito de sustentabilidade passou a incorporar aspectos relacionados às questões ambientais, portanto surgiram novos termos como “Arquitetura Ecológica” e “Arquitetura Verde”. Nesse momento, a questão central era buscar a diminuição do impacto ambiental causado pela construção civil além da boa relação com a natureza. O termo “arquitetura sustentável” foi concebido pela revisão de todos os conceitos anteriormente apresentados e, a partir da ideia do “tripé sustentável”, proposto por Elkington (1997), esse conceito vem sendo utilizado para denominar uma arquitetura preocupada com as questões sociais, ambientais e econômicas concomitantemente.

Diante disso, é incontornável propor uma reaproximação entre a economia e a ética, pois como é apontado por Sachs (2008), quando o crescimento econômico se desvincula da ideia da sustentabilidade, não tem valor, é apenas um acúmulo de riqueza sem um propósito maior. Sendo assim, é possível inferir a larga relação que o desenvolvimento sustentável possui, antes de tudo, com a ética. Afinal, a busca coletiva de um bem comum, que visa proporcionar não só o desenvolvimento local, mas também maximizar isso a termos mundiais, conduz as ações na direção de um respeito a valores humanos com pretensões universalizáveis.

Na medida em que o conceito de desenvolvimento sustentável deixa de contemplar qualquer um de seus aspectos, ou seja, quando perde seu potencial de ser economicamente viável, socialmente justo ou ambientalmente correto, perde seu real valor. Sob essa ótica, almeja-se a busca da justiça social aliada ao equilíbrio ambiental, empregando os recursos financeiros de modo racional para o fim a que se destina cada atividade. Posto isso, é impreterível que esses conceitos sejam compreendidos, não só pelos teóricos, mas também pela sociedade, de modo a se esquivarem de oportunismos

com interesses espúrios e, assim, frearem ações que banalizem tanto o conceito de sustentabilidade em si mesmo quanto ele inserido em ações de marketing empresarial.

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – AsBEA (ASBEA, 2012) e pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (CBCS, 2014) orientam os profissionais nesse sentido, com a publicação de documentos que elencam os princípios básicos da arquitetura e da construção sustentável. Esses documentos servem de base para propostas de ações, pois objetivam orientar os profissionais na busca por práticas que visem a qualidade urbana, a qualidade do projeto e o conforto ambiental; a eficiência energética do empreendimento; a conservação de recursos materiais; a gestão da água e também às práticas sociais contempladas. Um dos destaques é a importância do planejamento e do projeto para a produção e uso dos espaços edificados, sendo então, ferramentas fundamentais para a redução de impactos socioambientais negativos durante o ciclo de vida das edificações (ASBEA, 2012).

Ao passo em que o conceito de arquitetura sustentável foi sendo lapidado, foi possível verificar que o critério social se tornou crucial para a delimitação do que seriam, efetivamente, as práticas de arquitetura sustentáveis. Foi a partir desse momento, que o conceito pode ser compreendido como um conjunto de ações que buscam o aperfeiçoamento de pessoas, com o fortalecimento de suas identidades e através da prática da arquitetura. Essas ações podem ser aplicadas para diferentes públicos, desde pequenos grupos sociais organizados, quando são adotados os processos participativos, até em grandes empresas, quando essas ações são entendidas como princípios norteadores das políticas empresariais. Os processos participativos contribuem para a ideia de que o valor da arquitetura não está apenas em edificar coisas e sim, em poder contribuir também para a construção de um ideal através do trabalho e da educação.

A dimensão econômica, também contemplada no “tripé sustentável” caminha ao lado não só das questões sociais, mas também das questões ambientais. Não se deve adotar soluções favoráveis ambientalmente que sejam economicamente inviáveis e vice e versa. A arquitetura sustentável busca elaborar o melhor projeto com o menor custo, e isso implica não somente em escolher materiais com o melhor custo-benefício, como também em tomar decisões projetuais que minimizem os impactos negativos gerados por um projeto mal elaborado. Fica clara a necessidade de conceber projetos de arquitetura que priorizam, além de tudo, um bom desenho direcionado ao conforto do usuário e à eficiência energética da edificação. Segundo Frota e Schiffer (2003), conferir a um edifício características térmicas ambientais agradáveis não implica em um acréscimo de custo da construção, muito pelo contrário, resulta em uma redução durante a fase de uso e manutenção, além de proporcionar condições ambientais agradáveis ao usuário. No último ano, apesar da desaceleração do crescimento da construção civil, as

emissões de CO<sub>2</sub> causadas pela extração de materiais, atingiram os níveis mais alto de todos os tempos (UNEP, 2020). Sendo assim, é ideal que se busque por um modelo de produção do ambiente construído que esteja inserido em ciclo fechado de uso estendido, reutilização e reciclagem, onde o potencial de reutilização de materiais é enorme (UNEP, 2020).

Diante desse cenário, os materiais de construção exercem um papel de destaque na concretização da arquitetura sustentável. Para o melhor entendimento, é importante compreender que a construção civil, por ser um dos maiores setores da economia, apresenta pontos positivos, como um volume grande de geração de empregos, como também, contribui para a degradação ambiental ao apresentar altos índices de consumo dos recursos naturais necessários para fomentar as suas necessidades.

Dessa forma, os conceitos e premissas da sustentabilidade encontram nas práticas da arquitetura com terra respostas para suas demandas, articulando os três aspectos da sustentabilidade. A arquitetura com terra é cultura construtiva milenar e difundida por todo o mundo, inclusive no Brasil, onde foi largamente aplicada e passou a representar o principal sistema construtivo no período colonial. Trata-se de uma arquitetura que utiliza materiais locais, de baixo custo, com pouca energia incorporada no processo de produção, e que propicia a reversibilidade do material na natureza em caso de demolição. Também favorecem o projeto de edificações com bom desempenho térmico, energético e acústico, reduzindo os impactos ambientais e os custos de operação.

Atualmente, dentre os diversos sistemas construtivos com terra, a técnica do Bloco de Terra Comprimida (BTC) se destaca por ser uma técnica de fácil adoção em modelos de produção participativa, principalmente pela simplicidade de seu modo de produção e de ser um dos poucos sistemas construtivos com terra que apresenta normatização técnica, sendo, portanto, aceito em projetos de financiamento de habitação de interesse social (HIS). Além disso, apresenta potencial para envolver e população local em processos participativos autogestionários, onde os recursos financeiros disponibilizados são destinados efetivamente para a construção de uma arquitetura de qualidade com promoção de justiça social.

## **ARQUITETURA COM TERRA**

Segundo a Rede PROTERRA<sup>1</sup> “arquitetura com terra é a denominação dada a produção arquitetônica que emprega o solo como o principal material de construção” (NEVES e FARIA, 2011). Uma outra definição proposta por Hoffmann (2004) em seu trabalho é que a arquitetura com terra é toda construção que tem a terra como matéria

<sup>1</sup> A Rede Ibero-americana PROTERRA, é uma das maiores instituições de pesquisa sobre construção com terra na América Latina.



prima, estabilizada por compactação e/ou pelo uso de aglomerantes (naturais ou industrializados), sem que ocorra a queima do material.

É importante destacar que a terra, quando utilizada como material de construção, recebe diversos nomes como por exemplo barro, solo e terra crua, porém, para esse capítulo, será utilizado o termo terra, correspondendo, portanto, ao material adequado para a construção, conforme é feito pelas principais bibliografias estudadas. O termo solo é empregado principalmente quando abrange classificações e caracterizações mais relacionadas ao campo das engenharias (NEVES e FARIA, 2011). Destacam-se os trabalhos pioneiros de Atterberg, Terzaghi e Casagrande, que permitiram a classificação geotécnica dos solos, além dos primeiros estudos desenvolvidos por Ralph Proctor, em 1929, e por Moore-Fields e Mill, no ano de 1932 sobre solo com o Cimento Portland, que permitiram o emprego desse material em diversas construções tais como: pavimentações, barragens, diques, blocos, painéis monolíticos, etc. (MIELI, 2009).

A construção com terra é uma das práticas mais antigas do mundo, toda a sua universalidade e potencialidade pode ser comprovada pelo patrimônio que vem sendo construído há mais de 9.000 anos (PROMPT e BORELLA, 2010). É considerado um material muito importante na história da humanidade porque compõe a cultura construtiva de muitas civilizações distribuídas por todos os continentes. Os exemplares da arquitetura com terra estão espalhados por todo o mundo e de acordo com Houben e Guillaud (2006) essas construções começaram a surgir na Ásia e África, de onde se difundiram para os demais continentes.

Dada a sua importância para a história da arquitetura, em 2007, o patrimônio arquitetônico mundial com terra foi beneficiado pela UNESCO com um programa chamado “Patrimônio Mundial da Arquitetura com Terra”<sup>2</sup> que visa a melhoria do estado de conservação e gestão de construções ou regiões construídas com terra em todo o mundo (UNESCO, 2018). De acordo com a instituição, atualmente, existem 149 bens construídos em terra já declarados Patrimônio Mundial, que estão espalhadas por 60 países em todos os continentes.

No Brasil, os exemplos de construção em terra mais antigos são vestígios arqueológicos chamados buracos de bugre, encontrados no planalto meridional em uma área que abrange a região que vai do norte do Rio Grande do Sul ao sul de Minas Gerais, provavelmente construídos de 1750 a.C. (PROMPT, 2012). Não há ao certo um consenso sobre a origem da arquitetura com terra no Brasil. Alguns autores como Neves e Faria (2011) apontam que essas práticas construtivas foram trazidas pelos portugueses e africanos durante o período da colonização brasileira, entretanto, outros autores, como

<sup>2</sup> Termo livremente traduzido de “World Heritage Earthen Architecture Programme” (WHEAP) – Para mais informações visitar: <https://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/>

Weimer (2005), ressaltam que as casas indígenas, além de incorporarem a madeira para a produção de elementos estruturais e a palha para a recobrir a construção, utilizavam também a terra em estado plástico para auxiliar no recobrimento das casas, corroborando com a ideia de que os indígenas detinham o conhecimento sobre essas técnicas. Apesar de não haver muita certeza sobre como essas técnicas se originaram no território brasileiro, o fato é que foram largamente utilizadas, principalmente, em edificações do período colonial e chegaram a representar o principal sistema construtivo entre os anos de 1530 e 1822. Nito (2015), em seu trabalho, explica que a utilização da terra como matéria prima para a construção foi se desenvolvendo à medida que as técnicas se adaptaram ao clima e aos diferentes tipos de solos do Brasil. Sendo assim, o patrimônio arquitetônico nacional começou a se consolidar ganhando forma e materialidade. As práticas de construção com terra começaram a ser difundidas pelo estado de São Paulo, onde se tem, atualmente, um vasto patrimônio colonial construído, principalmente, em taipa de pilão. Com o movimento de ocupação do interior do Brasil, os bandeirantes levaram as técnicas de construção com terra para além dos limites do estado de São Paulo, chegando até Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás.

No início do século XX, o cenário da arquitetura brasileira passou por mudanças significativas com a chegada do movimento moderno, quando os arquitetos tomaram consciência das técnicas de construção com terra. Vislumbraram, portanto, um bom caminho para a revalorização da identidade cultural do país. Nito (2015) aponta que foi durante esse período que começaram os esforços para tentar solucionar o problema do déficit habitacional brasileiro, juntamente com a busca por uma melhor adequação da produção habitacional às condições humanas, sociais e climáticas do país. A discussão sobre habitação social adquiriu posição de destaque no contexto arquitetônico e urbanístico mundial, principalmente, durante a década de 1960. Entretanto, no decorrer dos anos da década de 1940, alguns movimentos arquitetônicos iniciavam a discussão a favor dos processos participativos no cenário da habitação de interesse social.

No Brasil, o projeto desenvolvido para a cidade de Cajueiro Seco talvez seja o mais emblemático no contexto nas políticas de HIS. Localizado no sul do Recife, o um projeto foi construído por iniciativa do governo do estado, por atividade do Serviço Social Contra o Mocambo (SSCM) e destinado à população realocada de terras de interesse para preservação histórica, situadas no Morro dos Guararapes. Sua implantação ocorreu no período de 1962 a 1964, durante o primeiro mandato de Miguel Arraes frente ao governo do estado de Pernambuco. O projeto de Cajueiro Seco surge como modelo de arquitetura diferenciado para a habitação de interesse social, já que é desenvolvido durante um período conturbado em que os paradigmas de projetos para habitação social foram abalados por novos critérios trazidos pelo movimento moderno. O diferencial do

projeto foi a atuação daqueles a quem as habitações seriam destinadas, e que, a partir de um modelo de processo participativo de produção do espaço, tiveram seus saberes e desejos incorporados.

A partir desse modelo, foi necessário escolher a técnica construtiva que mais se adequava a essa proposta de produção. Optou-se pelo pau-a-pique, já que a população não tinha conhecimento sobre as técnicas convencionais de construção; como por exemplo a alvenaria de tijolo cerâmico furado. Além disso, a comunidade possuía poucos recursos financeiros para a compra dos materiais construtivos, e, ainda que viessem a construir utilizando o método mais comum para a época, teria dificuldade de garantir a manutenção necessária (SOUZA, 2010). Portanto, a pré-fabricação de componentes construtivos foi uma resposta para os diversos problemas encontrados. Acácio Gil Borsoi, o arquiteto responsável pelo projeto das unidades habitacionais, sugeriu que as técnicas construtivas tradicionais da região fossem aliadas à pré-fabricação. Sendo assim, foram elaborados os painéis de madeira pré-fabricados que, após sua instalação no canteiro de obras, receberam um enchimento de terra em estado plástico. Esses painéis podem ser nomeados como pau a pique pré-fabricado.

Segundo Joaquim (2015) o processo de pré-fabricação foi importante para racionalização do projeto. A otimização da técnica mista proposta por Borsoi, em Cajueiro Seco, promove a economia de material e, conseqüentemente, a economia de trabalho. Além disso, a autora relata que a pré-fabricação, inserida em um âmbito de trabalho cooperativo, proporciona a redução da energia necessária para a produção das unidades habitacionais. O projeto de Cajueiro Seco foi uma relevante experiência referente à habitação social envolvendo processos participativos de construção com terra.

Essa e outras propostas habitacionais, que empregavam o uso do solo como material de construção, foram desenvolvidas durante a mesma época. Apesar do cenário ser positivo ao uso das técnicas mencionadas até o final da década de 1970, a terra não era considerada, de fato, uma alternativa viável para as HIS. Na década de 1980, com a crise do mercado financeiro que ocasionou o aumento dos preços do cimento Portland, a produção arquitetônica contemporânea com terra no Brasil voltou a ganhar visibilidade, desvelando o estigma de ser considerada uma técnica ultrapassada e precária.

Cabe explicar aqui os objetivos dos processos participativos para um melhor entendimento dos ideais projetuais de Cajueiro Seco e das iniciativas que serão apresentadas no tópico seguinte. Esse modelo produtivo requer um sistema organizacional bem consolidado, a fim de que todos os envolvidos possam atuar na produção arquitetônica. Torna-se fundamental a adequação ambiental, social e econômica de cada projeto à comunidade a que se destina, desta maneira, os processos participativos fortalecem uma nova possibilidade construtiva que traz relevantes benefícios à população.

Na etapa presente do trabalho, foram buscadas referências projetuais que usaram a terra para a produção arquitetônica. O estudo não se limitou em examinar apenas unidades de prototipagem que seriam usadas para a experimentação ou investigar unidades familiares habitadas em uso. A pesquisa reuniu diversos trabalhos como dissertações, teses e artigos que relatassem experiências, de sucesso ou de fracasso, que pudessem contribuir para uma melhor compreensão da arquitetura com terra. Não somente como uma técnica ecológica ou econômica, mas também como uma técnica que promove a autonomia e o fortalecimento social para as diversas comunidades. Dentre os trabalhos estudados destacam-se alguns projetos habitacionais que foram capazes de reunir os três aspectos da sustentabilidade. Os projetos são: (a) Mutirão Campo Alegre, Nova Iguaçu – Rio de Janeiro, (b) Casa dos Sonhos, Santa Rita – Paraíba e (c) Assentamento Menino Jesus – Bahia.

### **Mutirão Campo Alegre - Nova Iguaçu – Rio de Janeiro**

Leitão (1993) apresenta em sua dissertação a experiência do assentamento rural Mutirão Campo Alegre que foi implementado no ano de 1984, pelo governo do Estado do Rio de Janeiro. Localizado nos municípios de Queimados e Nova Iguaçu, possui uma área de aproximadamente 3.500ha. De acordo Leitão (1993), essa região foi cedida ao Movimento dos Trabalhadores Sem-Terra (MST) após o decreto do, então governador, Leonel Brizola, declarando que a área seria destinada ao assentamento de famílias de lavradores e ao desenvolvimento da produção agrícola. Foi criado a União das Associações do Mutirão de Campo Alegre – UAMCA que recebeu aproximadamente 600 famílias distribuídas em seis regionais com diretorias autônomas.

Em 1985, como já haviam 400 famílias trabalhando tanto nos lotes individuais como nas áreas coletivas, o governo do Estado implementou um projeto piloto de construção de moradias pelo sistema de autoconstrução. Desse modo, na primeira etapa, foram construídas 20 unidades de habitação pelos próprios moradores do assentamento, utilizando técnicas construtivas convencionais. Porém, durante o processo de construção das unidades, diversos problemas foram observados, tais como: a sazonalidade do trabalho do campo, que atrasou o processo produtivo das casas; a falta de capacitação técnica da mão de obra, que provocou desperdício de material e uma má qualidade do padrão construtivo; a elevação dos custos do material durante a obra; dentre outros fatores.

A equipe técnica que atuava no assentamento em conjunto com o Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas do antigo Banco Nacional da Habitação (BNH) vislumbrou a adoção de técnicas construtivas não convencionais como uma alternativa adequada para aquele assentamento. Então, foram elaboradas duas alternativas de habitações com solo-cimento: em um dos casos optou-se pelas paredes de taipa de pilão e em outro pela

construção utilizando blocos de terra comprimida. A elaboração das propostas de projeto de paredes monolíticas e de BTC, levou em consideração as particularidades do sistema construtivo e por isso optou-se por um projeto modulado, que se enquadrasse tanto nas dimensões das formas de taipa bem como, nas dimensões dos BTCs.

O autor não discorre em seu trabalho sobre o processo participativo da construção das unidades habitacionais produzidas com solo-cimento, entretanto ele aponta a viabilidade de aplicação das técnicas construtiva com terra em programas habitacionais sociais de iniciativas do governo. Assim como disse Leitão (1993), esse trabalho não representa uma alternativa universal para os problemas de moradia nos assentamentos rurais, entretanto essa proposta pode funcionar como uma referência para o planejamento de futuras intervenções em outros assentamentos.

### **Casa dos Sonhos, Santa Rita – Paraíba**

Garzón *et al.* (2010) relatam a experiência desenvolvida na instituição Casa dos Sonhos, onde foram construídas unidades habitacionais utilizando a técnica do BTC fundamentada em um modelo de processo participativo. A instituição “Casa dos Sonhos” é um projeto social desenvolvido por uma associação sem fins lucrativos, em parceria com outras instituições, na Comunidade Santo Amaro, localizada em Várzea Nova na cidade de Santa Rita/PB. Essa comunidade abriga 200 famílias que moravam em casas com infraestrutura precária.

O principal objetivo desse projeto social é inserir mulheres, homens, adolescentes e crianças em um processo socioeducativo proporcionando uma possibilidade de nova perspectiva de vida através do ensino e transferência tecnológica das técnicas construtivas com terra. Uma das ações previstas pelo projeto é a realização de cursos de capacitação para a população, ensinando-os a produzir blocos de terra comprimida fabricados em solo-cimento e a construir com eles. Uma vez capacitados, os moradores estarão aptos a construir suas próprias casas, além de serem capazes de transferir essa tecnologia para outros.

Durante essa experiência, muitos desafios e dificuldades foram encontrados e alguns superados. Um exemplo disso, foi a dificuldade de aceitação do sistema não convencional por parte da comunidade, por ser um sistema inédito para eles. No entanto, após as obras, foi possível que a comunidade adquirisse uma visão diferente a respeito desses sistemas. Outro desafio encontrado pela instituição foi a ausência de políticas públicas incentivadoras de projetos que visem sistemas construtivos não convencionais, além da ausência de apoio por parte das entidades financeiras.

Um ponto importante desse projeto é a sua viabilidade econômica diante da realidade social da comunidade. Muitos moradores nunca tiveram condições financeiras

de construir suas casas em alvenaria de tijolos cerâmicos devido ao alto custo que esses sistemas construtivos convencionais dispendem. Dessa forma, blocos de solo-cimento figuraram como uma alternativa favorável a esses moradores. De acordo com a Fundação BB, a última casa que foi construída teve um custo, por metro quadrado, de R\$500,00, enquanto que uma casa convencional, com o mesmo tamanho, sairia por um valor de R\$ 888,73.

Com o exemplo da Casa dos Sonhos, foi possível observar a viabilidade de adoção das técnicas construtivas em terra em projetos de habitação social, principalmente porque se trata de uma técnica que viabiliza a realização de projetos participativos, no qual toda a comunidade pode ser inserida e ao final do processo está socialmente integrada. As técnicas com terra também proporcionam a elaboração de um projeto econômico, já que a terra utilizada, no caso da Casa dos Sonhos, foi retirada do próprio terreno e não houveram custos adicionais com material proveniente de outras regiões, nem custo de mão de obra, pois os próprios moradores da comunidade foram responsáveis pela construção das casas. Além disso, a terra é um material natural e as taxas de cimento empregadas para a fabricação dos blocos são baixíssimas, contribuindo para a eficiência ambiental do projeto. Portanto, podemos intitular o projeto Casa do Sonhos como uma iniciativa de caráter sustentável, uma vez que contempla os três aspectos do desenvolvimento sustentável: o social, o econômico e o ambiental.

### **Assentamento Menino Jesus - Água Fria - Bahia**

Joaquim (2015) apresenta a experiência do Assentamento Menino Jesus, localizado no município de Água Fria na Bahia. O assentamento é uma associação comunitária de agricultores sem-terra formada por 212 famílias. Em 2003 os moradores da associação, inspirados por uma outra iniciativa similar, a Escola Nacional Florestan Fernandes em São Paulo, escolheram utilizar os BTCs para a construção de suas casas, realizadas no regime de autoconstrução. Inicialmente foram construídas 22 casas num total de 212.

Em 2006, diante de muitas dificuldades com o material, com a técnica construtiva e com a gestão de obras, a associação buscou o auxílio do THABA – Núcleo de Pesquisa e Extensão em Habitação Popular, vinculado à Pró-reitoria de Extensão da Universidade do Estado da Bahia. A partir disso, o THABA deu início a assessoria técnica que auxiliou os moradores durante o processo de produção das unidades habitacionais. O Núcleo de Pesquisa ministrou um curso de formação profissional de pedreiros, eletricitistas, carpinteiros, encanadores e pintores para 48 assentados visando que o grupo tivesse uma autonomia alargada no regime de autogestão. Além do curso mencionado, também foram realizados: um treinamento que objetivava a formação dos integrantes no processo

de seleção e dosagem de solos; um treinamento para a adequada fabricação dos BTCs e, por fim, um treinamento para implementação de um almoxarifado apropriado.

O THABA privilegiou a utilização de blocos cerâmicos convencionais. Essa escolha teve por base a alegação de que as casas seriam executadas mais rapidamente e que os sistemas construtivos com blocos cerâmicos possibilitariam a realização de ampliações das unidades em situações futuras, já que não precisam ser armados, diferentemente do sistema em BTC. Entretanto, os responsáveis pela liderança do assentamento priorizaram o uso do BTC. Mesmo antes da chegada do THABA ao assentamento, os moradores já haviam definido quatro opções de plantas para a construção das habitações. Então, a assessoria adotou esses desenhos como ponto de partida, por acreditar que o envolvimento da comunidade no processo de projeto fortaleceria a identidade do grupo, minimizando assim, possíveis insatisfações com o imóvel. Dessa forma, a assessoria técnica trabalhou para uma adequação dos desenhos de modo a propiciar um melhor conforto térmico das habitações, além de ajustar as dimensões das plantas às modulações dos BTCs.

O THABA não permaneceu na comunidade durante a construção das casas restantes, pois segundo Ramos (2010) não foi possível viabilizar a permanência da assessoria no assentamento. Os moradores tiveram que dar continuidade ao processo de construção em regime de autogestão, sem qualquer assistência. Com a saída da assessoria, os moradores tiveram problemas de gestão, influenciando-os a adotar um outro sistema construtivo, que permitisse a produção das casas com mais rapidez.

Além da produção de unidades habitacionais, a experiência do Assentamento Menino Jesus representa um instrumento de construção de conhecimentos. Apesar dos problemas de gestão relatados, a adoção desse sistema construtivo dentro de um regime autogestionário, proporcionou a formação de trabalhadores e uma possível geração de trabalho e renda para a comunidade. Assim, esse grupo alcançou uma maior organização social sendo capazes de proporcionar uma melhora da qualidade de vida daqueles que a integram.

## **SOLANO TRINDADE**

Com tudo que foi até aqui apresentado e objetivando contribuir para o resgate histórico das construções com terra e desenvolvimento tecnológico da técnica do BTC, foi proposto, nesse trabalho, avaliar sua aplicação em um contexto real, com pessoas que apresentam demandas reais que pudessem ser supridas, a partir da adoção desse saber-fazer construtivo. Optou-se, portanto, por um estudo de caráter experimental tendo como cenário a Ocupação Solano Trindade, vinculada ao Movimento Nacional de Luta pela Moradia (MNLN).



Localizada no bairro de São Bento, em Duque de Caxias - RJ, a ocupação abrange um terreno de 48mil m<sup>2</sup> que pertencia ao Centro Panamericano de Febre Aftosa e estava sob responsabilidade do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O terreno ficou abandonado por mais de 15 anos até que o MNLM demonstrou interesse e solicitou junto à Secretaria de Patrimônio da União (SPU) a concessão do terreno para a realização de um projeto de habitação de interesse social (Figura 1).



Figura 1 – Ocupação Solano Trindade, localizada em Duque de Caxias no Rio de Janeiro, vinculada ao MNLM  
Fonte: Carvalho, 2019.

Em 8 de agosto de 2014, 50 famílias ligadas ao MNLM iniciaram as atividades da ocupação e se instalaram em uma parte do terreno. Em 2015, a SPU manifestou interesse pela posse do terreno de forma a promover a regularização fundiária e destinar o espaço ao projeto habitacional. Em 2018, de acordo com o site do Ministério Público Federal (MPF, 2019), em 23 de julho, foi recomendado ao INCRA que o terreno fosse transferido para a União em uma tentativa de viabilizar a regularização fundiária que está em andamento até a presente data.

Em agosto de 2014, foi estabelecido um acordo de cooperação técnica entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, coordenado pelo Instituto de Planejamento Urbano e Regional - IPPUR/UFRJ, e a ocupação. Esse projeto, intitulado “Ocupação Solano Trindade/Caxias: inovação nas formas associativas de trabalho e produção da cidade”, está inserido no Programa de Extensão Autogestão Urbana no Rio de Janeiro, que promove atividades de ensino, pesquisa e extensão nos campos do Planejamento Urbano e da Economia Social e Solidária. É um projeto que conta com a contribuição de professores, pesquisadores e alunos de graduação e de pós-graduação dos cursos de gestão pública, planejamento urbano e regional, arquitetura e urbanismo e engenharia da UFRJ. A proposta desse projeto de extensão é realizar o desenvolvimento de um campus transdisciplinar experimental que promova a inovação em tecnologia social,

capacitação e formação de cooperativas de moradores e intercâmbio de saberes entre diversas áreas do conhecimento.

A partir desse acordo de cooperação técnica, foi criado o Programa Fábrica Experimental de Cidades, que segundo os organizadores da ocupação é:

(...) mais uma tentativa de se repensar o modelo de produção do espaço urbano. A proposta é por uma cidade para as pessoas, e contra a lógica da cidade mercadoria. Em vez de se produzir CASA para colocar gente dentro, por exemplo, a Fábrica quer formar GENTE para gerir processos de produção de casas, cidades e política de forma coletiva (Observatório das Metrôpoles - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, 2017).

Um dos objetivos da Fábrica Experimental de Cidades é a experimentação de tecnologias alternativas e a busca por novos modelos de moradia para habitação de interesse social a partir do Campus Experimental. A proposta do campus é promover a integração da mão-de-obra local com alunos, professores, arquitetos e outros profissionais treinados, visando a transferência de tecnologia para os trabalhadores locais.

Um dos fatores determinantes para a escolha da Ocupação Solano Trindade como cenário para a pesquisa é a existência de um interesse legítimo, por parte da comunidade, em produzir suas casas a partir da pré-fabricação de elementos construtivos utilizando o solo do próprio terreno. Os integrantes da ocupação compreendem o potencial construtivo do solo e desejam, além de utilizá-lo para a produção das casas, aprender todos os processos que envolvem a fabricação do elemento construtivo, assim como os processos técnicos para a construção das unidades habitacionais.

## **APLICAÇÃO**

A pesquisa foi realizada com o intuito de demonstrar as potencialidades da arquitetura com terra inserida no contexto da habitação de interesse social e da construção sustentável. O trabalho buscou fornecer respostas objetivas para a Ocupação Solano Trindade, indicando se é possível produzir elementos construtivos pré-fabricados utilizando o solo do próprio terreno. Dessa forma, busca-se comprovar a viabilidade da adoção das práticas de construção com terra no contexto das habitações de interesse social. O trabalho apresentado nesse capítulo faz parte de uma dissertação de mestrado intitulada “Arquitetura com Terra na Construção Sustentável: Blocos de Terra Comprimida para Produção de Habitação” defendida por Carvalho (2019) pelo Programa de Pós-graduação em arquitetura - PROARQ/FAU-UFRJ.

Foi desenvolvido um programa experimental que propõe a utilização do solo local para a produção de BTC, tendo sido avaliados todos os processos necessários para que

ocorra essa transformação, desde a coleta do solo até a caracterização experimental do elemento construtivo. Foram analisadas diferentes formas de estabilização da terra na tentativa de reduzir a necessidade do emprego de materiais industrializados buscando, ainda, a incorporação de resíduo cerâmico em sua composição. Assim, além da utilização do cimento Portland, foram avaliadas misturas que utilizaram cal e resíduo cerâmico como estabilizantes. Esse desempenho foi analisado através de ensaios experimentais de resistência mecânica e avaliação de parâmetros de durabilidade.

### **Etapa 1 - Coleta**

Foi necessário, para a coleta do solo, realizar um estudo exploratório no local, afim de verificar em qual parte do terreno deveria ser feita a extração. O objetivo desse estudo é buscar o solo mais adequado para a aplicação na construção civil. De acordo com a norma NBR 10833 (ABNT, 2012c) os solos utilizados na fabricação de tijolos de solo-cimento devem apresentar algumas características que garantam um melhor desempenho com o menor consumo de estabilizante. Portanto, foi necessário realizar a caracterização do solo para uma melhor compreensão de suas características. Foram feitos, então, dois buracos no terreno, distantes 10m entre si, e dois tipos de solos, com coloração distintas, foram encontrados. Optou-se por utilizar aquele que possuía uma coloração mais avermelhada, acreditando-se que se tratava de um solo com mais coesão natural. Para a extração de fato, foi eliminada a primeira camada de 20cm de solo, pois as camadas superficiais dos solos de forma geral, apresentam matéria orgânica, e não devem ser utilizados para construção. O solo coletado foi armazenado em sacos e transportados para o laboratório.

### **Etapa 2 - Preparo**

No dia seguinte, o material coletado, que estava armazenado em dez sacos diferentes, foi despejado em uma lona e permaneceu assim durante três dias para secagem. Após essa etapa, foi quarteado, peneirado e armazenado em uma bombona de 100 litros. Para utilizar esse material na fabricação de BTC é importante que ele apresente uma curva granulométrica adequada para o processo produtivo. Portanto, foi necessário peneirar o material utilizando apenas a fração de solo passante na peneira 4,76 mm de abertura de malha. O material retido foi separado, armazenado e não foi utilizado na pesquisa, conforme apresentado na Figura 2.

Para simplificar o processo de produção, buscando uma metodologia com maior possibilidade de ser reproduzida pelas famílias da Ocupação Solano Trindade, o solo foi empregado com a umidade mantida dentro da bombona plástica utilizada, que correspondia a, aproximadamente, 20%.



Figura 2 – Coleta do solo no terreno da Ocupação Solano Trindade e preparo do material para a produção dos BTC no laboratório.

Fonte: Carvalho, 2019.

### Etapa 3 - Testes de Campo para Avaliação dos Solos

Na busca por compreender as principais características do solo sem a necessidade de ensaios laboratoriais complexos, foram realizados teste de campo fundamentados nos procedimentos desenvolvidos pela Rede Iberoamericana PROTERRA no manual “Seleção de Solos e Métodos de Controle na Construção com Terra - Práticas de Campo” (NEVES, et al., 2009). Esse documento orienta, aqueles que trabalham com solos, em caracterização empírica das propriedades mais relevantes de cada solo. Esse tipo de procedimento metodológico possibilita a determinação de qual técnica construtiva é mais adequada para aplicar o solo em análise. Foram realizados testes tátil-visuais, como o teste da queda da bola, teste do rolo, teste do cordão dentre outros conforme é apresentado na Figura 3.

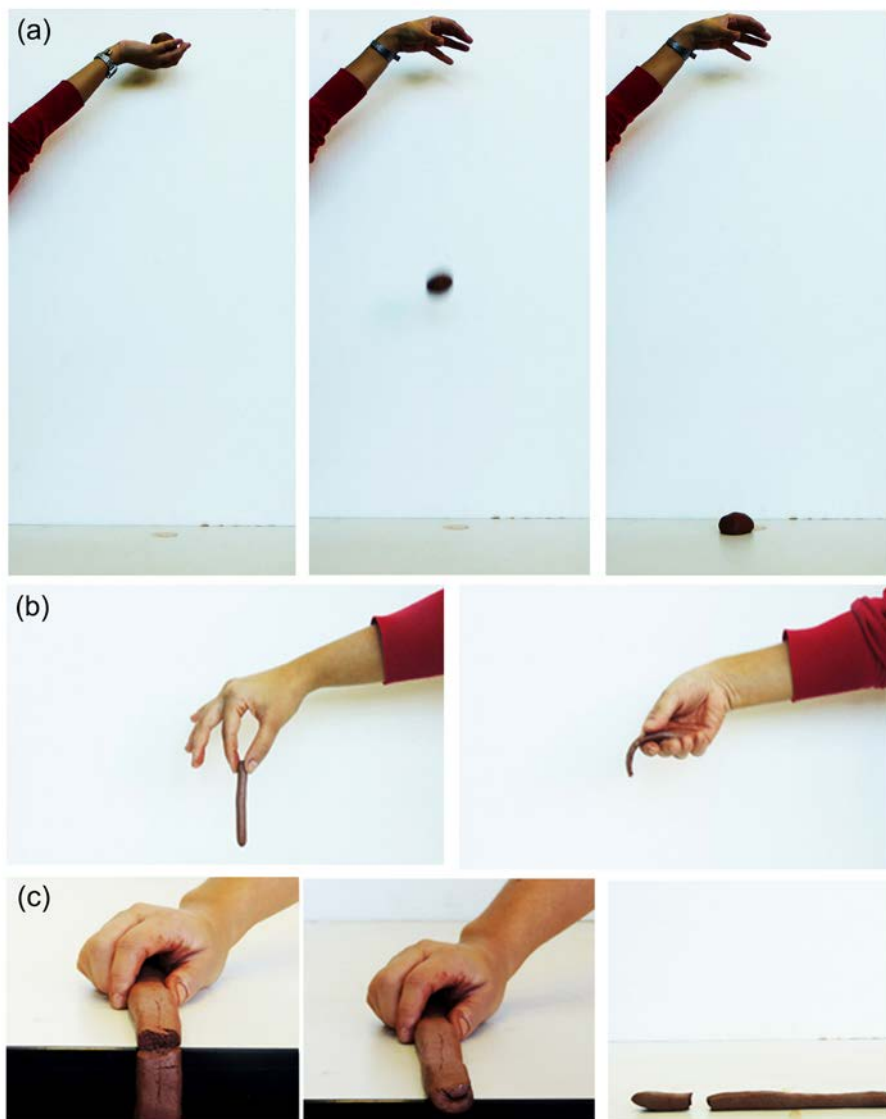


Figura 3 – (a) Testa da Queda da Bola, (b) Teste do Rolo e (c) Teste do Cordão.  
Fonte: Carvalho, 2019.

Os testes de campo são importantes ensaios de avaliação empírica, são de fácil realização, não necessitam de equipamentos especiais, e permitem indicar a potencialidade de utilização do material de acordo com as diferentes técnicas construtivas com terra. São importantes também para identificar similaridades entre os solos e identificar pontos de extração de terra mais adequados. Assim, tornam-se

importantes aliados para produção de elementos componentes construtivos a base de terra, dentro de contextos de produção pela própria comunidade. Os resultados dos ensaios realizados no solo coletado indicam que o solo estudado pode ser classificado como um material silto-argiloso sendo, portanto, indicado para aplicação em BTC.

**Tabela 1 – Resumo dos resultados dos testes táteis e apontamento para a técnica construtiva indicada**

Testes	Resultados
Testes Visuais	Siltoso ou argiloso
Teste da Queda da Bola	Solo indicado para adobe
Teste do Vidro	Argila
Teste do Cordão	Solo argilo-siltoso
Teste da Fita	Terra argilo-siltosa, arenosa ou arenoargilosa com plasticidade mediana
Teste da Exsudação	Solo silto-argiloso
Teste da Resistência Seca	Solos inorgânicos de alta plasticidade
Teste do Rolo	Solo não é indicado para taipa de pilão
Teste da Caixa	Solo indicado para BTC

Fonte: Carvalho, 2019.

#### **Etapa 4 - Produção dos BTC**

Levando em consideração os resultados obtidos nos testes de campo, optou-se por realizar a correção granulométrica do solo com uma pequena adição de areia média-fina, adicionando 30% de areia ao volume inicial do material. Para a produção dos BTCs foram estudadas as seguintes dosagens: Solo-Cimento (1:10), Solo-Cal-Resíduo Cerâmico (10:0,5:0,5) e Solo-Cal-Resíduo Cerâmico (9,5:1:0,5).

As três diferentes misturas foram realizadas separadamente, seguindo as seguintes etapas: primeiro o solo foi depositado em uma lona, em seguida foi acrescentado a ele os aglomerantes e, por fim, foi adicionada a água. A Figura 4 ilustra como devem ocorrer as etapas para o preparo das misturas. O acréscimo de a água foi realizado aos poucos, até que a mistura estivesse com a umidade ideal para a prensagem dos blocos. A umidade ideal foi identificada através de outro teste empírico recomendado por Neves *et al.* (2009, p. 29). Esse teste consiste em comprimir um punhado de terra com a mão, de maneira a formar uma bola com o material. Essa bola deve ser manter firme mesmo depois de a mão estar aberta. Em seguida, recomenda-se partir a bola ao meio, para a averiguação da umidade. Caso a bola esfarele durante esse processo, significa que tem pouca água;



caso o material ceda à pressão dos dedos e se deforme, significa que está muito úmido.

Após o preparo das misturas, o solo foi depositado na prensa manual para serem comprimidos. A Figura 5 ilustra as etapas do processo de moldagem dos BTC. A pesquisa procurou estabelecer um método de produção de fácil realização, possível de ser empregado em processos participativos de construção.

### Ensaio Laboratoriais



Figura 4 – Imagens que ilustram o método de preparo das misturas de solo-cimento para produção dos BTC.  
Fonte: Carvalho, 2019.

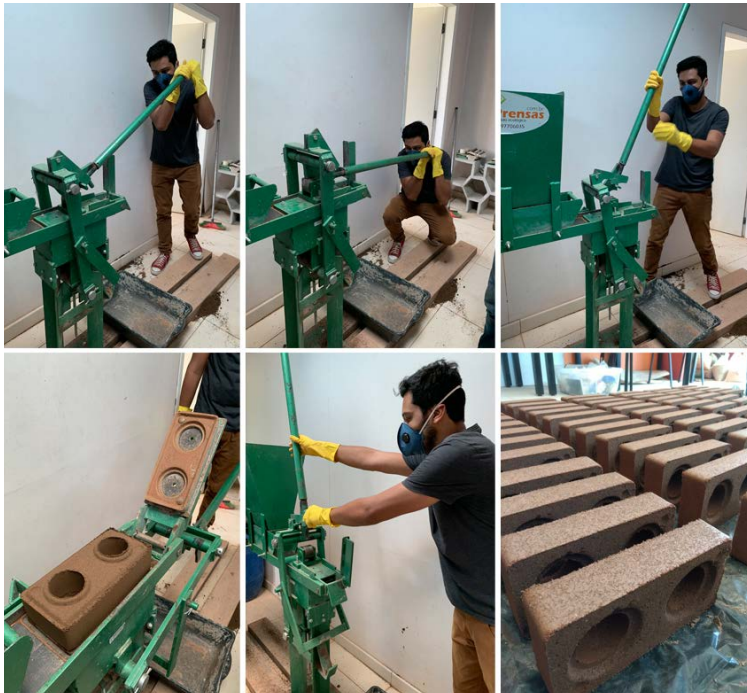


Figura 5 – Imagens que ilustram as etapas de produção dos BTC.  
Fonte: Carvalho, 2019.



Para compreender o desempenho mecânico dos BTC produzidos, foram realizados três ensaios, a saber:

### Ensaio de compressão simples:

A resistência à compressão é um dos parâmetros mais importantes do solo-cimento. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no momento em que os blocos apresentavam as idades de 7 e 28 dias após a fabricação. Os procedimentos desse ensaio seguiram o preconizado pela NBR 8492 (ABNT, 2012b). A Figura 6 demonstra as etapas de preparo e capeamento do corpo de prova e a Figura 7 apresenta o corpo de prova antes e depois do ensaio. Os resultados obtidos para os BTCs estabilizados com cimento Portland permitiram a produção de elementos construtivos com resistência à compressão compatível com a NBR 8491 (ABNT, 2012a) que prevê a produção de blocos com função estrutural para a construção de alvenarias autoportantes.



Figura 6 – Etapas do capeamento dos corpos de prova  
Fonte: Carvalho, 2019.



Figura 7 – Ensaio de Compressão: antes e depois do ensaio.  
Fonte: Carvalho, 2019.

### **Ensaio de Absorção Total e Ensaio de Durabilidade**

No ensaio de absorção total é avaliada a capacidade de absorção de água pela superfície dos blocos. O ensaio de absorção total, prevê a realização da secagem do material em estufa antes de serem imersos na água. Os blocos devem permanecer dentro de um aquário durante um período de 5 horas.

A norma NBR 13554 (ABNT, 2012e), prescreve a realização de ensaios que avaliam a durabilidade dos blocos a partir da perda de massa decorrente de ciclos sucessivos de molhagem e secagem, que devem ser realizados em corpos de prova cilíndricos produzidos a partir da NBR 12024 (ABNT, 2012d). Nesse trabalho, foram adotados, para a realização dos ciclos de molhagem, secagem e escovação, os mesmos procedimentos previstos na NBR 13554 (ABNT, 2012e), sendo nesse trabalho, os ciclos foram realizados diretamente nos BTC, após um período de cura de 90 dias.

Com esses ensaios verificou-se que o processo de estabilização com a incorporação da cal e resíduo cerâmico, levando em consideração, as proporções estudadas não permitem a produção de BTC para construção, em função da pouca

estabilidade frente a ação da água. No entanto, no caso dos blocos estabilizados com cimento Portland na proporção, foram obtidos resultados que satisfazem os critérios de durabilidade previstos.

## **RESULTADOS**

O trabalho desenvolvido conseguiu avaliar, através de procedimentos acessíveis a população local, a adoção das práticas de construção com terra na produção de elementos construtivos pré-fabricados, a partir da utilização de solo estabilizado. Os resultados obtidos neste estudo de caso são satisfatórios, já que comprovam a resistência e a durabilidade dos BTC produzidos com solo da ocupação Solano Trindade desde que estejam estabilizados com cimento Portland e recebam uma pequena correção do seu arranjo granulométrico. Ainda, é possível afirmar que os métodos de produção empregados e descritos neste capítulo, podem ser facilmente incorporados pelos moradores da comunidade por se tratarem de etapas de trabalho bem simplificadas. Os resultados completos dessa pesquisa são encontrados em Carvalho (2019).

Apesar de todos esses esforços para fornecer uma resposta objetiva à Oe avaliar experimentalmente o desempenho dos elementos construtivos. Foi possível comprovar que o método experimental aplicado nessa pesquisa para as etapas de extração da matéria prima, transporte, preparo do solo e produção dos elementos construtivos é simples, de fácil aprendizagem e pode ser difundido com facilidade para aqueles que quiserem aprendê-lo. Destaca-se que uma das principais vantagens das técnicas construtivas com terra é a sua capacidade de ser transferida, e a partir da sua apreensão, ela promove a organização das comunidades e o fortalecimento moral dos indivíduos a partir do trabalho.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O trabalho desenvolvido conseguiu comprovar a eficácia da adoção das práticas de construção com terra na produção de elementos construtivos pré-fabricados a partir da utilização de solo estabilizado com cimento. Os resultados obtidos neste estudo de caso são satisfatórios, uma vez que os BTCs estudados apresentaram uma boa durabilidade e ótimo desempenho mecânico.

Essa pesquisa, realizada a partir de um estudo de caso, buscou verificar a viabilidade de se construir com sistema construtivo com BTC como uma alternativa para a produção de moradia em práticas de processos participativos. A pesquisa já apresentou alguns desdobramentos importantes como a ação de mutirão promovida pela Ocupação, que objetivou a produção 25 milheiros de BTC que foram utilizados na primeira etapa

da construção das casas, cumprindo, portanto, com um dos objetivos propostos para a Fábrica de Cidades. Os relatórios de caracterização dos solos e os resultados dos ensaios de compressão e durabilidade foram solicitados pela Ocupação para que pudessem se utilizar dessas informações durante os processos de desenvolvimento e planejamento das ações de mutirão. Os participantes do mutirão relataram que, mesmo de posse dos métodos adotados e dos resultados apresentados, eles ainda encontram problemas na produção dos BTCs. Um relato importante foi o fato de que, mesmo adotando o traço de solo-cimento 1:10, que apresentou um excelente desempenho em laboratório, os blocos produzidos não apresentavam uma resistência mecânica adequada e desagregavam com facilidade ao serem manuseados. Os moradores optaram por realizar alguns testes de campo, na tentativa de compreender melhor o material. A partir disso, decidiram então produzir BTC com diferentes dosagens de solo-cimento, até conquistarem uma mistura que favorecesse a produção de um bloco com a resistência mínima necessária para serem a construção das casas.

Cabe ressaltar que a incorporação de cimento na mistura é apenas umas das possibilidades de produção dos BTCs. Diante da lógica da sustentabilidade, é válido pensar que a incorporação de outros materiais como resíduo de construção civil, também pode contribuir para minimizar o impacto ambiental provocado pela indústria da construção civil. É importante buscar, não só pela diminuição do impacto ambiental provocado pela extração das matérias-primas, como também destinar de forma adequada os materiais que já chegaram ao final da sua vida útil.

Não há aqui a pretensão de dizer que a arquitetura com terra será capaz de resolver todos os entraves relacionados ao déficit habitacional e aos problemas ambientais e sociais presentes na construção civil. No entanto, as ações demonstradas nesse trabalho, mesmo que pontuais, se revelam capazes de minimizar partes desses problemas. Talvez as pequenas ações sejam tão importantes quanto àquelas consideradas grandiosas. Enquanto se espera por estratégias globais que contribuam em grande escala para o desenvolvimento sustentável, ações pontuais, como essas aqui propostas, podem ser desenvolvidas para fortalecer as bases da sociedade e prepará-la para uma nova visão de um mundo verdadeiramente sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 8492 - *Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio*: NBR 8492. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

ABNT. NBR 10833 - *Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012a.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12024 - Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12024 - Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012d.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13554 - Solo-cimento - Ensaio de Durabilidade por molhagem e secagem - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012e.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. O desafio da sustentabilidade na construção civil. In: GOLDEMBERG, J. *Série sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, V. 5, 2011.

ASBEA, Grupo de Sustentabilidade. *Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes*. São Paulo: Prata Design, 2012.

CARVALHO, B. T.; MINTO, F. C. M.; SILVOSO, M. M. Arquitetura em terra na produção sustentável da habitação de interesse social. La Paz: *Seminário Iberoamericano de arquitectura y construcción con tierra*. 2017.

CARVALHO, Beatriz Temtemples. *Arquitetura com Terra na Construção Sustentável: Blocos de Terra comprimido para produção de habitação*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura - FAU/UFRJ. Rio de Janeiro, 2019.

CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. *Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas*. Rio de Janeiro: Ministerio de Meio Ambiente, V. 1, 2014.

CIB, International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: a discussion document*. United Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre, UNEP-IETC. [S.l.], 2002.

CMMAD, Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso futuro comum*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991. 430.

ELKINGTON, J. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone, 1997.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual do conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GARZÓN, L.E. Uma experiência de construção com terra crua na Paraíba, através da casa dos sonhos. Terra Brasil - III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil. *Anais...* Campo Grande: Terra Brasil, 2010.

HOFFMANN, M. V. *Efeitos dos argilos-minerais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo-cal*. Salvador: Cadernos PPG-AU, 2004. p. 113-124.

Houben, H.; Guillaud, H. *Traité de construction en terre*. 3ª. ed. Marseille: Parenthèses, 2006.

JOAQUIM, B. S. *Terra e trabalho: o lugar do trabalhador nos canteiros de produção da arquitetura e construção com terra*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). São Paulo: Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.

LEITÃO, G. E. A. *Tecnologias construtivas alternativas e programas habitacionais de interesse social*. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro - PROARQ, 1993.

MIELI, P. *Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil*. Monografia (Graduação) Escola Politécnica - Departamento de Eng. Metalúrgica e Materiais. Rio de Janeiro, 2009.

MPF, Ministério Público Federal. *MPF recomenda transferência de imóvel do Incra em Duque de Caxias (RJ) para a União*, 2019. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/rj/sala-de-imprensa/noticias-rj/mpf-recomenda>>

transferencia-de-imovel-do-incra-em-duque-de-caxias-para-uniao-a-fim-de-garantir-projeto-habitacional>. Acesso em: 18.mar.2019.

NEVES, C. *et al. Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. [S.l.]: Rede Ibero-americana PROTERRA, 2009. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 17. fev. 2018.

NEVES, C.; FARIA, O. B. *Técnicas de construção com terra.*, 2011. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 19.fev.2016.

NITO, M. K. da S. Sistemas construtivos em terra crua: panorama da América Latina nos últimos 30 anos e suas referências técnicas históricas. In: \_\_\_\_\_ *Revista Cadernos de Pesquisa da Escola da Cidade*. 1. ed. São Paulo: FAU-USP, 2015, p. 115.

OBSERVATÓRIO das Metrôpoles - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. *Fábrica Experimental de Cidades Solano Trindade*, 2017. Disponível em: <<http://observatoriodasmetrosoles.net.br/wp/fabrica-experimental-de-cidades-solano-trindade-2/>>. Acesso em: 20.mar.2018.

OLGYAY, V.; OLGAY, A. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

PARISI, R.; MINTO, F. Habitação Social no Brasil. In: CORREIA, M., *et al. Arquitectura de Tierra en América Latina*. Lisboa: Editora Argumentum/PROTERRA, 2016. p. 210-212.

PROMPT, C. *Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares: estudo de caso no Oeste Catarinense*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

PROMPT, C. H.; BORELLA, L. Experiências em construção com terra no segmento da agricultura familiar. Terra Brasil - III Congresso de Arquitetura e Construção com terra no Brasil. *Anais...*Campo Grande - MS: TerraBrasil, 2010.

RAMOS, J. M. S. *Formação profissional para a construção civil em um assentamento do MST: Contribuições para a Autoconstrução Habitacional*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade do Estado da Bahia. [S.l.]: Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação e Contemporaneidade. 2010.

SACHS, I. *Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SOUZA, D. B. I. *Reconstruindo Cajueiro Seco: Arquitetura, política social e cultura popular em Pernambuco (1960-64)*. São Paulo: Annablume, 2010.

UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction. *Towards a zeroemissions, efficient and resilient buildings and construction sector*. [S.l.]: [s.n.], 2020.

UNESCO. Unesco. *World Heritage Earthen Architecture Programme (WHEAP)*, 2018. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/>>. Acesso em: 20.mar.2018.


WEIMER, G. *Arquitetura popular brasileira*. São Paulo: Martins Fontes, 2005.





## PARTE III



An aerial photograph of New York City, showing the dense Manhattan skyline, the East River, and the Manhattan Bridge. The image is taken from a high angle, looking down on the city. The sky is clear and blue. The text is overlaid on the lower half of the image.

**TECNOLOGIAS DIGITAIS  
NA PRODUÇÃO DE  
EDIFICAÇÕES E CIDADES**

---

# **Propostas de uso das TICs no ensino de construção e geometria**

Bianca M. F. Leal

---

Com as revoluções industriais, as tecnologias passaram a ser disseminadas em diferentes áreas do conhecimento da sociedade e, também, alteraram significativamente a construção civil e o ensino. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) se tornaram importantes no cotidiano e indispensáveis para a maioria dos profissionais (RIGHI, 2009). Paralelamente, as tecnologias exercem fascínio nos indivíduos e, por esse motivo, podem agir como um catalisador pelo interesse nos estudos (Braga *et al.*, 2012).

Todavia, observa-se que as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores (CARVALHO; SAVIGNON, 2012). Assim, torna-se necessário repensar o processo de ensino-aprendizagem para que as possibilidades oferecidas pelas TICs sejam apresentadas aos estudantes de arquitetura durante sua formação profissional. Acredita-se que a estratégia a ser adotada deve ir além da inclusão de disciplinas que visam o ensino de *softwares*.

As TICs utilizadas como recorte da pesquisa foram *Building Information Modeling* (BIM), Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).

O BIM é apontado como uma das alternativas que está transformando a construção civil e, segundo Eastman *et al.* (2014), se refere à uma atividade humana que gerencia e produz dados da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida. De acordo com Braida, Colchete Filho e Maya-Monteiro (2006), RA e RV também trazem possibilidades para o ensino de arquitetura, análise de projeto, análise estrutural, entre outros. Por fim, Ferracane (2015) cita que um dos avanços tecnológicos fundamentais trata-se da

impressão 3D - também conhecida como PR e FD -, que se refere à transferência de dados de um modelo digital para uma máquina de controle numérico (CNC) para produção de elementos em escala reduzida (PR) ou em escala real (FD) (PUPO, 2016).

Nesse sentido, este capítulo visa apresentar de que forma as tecnologias digitais (BIM, RA, RV, PR e FD) podem ser incorporadas às práticas didáticas adotadas pelos docentes do ensino de construção e geometria.

## REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E TICS

A 1ª Revolução Industrial (1784-1869) representou uma transição da economia artesanal para a industrial (CARVALHO, 2010) e foi marcada pelo uso do vapor, carvão e ferro. Mais tarde, essas inovações cederam lugar aos avanços da 2ª Revolução Industrial (1870-1968): eletricidade, petróleo e aço (COHEN, 2013). Com as descobertas realizadas ao longo da 2ª Guerra Mundial, houve o desenvolvimento da Tecnologia da Informação e, assim, a 2ª Revolução Industrial chegou ao fim e abriu espaço para a 3ª Revolução Industrial (1969-?).

Segundo Mitchell e McCullough (1994 apud RIGHI, 2009), a 3ª Revolução Industrial se caracterizou pelo uso da eletrônica e da Tecnologia da Informação (TI) para automatizar a produção. Braz (2016, p. 7) acrescenta que essa revolução também foi marcada pela invenção do computador na 2ª Guerra Mundial, da internet e do sistema *wireless* na década de 1990, integrando o mundo através de redes. De acordo com Righi e Celani (2007), a evolução da TI resultou na redução dos custos dos equipamentos, tornando a tecnologia acessível à população. Adicionalmente, os mesmos autores citam que o computador avançou como ferramenta de projeto, se tornando parte do processo criativo.

Como desdobramento da utilização da internet nas atividades cotidianas da sociedade e com o aumento de sua velocidade (troca de dados) em um espaço menor de tempo, os processos realizados no mundo digital passaram a ter cada vez mais impacto no mundo físico e vice-versa. Com isso, o fim da 3ª Revolução Industrial se confunde com o início da 4ª Revolução Industrial.

A 4ª Revolução Industrial baseia-se no conceito *cyber-physical systems* que trata da interação profunda dos mundos real e virtual (FERRACANE, 2015). De acordo com esse autor, um dos avanços tecnológicos fundamentais para a ascensão da 4ª Revolução Industrial é a impressão 3D (também conhecida como fabricação digital ou prototipagem rápida), que permite imprimir objetos físicos a partir de modelos virtuais, possibilitando que o indivíduo customize qualquer produto e participe do processo de fabricação.

A plataforma BIM também tem sido apontada como uma das tecnologias que está transformando a construção civil. De acordo com Birx (2006 apud GARBINI, 2013), o BIM corresponde a terceira geração do CAD (*Computer Aided Design*) e tem como



objetivo principal integrar informações geométricas (forma, posição, dimensões, etc.) com dados não geométricos (material, volume, custo, especificações técnicas, etc.) por meio de relacionamentos associativos e paramétricos.

Eastman *et al.* (2014) relatam que BIM é um processo de projeto baseado em um modelo 3D parametrizado que contém especificações dos componentes de todos os projetos envolvidos na edificação. O mesmo autor complementa que essa plataforma gerencia e produz dados da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida, permitindo uma melhor performance do edifício. Vale acrescentar que o conceito de BIM “pressupõe a existência de um conjunto de ferramentas integradas e complementares, capazes de realizar diversos tipos de operação sobre o modelo único da edificação [...]” (FREIRE, TAHARA; AMORIM, 2012, p. 3414).

Nesse sentido, em 2017, 204 softwares que operam a plataforma BIM estavam certificados pela *BuildingSmart*, divididos em diversas categorias como arquitetura, estrutura e gerenciamento da construção (BUILDINGSMART, 2016). Esses *softwares* contribuem para que diferentes tipos de informações sejam inseridos e avaliados em cada etapa do ciclo de vida da edificação.

Outra tecnologia que merece destaque face às possibilidades que ofertadas pelo setor de arquitetura e construção é a Realidade Aumentada (RA). Essa tecnologia, segundo Cupers Schmid (2016), consiste na sobreposição de imagens ou informações virtuais no mundo real por meio de um dispositivo com câmera. A mesma autora (2016, p. 168) cita que a interação no ambiente de RA se dá “em um ambiente real com a adição de dados virtuais, gerando uma visão composta em tempo real. A composição é uma combinação de uma cena real vista pelo usuário e uma cena virtual gerada por um sistema computacional”. Uma das maneiras de utilizar RA é por meio de marcadores, como QR Codes, e por GPS e sensores de orientação, normalmente usados em dispositivos móveis, como o *smartphones* e *tablets* (CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011).

Também considerando as possibilidades oferecidas ao universo da arquitetura, destaca-se a Realidade Virtual (RV) que permite a imersão no mundo completamente virtual através de óculos, capacete, luvas de dados, entre outros (CUPERSCHMID, 2016; PARAIZO, 2016).

Complementarmente às tecnologias apresentadas, cita-se a Prototipagem Rápida (PR) que se refere à transferência de dados de um modelo digital a uma máquina de controle numérico (CNC) para produção de protótipo (PUPO, 2016). Na arquitetura, a PR pode ser usada em diferentes estágios do processo de projeto. Na etapa conceitual, Andrade (2016) cita que pode ser usado para compreender a relação do edifício com o entorno, testar um detalhe construtivo, visualizar com mais clareza as intenções projetuais e, também, permite o estudo de formas complexas geradas pelo computador. Ainda

nessa etapa, Savignon, Salgado e Lassance (2012) expõem a possibilidade de criação de propostas inovadoras respaldadas por testes e simulações no protótipo que garantem a construtibilidade do produto final.

## O ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL

O currículo do curso de arquitetura e urbanismo brasileiro é determinado pelo Ministério da Educação (MEC). Para esse curso, o MEC regulamentou as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) de 2010, que estabelece sua organização e também define os conteúdos curriculares obrigatórios para todos os cursos do país.

Segundo o MEC (2010), o currículo obrigatório de arquitetura deve compreender três grupos interdependentes: núcleo de conhecimentos de fundamentação, núcleo de conhecimentos profissionais e trabalho de curso. O núcleo de conhecimentos de fundamentação e profissionais são formados por 13 áreas de estudo. Esse capítulo aborda as áreas ‘desenho e meios de representação e expressão’, ‘tecnologia da construção’, ‘sistemas estruturais’ e ‘informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo’.

Com base nas competências e habilidades definidas nas DCN, a pesquisa agrupou as áreas do saber por temas similares em duas categorias, conforme mostra o Quadro 1. Essas categorias são “construção” e “geometria”. Uma diretriz utilizada no estudo foi repetir o campo do saber ‘informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo’ nas duas categorias, uma vez que o capítulo busca integrar as tecnologias ao ensino de arquitetura e urbanismo (LEAL, 2018). Desse modo, as áreas do saber serão citadas por meio dessas categorias ao longo do texto.

Quadro 1 – Agrupamento das áreas do saber das DCN

Áreas do saber (MEC, 2010)	Categorias	Conteúdos a serem ensinados (MEC, 2010)
Tecnologia da Construção	“Construção”	materiais de construção; técnicas e sistemas construtivos; instalações e equipamentos prediais; organização de obras e canteiros; implantação de infraestrutura urbana; sistemas estruturais; domínio da concepção e do projeto estrutural; resistência dos materiais, estabilidade das construções; fundações.
Sistemas Estruturais		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Desenho e Meios de Representação e Expressão	“Geometria”	habilidades de desenho; domínio da geometria; perspectiva; modelagem; maquetes; modelos; imagens virtuais.
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		

## METODOLOGIA

A pesquisa aqui relatada foi realizada em três etapas: (1) fundamentação teórica; (2) Revisão Sistemática de Literatura (RSL); (3) revisão de literatura sem meta-análise (RSM). A segunda etapa apresentou um panorama de utilização de TICs no ensino de arquitetura e urbanismo e também serviu de base para a terceira etapa que apontou alternativas de uso de tecnologia pouco exploradas no meio acadêmico.

Na realização da RSL, o recorte amostral considerado foi artigos de periódicos, congressos, teses e dissertações publicados nos últimos dez anos (2007 a 2017), que relatam sobre experiências didáticas que incorporam TICs (BIM, RA, RV, PR e FD) no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. As fontes consultadas foram os periódicos Ambiente Construído, PARC e Gestão & Tecnologia de Projetos, a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do IBICT, os anais de congressos TIC, GRAPHICA, ENTAC e SBQP, além da base de dados CumInCAD. As palavras-chave utilizadas na busca foram BIM, *Building Information Modeling*, realidade aumentada, *augmented reality*, realidade virtual, *virtual reality*, prototipagem rápida, *rapid prototyping*, fabricação digital e *digital manufacturing*.

Os critérios de inclusão de dados foram: (a) trabalhos publicados no período de 2007 a 2017; (b) o arquivo deve tratar de uma experiência didática de uma ou mais TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo; (c) a publicação deve abordar sobre ensino e pelo menos uma das TICs (BIM, RA, RV, PR ou FD); (d) as publicações devem estar disponíveis para consulta em meio eletrônico; (e) publicações que o professor usa TIC em sala de aula; (f) publicações que o aluno usa TIC em sala de aula desde que o propósito do uso da ferramenta seja para ensinar conteúdos de arquitetura e não ensinar a manipular um *software*.

Levando em consideração o critério (d) de inclusão, alguns trabalhos não foram considerados na pesquisa: anais do GRAPHICA 2009, seis artigos do TIC 2011, dois artigos do TIC 2013. Da mesma forma, os anais do TIC 2017 também não estavam disponíveis até janeiro de 2018, quando foi finalizada essa etapa da pesquisa.

Com relação ao critério de exclusão, foram desconsiderados os textos que usaram TIC para experimentação da tecnologia e não como um modo de ensino de um conteúdo de arquitetura.

A terceira etapa da pesquisa utilizou o método de revisão de literatura sem meta-análise, que aborda sobre diferentes aplicações de TICs no campo da arquitetura e urbanismo. Os artigos utilizados nessa etapa foram encontrados em diferentes bases de dados durante buscas que ocorreram ao longo da pesquisa de mestrado, e outras publicações foram detectadas durante a pesquisa de RSL da etapa dois. Os textos demonstram diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados no meio acadêmico.



Para cada experiência de uso de TIC foi atribuída um modo de utilizar a tecnologia, que foi chamado nessa pesquisa de ‘recurso tecnológico’. Certos recursos tecnológicos apresentam diferentes maneiras de serem explorados, que foram denominados como ‘métodos de rastreamento’ do objeto virtual (alternativas). Então, por exemplo, a TIC RA pode ser utilizada de diferentes formas no ensino por meio dos seguintes recursos tecnológicos: relacionar o real com o virtual, manipulação do modelo, entre outros. Um dos ‘métodos de rastreamento’ do recurso ‘relacionar o real com o virtual’ trata-se de utilizá-lo por meio de marcador, GPS ou sem marcador.

### **CONSTRUÇÃO DIGITAL *versus* MATERIALIDADE**

Essa seção apresenta experiências já exploradas (RSL) e pouco exploradas (RSM) em sala de aula de uso de TICs no ensino de disciplinas que fazem parte da categoria ‘construção’.

#### **RSL**

Uma das possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino de tecnologia da construção e sistemas estruturais é explorada por Basto e Lordsleem Junior (2016) em um estudo que descrevem e analisam uma experiência de ensino de BIM em uma disciplina de *Construction Project Management I* ministrada no *Arizona State University (ASU)*, EUA, em 2014. Nessa disciplina, aulas teóricas e práticas deram base para os alunos realizarem o trabalho final. Esse trabalho promoveu a aplicação prática dos conhecimentos teóricos de gerenciamento de projeto e do uso de *softwares* (Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project) ensinados na disciplina. Dessa forma, os alunos vivenciaram uma experiência de planejamento do processo de projeto de uma edificação a partir de uma seleção fictícia de uma empresa (um dos grupos de alunos) a ser contratada para executar um projeto de um cliente.

Outra potencialidade da plataforma BIM foi explorada por Kubicki *et al.* (2012). Os autores tratam sobre a aplicação da simulação 4D para auxiliar no ensino de princípios estruturais e processos de construção a fim de confrontar o aluno com a análise das características dos projetos existentes e com problemas de gestão da construção. Esse estudo ocorreu na *University of Liège*, Bélgica, e os *softwares* utilizados foram SketchUp™ para modelagem 3D e 4D *Virtual Builder*® (*plug-in* do SketchUp™) para modelagem e simulação 4D. Nessa experiência, os alunos utilizaram a tecnologia para modelar e testar soluções estruturais e componentes do sistema construtivo de edifícios prontos. Contudo, os professores também poderiam ter utilizado a simulação 4D para explicar conteúdos teóricos da disciplina e, assim, otimizar a compreensão desses alunos quanto aos temas tratados em sala de aula, como princípios estruturais e processos de construção.

Neiva Neto e Ruschel (2015) propõem o desenvolvimento de projeto de fôrma de madeira na plataforma BIM. Esse experimento foi usado para o ensino de técnicas construtiva, mas pode ser empregado no ensino de outros conteúdos como sistemas construtivos, instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, sistemas estruturais, domínio da concepção e do projeto estrutural, estabilidade das construções e fundação.

Mokhtar (2007) utiliza o *software* BIM chamado Autodesk® Architectural Desktop como meio de aprendizagem de sistemas estruturais durante a prática de projeto, uma vez que o autor acredita que a dificuldade da maioria dos alunos é de selecionar e adequar um sistema construtivo apropriado às condições de determinado projeto.

Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) uniram a plataforma BIM com Realidade Aumentada por meio do desenvolvimento de um aplicativo chamado Skope. Esse aplicativo fornece acesso a um modelo BIM sensível a localização permitindo a sobreposição desse modelo em um edifício do mundo real. Com isso, os alunos podem interagir com diferentes parâmetros do modelo tais como orientação, entorno, direção de ventos predominantes, processos de construção, sistemas estruturais, detalhes de conexão, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação durante, durante a aula e puderam analisar e compreender o funcionamento do edifício.

A Realidade Aumentada também pode ser explorada no material didático como foi feito por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016). Os autores desenvolveram e testaram o *AR Magic Book* onde a RA foi utilizada para aumentar o conteúdo dos livros didática. As imagens, tabelas e diagramas do livro funcionavam como um marcador. Quando dispositivos portáteis habilitados a *web* capturavam esses marcadores, informações virtuais (vídeos, sons e/ou imagens) se sobrepunham no livro. Com isso, a RA pode ser usada para potencializar a aprendizagem com o material didático.

Outra possibilidade das TICs refere-se ao uso da Realidade Virtual para treinamento em canteiro de obra com profissionais do setor ou com alunos em sala de aula visando explicar o sequenciamento de montagem de uma obra, como foi tratado no caso de estudo de Stange (2012). O autor desenvolveu um protótipo de RV não imersiva onde o usuário realiza um treinamento virtual de montagem de uma fôrma para moldar um pilar de concreto. A atividade é realizada em um *laptop* e utiliza o mouse para navegar e montar a fôrma.

Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) identificam experiências educacionais de construção de pavilhões temporários através de fabricação digital. Os autores (p. 320) destacam que *“a natureza temporária do pavilhão cria uma oportunidade para testar novos materiais e processos construtivos, mas também para experimentar ideias teóricas e conceituais”*.

## RSM

Uma das alternativas a serem adotadas no ensino de 'construção' é citada por Cunha (2016) que desenvolveu um modelo BIM e o divulgou em um site, que pode ser utilizado pelos docentes para demonstrar o processo construtivo a partir da visualização por elementos do modelo (habilitar apenas os pilares, fundação, piso, etc.).

Em trabalho anteriormente desenvolvido apresentou-se a possibilidade de uso de aplicativos BIMx ou A360 para facilitar a compreensão de projetos de fôrma, armação e instalações prediais devido a sua facilidade de migração de uma planta baixa ou corte para o modelo 3D (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018).

Cupersmid, Grachet e Fabrício (2016) desenvolveram um aplicativo de RA associado a um modelo BIM para funcionar como um tutorial na montagem de uma parede pré-fabricada. Da mesma forma, os professores podem utilizar a RA para realizar ensaios em laboratório onde os alunos possam vivenciar a construção de um trecho de uma edificação.

Assis, Brochardt e Andrade (2016) descrevem soluções para uso de RA em canteiro de obras (marcadores impressos, *markless tracking* e *markless augmented reality*). Essas soluções viabilizam uma visita a obra ou construção finalizada com apoio de RA para mostrar a comunicação entre as instalações prediais e sua relação e posicionamento em relação a arquitetura, estrutura, exaustão e outros.

Seguindo a mesma lógica de utilização de RA, Kuo *et al.* (2004) relatam a aplicação dessa tecnologia para o ensino do funcionamento do jardim ecológico em sua universidade. Os alunos visualizavam virtualmente o sistema de reaproveitamento de água do jardim por meio de um *tablet*. As informações 2D, 3D e textos ficavam sobrepostas ao cenário real, ajudando os alunos a compreender o mecanismo do *campus*. Adicionalmente, os estudantes podiam circular com o *tablet* em um eixo determinado para adquirir informações dos edifícios circundantes. Logo, conclui-se que a RA permite a inclusão de informações pós-construção que possibilitará uma adequada manutenção da edificação.

Netto, Machado e Oliveira (2002, p. 26) citam dois autores, Dupont (1994) e Vince (1995), que descrevem o uso de RV durante a utilização de simulações para avaliar o comportamento de edificações sob efeito de terremotos, ventos fortes, enchentes e outras situações adversas, além de testar a forma que a construção se comporta em caso de demolição e, em seguida, fazer alterações na estrutura prevenindo sua demolição.

Grilo *et al.* (2001, s.p.) acrescentam que ambientes imersivos com "*percursos interativos permitem um nível de compreensão do projeto superior ao das representações bidimensionais ou dos modelos tridimensionais*". Dessa forma, os projetos de instalações prediais e de estrutura poderiam ser melhor compreendidos pelos alunos se houvesse

uma experiência de RV combinando a visualização tridimensional dos componentes da edificação com a visualização bidimensional de planta e/ou corte.

Carvalho *et al.* (2017) criaram módulos de uma edificação, caminhões e guindastes na escala 1/50 para ajudar no entendimento do transporte, içamento e montagem da construção. Usando essa perspectiva, a PR pode ser utilizada para a compreensão de técnicas e sistemas construtivos modular e/ou convencional, fundações, diferentes sistemas estruturais, instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros bem como a implantação de infraestrutura urbana.

Assim como as outras TICs apontadas anteriormente, a prototipagem rápida também pode ser explorada no ensino de tecnologia da construção e sistemas estruturais. Em seu estudo, Savignon, Salgado e Lassance (2012) destacam vantagens do uso de protótipos para integrar técnica construtiva com a concepção arquitetônica. Segundo os autores, o protótipo auxilia na comunicação de ideias sobre materiais, conexões, texturas, formas, tamanhos e proporções entre outros aspectos; reduz o tempo de compreensão dos detalhes de projeto; dribla o problema da representação em desenho com soluções construtivas; propicia um acesso instantâneo ao objeto de estudo; auxilia na avaliação antecipada do produto e eliminação de possíveis falhas; e ajuda na detecção de problemas de execução não observados durante a elaboração do projeto.

Entre as tecnologias pesquisadas no universo explorado da RSL, o estudo apontou uma tendência de uso de BIM no ensino de ‘construção’ em comparação com as demais TICs. Da mesma forma, RA, RV, PR e FD também possuem potencial de serem exploradas no ensino de ‘construção’, sendo assim um assunto que necessita de pesquisas adicionais.

## **APRENDIZADO DIGITAL E PERCEÇÃO DA GEOMETRIA**

A adoção das tecnologias digitais no ensino de arquitetura e urbanismo não é um tema novo. Algumas universidades desenvolveram experiências didáticas explorando algumas potencialidades que as TICs podem oferecer para o ensino de geometria.

### **RSL**

Um desses casos foi relatado por Delatorre, Pereira e Pupo (2013 apud DELATORRE, 2014) que realizaram uma pesquisa no curso de Arquitetura e Urbanismo da UNOCHAPECÓ, Santa Catarina, que introduziu o BIM na disciplina de desenho arquitetônico em turmas do 1º período do curso. Segundo os autores (p. 83), a ferramenta utilizada foi o Archicad e a “experiência limitou-se à modelagem e aos recursos de visualização” proporcionados pelo programa. Após a exposição de conteúdos teóricos, os alunos começaram a aprender os diferentes tipos de representação arquitetônica por meio da modelagem no *software* e extração de desenhos (plantas, cortes, vistas e fachadas). A pesquisa apontou que os

estudantes sentiram mais facilidade de interpretar e desenhar a partir do modelo BIM se comparado com os demais alunos que aprenderam da maneira tradicional. Com a terceira dimensão, os alunos passam a ter maior compreensão da volumetria e a percepção espacial foi facilitada. Assim, para esse estudo, o recurso tecnológico proporcionado por essa experiência foi a ‘interação entre o modelo e o projeto.

Checcucci, Amorim e Pereira (2013) contam a experiência de introdução de BIM no curso noturno da Faculdade de Arquitetura da UFBA, Brasil. Entre os assuntos abordados pelos autores, se destaca a experiência da disciplina ‘Desenho Projetivo’ que trata sobre conteúdos de geometria descritiva, perspectiva linear, desenho projetivo, introdução ao desenho técnico e desenho arquitetônico. O diferencial é que o conteúdo foi ensinado por meio da ferramenta SketchUp e não pelos recursos tradicionais de desenho. As explicações, os exercícios e os trabalhos foram praticados na disciplina por uma abordagem 2D e 3D através deste programa.

Similarmente, Pontes (2013) introduziu o uso de ferramentas computacionais na disciplina ‘Oficina de Fundamentação e Instrumentação’ do curso noturno da UFMG, Brasil, em 2013. Primeiramente, os alunos aprendiam geometria descritiva pelo programa SketchUp por meio de aulas teóricas e “como ferramenta para representação dos sistemas de projeção cilíndrica e cônica” (PONTES, 2013, p. 570). O autor (p. 570) explica que “são trabalhados problemas típicos como a caracterização e interseção de planos no espaço e esses problemas são resolvidos tanto através do ferramental bidimensional do sistema projetivo quanto através dos facilitadores de operações do próprio software”. E acrescenta que os alunos representam bidimensionalmente a partir do modelo geométrico e vice-versa. No final, o processo foi repetido com desenhos a mão livre em escala. Depois, o aluno repete o exercício que havia sido trabalhado apenas geometricamente só que agora usando elementos construtivos como a “representação de um telhado e a solução da interseção das diversas águas” através do *software* Revit (PONTES, 2013, p. 570). Como o curso estava em andamento, o autor possuía resultados preliminares que apontaram que este experimento fez o inverso do processo tradicional, pois parte-se do espaço 3D representado e o transforma em uma representação 2D.

Florio (2007) descreveu uma experiência didática na disciplina Computação na Arquitetura no 3º ano da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil. Nessa disciplina, os alunos modelaram três edifícios no Revit (versão 8.1) com o propósito de “verificar o aprendizado das relações espaciais entre os elementos construtivos”. Foram apontados como resultado a compreensão da representação 2D dos projetos, entendimento da sequência de execução da obra, redução de “erros de interpretação e articulação entre elementos construtivos no espaço” e, conseqüentemente, melhoria na qualidade dos projetos (FLORIO, 2007, n. p.).

Vaz, Andrade e Silva (2011) introduziram TIC no ensino de Projeções Cotadas, mais especificamente ensino de telhados, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, Brasil. Nessa experiência, os autores usaram 75% das aulas para ministrar o conteúdo teórico e exercícios sobre projeções cotadas com instrumentos de desenho (esquadros, régua e compasso) e nos 25% restante, utilizaram o SketchUp onde modelaram os projetos 2D em 3D. Os autores concluem que essa abordagem facilitou a compreensão dos assuntos teóricos, melhorou a visualização espacial, motivou e aumentou o interesse do aluno pela disciplina e resultou em maior rendimento nos conteúdos trabalhados. Os autores usaram uma TIC para auxiliar no ensino de habilidades de desenho, entretanto, esse procedimento pode ser aplicado aos outros conteúdos de geometria como domínio da geometria, perspectiva, modelagem, maquetes e modelos.

Outra forma de ensinar geometria com tecnologia é usando Realidade Aumentada. Amim (2007) e Lima, Haguenuer e Cunha (2007) citam uma experiência desenvolvida na *Technische Universität Wien*, Áustria, chamada Construct 3D. Com essa ferramenta, os professores utilizam RA para ensinar matemática e geometria. Esta é uma “ferramenta de construção 3D, sem animação, num ambiente imersivo com propósitos educacionais” (KAUFMANN *et al.*, 2005 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, n. p.). Com a ajuda de um *Head Mounted Display* (display montado na cabeça) e uma caneta interativa, os alunos visualizam objetos 3D e trabalham diretamente no espaço tridimensional, onde podem criar e realocar pontos ou sólidos tridimensionais e analisar a estrutura dos novos elementos criados. Segundo Amim (2007, p. 103), “a maior vantagem em utilizar RA, é que os estudantes passam a ver os objetos tridimensionais, que antes eles tinham que calcular e desenhar em um papel” e acrescenta que este método possibilita rápida compreensão das questões espaciais ensinadas se comparado com o método tradicional..

Lima, Haguenuer e Cunha (2007) apresentam uma proposta de Cartões Marcadores Reconfiguráveis desenvolvido por Meiguins, Almeida e Oikawa (2006) na UFPA, Brasil, utilizando o sistema ARToolKit. Os marcadores são formados por uma base e pequenos peças (cubos) que quando agrupados em uma certa configuração exibem diferentes objetos de RA. A primeira aplicação desses marcadores reconfiguráveis ocorreu em uma disciplina de Geometria Espacial. Segundo Meiguins, Almeida e Oikawa (2006), uma das formas de utilizar os marcadores na disciplina para explicar os elementos que formam uma pirâmide, por exemplo, é montar um marcador que mostre primeiramente os vértices da pirâmide, depois, são acrescentadas peças neste marcador para revelar arestas ligando os vértices e, por fim, adiciona-se mais peças para formar as faces. Sendo que a retirada de algumas peças representa a remoção de algum elemento virtual. Outra forma descrita pelos mesmos autores de utilizar os marcadores trata da proposição de exercícios, de modo que o enunciado da questão (texto, figura e dados) podem ser

exibidos em RA por um marcador, enquanto os alunos utilizam outro marcador para interagir com modelos geométricos para resolver a questão proposta. Outra opção de exercício é utilizar um marcador com informações ensinadas em sala que auxiliem na resolução de uma questão.

Outra alternativa de uso de RA em geometria foi apresentada por Lima, Haguenuer e Cunha (2007), que expõem um protótipo desenvolvido pela Escola de Belas Artes da UFRJ em conjunto com o Grupo Realidade Virtual (GRVA) do Laboratório LAMCE da COPPE-UFRJ. O protótipo é um aplicativo para estudo e visualização de seções cônicas (círculo, elipse, parábola ou hipérbole) da Geometria Descritiva por meio da Realidade Aumentada. Segundo os autores (n.p.), o aplicativo foi elaborado “através do DART – *Designer’s Augmented Reality Toolkit*, que funciona no programa Macromedia Director MX”, visualizador *Monitor Based AR*, um computador e webcam *Creative*. O aplicativo possui quatro módulos de visualização: (1) Épura: visualização simultânea das vistas ortogonais do objeto estudado no espaço 3D; (2) Sólido Épura: observação das vistas anteriores acrescido do “sólido que deu origem à épura”; (3) Sólido: visualização em 3D da seção cônica sem as projeções ortogonais; (4) Saber Mais: mostra a “definição geométrica da seção cônica escolhida, segundo o Teorema de Apolônio” (LIMA, HAGUENAUER; CUNHA, 2007, n.p.). Por último, os mesmos autores destacam que esse tipo de experimentação proporciona o desenvolvimento da Inteligência Espacial, enquanto o ensino tradicional prioriza o ensino através das Inteligências Linguística e Lógico-Matemática, o que resulta na dificuldade dos alunos compreenderem os temas abordados em sala.

Andrade, Goulart e De La Cruz (2017) mostram o resultado de um Trabalho de Conclusão de Curso de Design do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Brasil, que resultou em um livro chamado “Cadernos de Exercícios – desenho técnico com auxílio da realidade aumentada”. Como o próprio nome induz, este livro contém exercícios de desenho técnico com 30 peças diferentes mostrando vistas ortográficas, um QR Code e um espaço tracejado para o aluno desenhar as peças em perspectiva. Com o aplicativo Augment instalado no *smartphone* ou *tablet*, o aluno captura o QR Code e visualiza a resposta do exercício através da peça em 3D que aparece na tela do celular/*tablet* e pode ser manipulada (rotacionar e mexer no zoom). Segundo os autores (n.p.), o aplicativo Augment foi “escolhido por oferecer licença educacional gratuita”. Vale destacar que qualquer usuário que faça um *login* pode inserir modelos nesse aplicativo. Dessa forma, o Augment demonstra ser um recurso de fácil acesso aos professores que queiram utilizar RA em sala de aula e para os alunos que conseguem encontrar com facilidade o aplicativo no *App Store* ou *Play Store*.

Markusiewicz e Styk (2015) implementaram Realidade Aumentada na disciplina *Computer-Aided Modeling* no curso de arquitetura da *Warsaw University of*



*Technology*, Polônia, nos anos acadêmicos de 2013/2014 e 2014/2015. O principal foco dos autores foi o ensino de RA para os alunos usarem em apresentações de projeto. Do ponto de vista dos autores, essa abordagem contribuiu para os alunos utilizarem diferentes meios de expressarem seu trabalho – como incluir vídeo, som, texto, imagem e modelo digital em apresentações –, além de permitir que os espectadores interagem e explorem de maneira mais efetiva o modelo arquitetônico projetado. Os programas ensinados foram Metaio Creator, Metaio Cloud e aplicativo Junaio nos anos 2013/2014 e Unity 3d com Vuforia plugin, SDK e Rhinoceros nos anos 2014/2015.

Exercício acadêmico utilizando Fabricação Digital é uma das possibilidades exploradas no ensino de geometria. Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) apresentam exemplos de pavilhões temporários desenvolvidos por meio de fabricação digital por alunos e professores em uma experiência acadêmica realizada em 2015 na FAU-UFRJ. O exemplo que se destaca no ensino de geometria é o *The Butterfly Gallery* criado por iniciativa do PROARQ/FAU-UFRJ usando os recursos disponíveis no LAMO-3D – Laboratório da FAU-UFRJ. O pavilhão instigou a reflexão teórica e experimental sobre o “papel da geometria descritiva no contexto contemporâneo” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 323). As ferramentas de modelagem 3D utilizadas foram Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper. O processo didático consistiu em *workshop* sobre desenho paramétrico, linguagem de programação e uso de algoritmos e, depois, são apresentadas técnicas de fabricação digital, principalmente corte a *laser*.

Borges *et al.* (2015) utilizaram artefatos metálicos de edificação de interesse patrimonial para realizar análises de geometria plana (entes geométricos, concordância, simetria e proporção), posteriormente, modelar, fazer o planejamento (definição do material e modo de montagem das partes) e corte das peças. O programa vetorial de modelagem usado foi o AutoCAD e o software para corte a *laser* foi o Laser CA. Esse experimento ocorreu na UFPel, Brasil, e os autores destacam que este exercício aperfeiçoou o planejamento de métodos de representação digital, promoveu maior apropriação técnica para a reprodução de modelos físicos e reprodução de formas complexas, além de melhorar a compreensão das relações de proporção de elementos.

Com base no universo pesquisado, o Quadro 2 consolida as experiências didáticas que utilizaram TICs no ensino de geometria. Esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos (método de rastreamento), os conteúdos de geometria - definidos nas DCN de 2010 - que foram ensinados e o autor que citou a experiência. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘interação com o modelo e o projeto’ em relação ao BIM, ‘manipulação do modelo virtual’ quanto à RA e ‘testar / estudar a forma’ sobre PR/FD. A predominância desses recursos

tecnológicos talvez se deva pela facilidade de utilização deles em relação ao conteúdo que foi abordado nas experiências citadas.

**Quadro 1 – Consolidação das experiências didáticas de uso de TICs no ensino de geometria**

TIC	Recurso Tecnológico	Método de rastreamento	Conteúdo de geometria	Autor(es) (ano)
BIM	Interação com o modelo e o projeto Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva; Modelagem; Imagens virtuais. Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Modelagem; Imagens virtuais. Habilidades de desenho; Modelagem; Modelos; Imagens virtuais.		Habilidades de desenho; Modelagem	Delatorre, Pereira e Pupo (2013 <i>apud</i> DELATORRE, 2014)
				Checcucci, Amorim e Pereira (2013)
				Pontes (2013)
				Florio (2007)
RA	Manipulação do modelo virtual	Sem marcador	Habilidades de desenho	Vaz, Andrade e Silva (2011)
			Habilidades de desenho; Perspectiva	Andrade, Goulart e De La Cruz (2017)
			Modelagem; Imagens virtuais.	Markusiewicz e Słyk (2015)
	Visualização do modelo	Por meio de marcador	Domínio da geometria	Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 <i>apud</i> LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007) Lima, Haguenuer e Cunha (2007)
FD	Materialização das soluções/estudo da forma		Domínio da geometria; Modelagem; Modelos	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)
PR	Domínio da geometria; Maquetes; Modelos.			Borges <i>et al.</i> (2015)

Fonte: Leal e Salgado, 2018.

## RSM

Existem possibilidades pouco exploradas de uso de BIM no ensino de disciplinas ligadas à geometria. Borges (2016) trata sobre o desenvolvimento de competências de representação gráfica em uma experiência com uso de um programa paramétrico de modo a identificar aspectos relacionados ao ensino de expressão gráfica e sua interação com o processo de projeto em um curso de engenharia mecânica. Seguindo esse raciocínio, o professor pode usar a visualização tridimensional do modelo BIM e a documentação de projeto para ensinar desenho de arquitetura, mostrando o que cada representação simboliza no modelo, bem como princípios de perspectiva. A demonstração pode ser feita pela própria interface de software BIM de arquitetura como por aplicativos como BIMx ou A360. Sobre isso, Checcucci (2014, p. 182) alerta que além da representação, o “modelo será utilizado para diversas outras atividades [...]. Neste sentido, é importante que o estudante tenha consciência sobre os usos futuros do modelo de forma a poder participar do contexto amplo do BIM no ciclo de vida da edificação”.

Em sua pesquisa, Checcucci (2014, p. 190) sugere

O ensino-aprendizagem das normas, da criação das diferentes pranchas da edificação e do desenho técnico pode ser realizado diretamente utilizando um programa BIM, pois além de permitirem a representação precisa da edificação também agregam outros recursos de desenho, similares aos que os programas CAD tradicionais (editores de desenho - 2D e modeladores geométricos - 3D) apresentam.

Além da alternativa de ensinar habilidades de desenho, conforme citado acima, o professor também pode utilizar programas BIM para ensinar modelagem e desenvolvimento de imagens virtuais. Nesses casos, os alunos explorariam as possibilidades das ferramentas BIM no que diz respeito a modelagem de modelos BIM e criação de perspectivas aéreas, cavaleira, isométrica, cônica, etc. sob a orientação do professor.

Com relação ao ensino de geometria, outra alternativa é o uso de realidade aumentada. Essa TIC pode ser explorada no material didático como foi feito por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016). Os autores testaram um experimento nomeado *AR Magic Book* na *University of Central Florida*, EUA. Nesse estudo, as imagens, tabelas e diagramas do livro funcionavam como um marcador, portanto, quando dispositivos portáteis habilitados a *web* capturavam esses marcadores, informações digitais (vídeos, sons, imagens (2D) e modelos geométricos (3D)) se sobrepunham no livro. Com isso, a RA pode ser usada para potencializar a aprendizagem com o material didático sobre qualquer conteúdo.

Amim (2007) relata um estudo feito por Kuo *et al.* (2004) sobre a aplicação de Realidade Aumentada no ensino de arquitetura sustentável na *National Cheng Kung University*, Taiwan. Nesse caso, a RA foi utilizada como um meio para exploração do jardim ecológico da universidade. Através de um *tablet*, os alunos visualizavam o sistema de reaproveitamento de água do jardim e informações 2D, 3D e textos ficavam sobrepostas ao cenário real, ajudando a compreender o mecanismo do campus sustentável. Além disso, era possível interagir em tempo real fazendo anotações e observações na camada virtual e os usuários podiam circular com o *tablet* em um eixo determinado para adquirir informações dos edifícios circundantes. Apesar do professor ter utilizado essa TIC para ensinar conforto ambiental, essa abordagem também pode ser explorada no ensino de geometria.

Gonçalves (2013) desenvolveu uma atividade com os programas Photoshop e Illustrator para analisar fotos a partir dos conceitos de perspectiva em uma turma de Produção Multimídia. Nessas imagens, os alunos identificavam o ponto de fuga, linha do horizonte, linha de terra e, em seguida, inseriam uma outra foto em perspectiva na imagem que estava sendo trabalhada. De forma semelhante, a RA pode ser utilizada para auxiliar no ensino de perspectiva através de um aplicativo que utiliza uma câmera para ler a geometria do ambiente e, então, identifica na imagem capturada a linha do horizonte e o(s) ponto(s) de fuga. Após uma aula teórica, o professor pode utilizar essa ferramenta para mostrar como funciona o processo de confecção de perspectiva que está presente nas cenas vistas todos os dias em qualquer lugar. E, desse modo, o docente consegue também desenvolver atividades em que os alunos façam desenhos ao ar livre de modo que a ferramenta ajude a desenvolver as perspectivas corretamente.

Da mesma forma que as outras TICs, a realidade virtual também pode ser explorada no ensino de geometria. Jacques *et al.* (2001) criaram um ambiente de aprendizagem hipermédia que mescla modelos virtuais, animação 2D e textos explicativos para auxiliar os alunos a superarem problemas de compreensão de Geometria Descritiva. Na página criada, os autores (p. 420) demonstram uma animação com a planificação do sistema épura e também desenvolveram um exercício em épura com animação 2D que simulava “uma situação usual em sala de aula, onde um professor resolve um exercício no quadro negro, descrevendo os seus passos até a solução”. Esse experimento pode ser realizado em um ambiente imersivo por meio da realidade virtual no qual o aluno se encontra virtualmente dentro de um modelo tridimensional do plano oblíquo. Nesse ambiente, o aluno pode escolher diferentes objetos para serem projetados nos planos, e ao selecionar um deles, inicia uma animação mostrando o passo a passo do processo de planificação do objeto até chegar no resultado final em

épura. Outro cenário imersivo seria a realização de exercícios em épura em que é dado uma questão e aparece uma janela com opções para o aluno resolver virtualmente o problema e, em seguida, tem uma opção para visualização da resposta final por meio de animação que mostra os passos para solução da questão.

Keller e Schreiber (1999) apresentam um software educacional denominado GEO-3D que opera como uma ferramenta de ensino de poliedros, conteúdo de geometria espacial, e desenvolvido para alunos de ensino fundamental. O GEO-3D possui um ambiente composto por cinco modalidades: tutorial, exercícios e prática, simulação, jogo educacional e híbrida. Partindo da proposta de jogo educacional descrita pelos autores, o ensino de geometria e perspectiva pode ser apropriado por meio de exercícios em um ambiente de RV em formato de jogo. Assim, pode ser criado um jogo composto por fases que são vencidas conforme ocorre a interação do aluno com o ambiente proposto e conforme as questões selecionadas forem respondidas corretamente em cada fase. Ao selecionar uma opção de resposta, o aluno é encaminhado para a próxima fase se ela estiver correta. Caso a resposta esteja errada, o estudante é direcionado para um outro ambiente de aprendizagem. Nesse ambiente será mostrado o resultado correto do exercício e a justificativa da resposta, em seguida, o estudante deve responder outra questão de mesmo nível e sobre o mesmo conteúdo para verificação do aprendizado. Caso ele acerte a resposta, passará para a próxima fase, caso erre, novamente aparecerá a resposta correta e um novo exercício do mesmo conteúdo. Quanto mais próximo do fim do jogo, maior o nível de dificuldade das perguntas. Ao final do jogo aparecerá o tempo total do percurso e seu desempenho. O estudante poderá fazer outras tentativas para melhorar seu desempenho e tempo de percurso e comparar com seus colegas de turma.

Outro uso de realidade virtual foi apresentado por Seabra e Santos (2005). Os autores exibem o projeto de uma ferramenta para ser utilizada em sala de aula no ensino de Geometria Descritiva e Desenho. Segundo os autores (p. 118), a ferramenta executa “construções geométricas tridimensionais, a qual permitirá a criação de situações espaciais com pontos, retas, planos e suas projeções, conforme os movimentos da mão do usuário (usualmente, o professor)” e acrescenta que “a interface para criação e manipulação dos elementos geométricos será gestual”. O usuário poderá criar pontos, retas, planos, sólidos primitivos, selecionar e excluir objetos, rotacionar o sistema de coordenadas e salvar e abrir cenários construídos. Além do ensino de geometria descritiva e de desenho, conforme sugestão dos autores, esse protótipo também pode ser usado como uma ferramenta para o ensino de perspectivas.

A prototipagem rápida é uma tecnologia que também pode ser utilizada para ensinar geometria. Uma possibilidade ainda não pouco explorada no ensino com uso

de PR refere-se ao uso de protótipos durante uma explicação teórica e em exercícios de geometria descritiva de modo que os alunos de posse dos modelos desenhem as vistas ortogonais no 1º e 3º diedros. Outra alternativa seria partir do desenho de vistas ortográficas para os alunos construírem um modelo geométrico e fazer a prototipagem do modelo. Nesse segundo caso, além de ensinar conceitos de geometria, o professor também desenvolve nos alunos a habilidade de modelagem, criação de imagens virtuais, modelos e maquetes.

De acordo com o universo pesquisado, o Quadro 3 apresenta uma consolidação das possibilidades pouco exploradas proporcionadas pelo BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de geometria. Esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos pelo professor (método de rastreamento), os conteúdos de geometria que foram ensinados e o autor usado como referência. Ao observar os quadros nota-se uma variedade de recursos tecnológicos, proporcionados pelas TICs, que podem ser utilizadas pelo professor.

## CONCLUSÕES

Através do estudo das revoluções industriais foi possível identificar as tecnologias de informação e comunicação que se destacam no cenário de transição da 3ª para a 4ª revolução industrial. A partir dessas tecnologias, explorou-se as possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, particularmente na área de construção e geometria.

A pesquisa revelou que BIM, RA, RV, PR e FD podem ser utilizados em sala de aula para tratar sobre construção e geometria. Assim, esse artigo teve o propósito de apresentar um panorama sobre a aplicabilidade de tais tecnologias no ensino, bem como possibilidades pouco exploradas no ensino de 'geometria'.

Verificou-se, portanto, um grande potencial de inserção do TICs no ensino de arquitetura e urbanismo por meio da utilização de recursos tecnológicos adequados, que visem atingir os objetivos da disciplina. Além disso, as propostas sugeridas não demandam alterações na grade curricular do curso. Desse modo, as possibilidades apresentadas nesta pesquisa podem ser aplicadas a qualquer curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, seja novo ou existente, já que a proposta se trata de incentivar os professores a incorporarem novas tecnologias na disciplina, sem a necessidade de alterar a composição curricular das instituições.

**Quadro 2 – Consolidação das possibilidades pouco exploradas de uso de TICs no ensino de geometria.**

TIC	Recurso tecnológico	Alternativas		Conteúdos de geometria	Autor(es) (ano)
BIM	Interação com o modelo e o projeto Habilidades de desenho; Modelagem; Imagens virtuais.			Habilidades de desenho; Perspectiva	Borges (2016)
				Habilidades de desenho; Modelagem; Imagens virtuais	Checucci (2014)
RA	Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Textos, imagens e/ou vídeos informativos	Todos conteúdos	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)
				Domínio da geometria; Perspectiva	Kuo <i>et al.</i> (2004 apud Amim, 2007)
		Sem marcador		Habilidades de desenho; Perspectiva	Gonçalves (2013)
RV	Interação com ambiente virtual			Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva	Jacques <i>et al.</i> (2001); Keller e Schreiber (1999); Seabra e Santos (2005)
PR/FD	Materialização das soluções/estudo da forma			Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Modelagem; Maquetes; Modelos; Imagens virtuais	-

Fonte: Leal e Salgado, 2018.

Uma das intenções de estimular o uso de TICs na sala de aula é incentivar a compreensão de conceitos teóricos pelos alunos por meio da tecnologia, mas também instigar os interessados a estudar e aprofundar os estudos sobre as ferramentas. Desta forma, entende-se que a adoção de práticas didáticas com o uso de tecnologia refere-se à uma das estratégias para divulgar a inovação entre os futuros arquitetos. Portanto, as TICs podem ser de grande valor no processo didático na sala de aula e também como forma de encorajar os alunos a usá-las.



Por fim, os resultados indicam que o ensino de arquitetura pode se beneficiar do grande potencial oferecido pelas TICs. Espera-se que esse trabalho possa incentivar as instituições de ensino, as coordenações e os professores a incluírem tecnologia no meio acadêmico, uma vez que a responsabilidade de inserir TICs é compartilhada por esses agentes. Acredita-se que esse estudo proporciona uma contribuição teórica para a melhoria do ensino de arquitetura e urbanismo por propor a integração das tecnologias às disciplinas do curso sem necessidade de alteração da composição curricular.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- AMIM, R. R. *Realidade aumentada aplicada à arquitetura e urbanismo*. 2007. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- ANDRADE, L. S.; GOULART, S. A. S.; DE LA CRUZ, P. C. H. O uso da realidade aumentada como ferramenta de ensino em expressão gráfica. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN*, 12. 2017. *Proceedings...* Araçatuba(SP) UNIP, 2017.
- ANDRADE, M. Prototipagem rápida. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 164-165.
- ASSIS, J. H. G.; BROCHARDT, M. M. S.; ANDRADE, M. L. V. de. Aplicações de realidade aumentada no canteiro de obras: proposta de utilização na visualização de projetos de instalações para a execução. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL*, 20., 2016, Buenos Aires. *Proceedings...* Buenos Aires: 2016. p. 662-667.
- BASTO, P. E. A.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. O ensino de BIM em curso de graduação em engenharia civil em uma universidade dos EUA: estudo de caso. *In: Ambiente Construído*, Porto Alegre, V. 16, n. 4, p. 45-61, out./dez. 2016.
- BEHZADAN, A. H; VASSIGH, S.; MOSTAFAVI, A. Teaching millennials with augmented reality: cases from the U.S. education system. *PARC Research in Architecture and Building Construction*, Campinas, SP, V. 7, n°. 4, p. 265-272, dec. 2016. ISSN 1980-6809.
- BORGES, L. F. *et al.* A representação de gradis metálicos como atividade didática uma conexão entre patrimônio, geometria e tecnologias de fabricação digital. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN*, 11, 2015, *Proceedings...* Porto: APROGED, 2015. V. 2. p. 319-328.
- BORGES, M. M. O uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica e raciocínio espacial no processo de projeto. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, V. 11, n°. 1, p. 21-37, jan./jun. 2016.
- BRAGA, R. F. *et al.* Estudo comparativo de toolkits de Realidade Virtual e Aumentada visando aplicação educacional. *In: WORKSHOP DE DESAFIOS DA COMPUTAÇÃO APLICADA À EDUCAÇÃO*, Desafie, 2012. *Anais...* 2012. p. 138-147.
- BRAIDA, F.; COLCHETE FILHO, A.; MAYA-MONTEIRO, P. Inovações tecnológicas na Arquitetura e no Urbanismo: desafios para a prática projetual. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS REGIÕES*, 12, 2006. *Anais...*

- BRAZ, Zoleni L. *Novas mídias no ensino de arquitetura e urbanismo: relação entre tecnologias, espaço e pedagogias*. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2016.
- BUILDINGSMART. *All applications by category*. 2016b. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/implementations>>. Acesso em: 25.jan.2018.
- CARVALHO, A. M. de. O impacto da tecnologia no mercado de trabalho e as mudanças no ambiente de produção. *In: Revista Evidência, Araxá, nº. 6, p. 153-172, 2010.*
- CARVALHO, B. S. *et al.* Planejamento para construções modulares por meio de BIM e prototipagem rápida – PMCON. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 2017, João Pessoa. Anais...* Porto Alegre: ANTAC.2017. p. 1-14.
- CARVALHO, R. S.; SAVIGNON, A. P. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. *Gestão e Tecnologia de Projetos. São Carlos, V. 6, nº. 2, p. 4-13, jan. 2012.*
- CHECCUCCI, E. de S. *Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em engenharia civil e o papel da expressão gráfica neste contexto*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Educação, Salvador, 2014.
- CHECCUCCI, E. S.; AMORIM, A L.; PEREIRA, A P C. Modelagem da Informação da Construção (BIM) no ensino de arquitetura. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 17, 2013, Valparaíso. Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013.
- COHEN, J. *O futuro da arquitetura desde 1898: uma história mundial*. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 528 p.
- CUNHA, M. A. B. *Preservação do patrimônio arquitetônico: reconstrução digital do CPA Balbina – Arq. Severiano Mario Porto*. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- CUPERSCHMID, A. R. M. Realidade aumentada. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 168-169.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; GRACHET, M. G.; FABRÍCIO, M. M. Development of an Augmented Reality environment for the assembly of precast wood-frame wall from the BIM model. *In: Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 16, nº. 4, p. 63-78, out./dez. 2016.*
- CUPERSCHMID, A. R. M.; RUSCHEL, R. C.; MARTINS, F. A. Uso da realidade aumentada para visualização do modelo da edificação. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO, 5, 2011, Salvador. Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2011.
- DELATORRE, V. *Potencialidades e limites do BIM no ensino de Arquitetura: uma proposta de implementação*. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2014.
- 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.
- FERRACANE, M. F. Manufacturing the future: Industry 4.0. *In: ECIPE - European Centre for International Political Economy, jun. 2015*. Disponível em: <<http://ecipe.org/blog/manufacturing-the-future/>>. Acesso em: 19.abr.2017.
- FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. Anais...* Porto Alegre: 2007.
- FREIRE, M. R.; TAHARA, A.; AMORIM, A. L. Investigação sobre ferramentas computacionais de avaliação do desempenho térmico apropriadas ao contexto BIM para aplicação em projetos de HIS. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. Anais...* Juiz de Fora: 2012. p. 3413-3418.

GARBINI, M. A. L. *Proposta de modelo para implementação e processo de projeto utilizando a tecnologia BIM*. 2013. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso. 2013.

GONÇALVES, M. M. Ensinar perspectiva utilizando os meios digitais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 21, INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS FOR ARTS AND DESIGN, 5, 2013, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: CCE (Universidade Federal de Santa Catarina), 2013.

GRILLO, L. *et al.* *Possibilidades de aplicação e limitações da realidade virtual na arquitetura e na construção civil*. Universidade Federal de São Paulo, 2001. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228522928\\_Possibilidades\\_de\\_aplicacao\\_e\\_limitacoes\\_da\\_realidade\\_virtual\\_na\\_arquitetura\\_e\\_na\\_Construcao\\_Civil](https://www.researchgate.net/publication/228522928_Possibilidades_de_aplicacao_e_limitacoes_da_realidade_virtual_na_arquitetura_e_na_Construcao_Civil)>. Acesso em: 5.mai.2017.

JACQUES, J. J. *et al.* Nova abordagem para o ensino de geometria descritiva básica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, COBENGE, 29, 2001, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: s.e., 2001. p. 417-422.

KELLER, R.; SCHREIBER, J. GEO-3D: a realidade virtual como suporte ao ensino de geometria espacial. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE REALIDADE VIRTUAL, 2, 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Fundação Eurípedes de Marília, 1999. p. 182-193.

KUBICKI, S. *et al.* 4D Modeling and Simulation for the Teaching of Structural Principles and Construction Techniques. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 30, 2012, Praga. *Proceedings...* República Checa: Czech Technical University in Prague, 2012.

KUO, C. *et al.* Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration. In: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, 9., 2004, Seoul. *Proceedings...* Korea: Institute of Millennium Environmental Design and Research, Yonsei University and The Korean Housing Association, 2004.

LEAL, B. M. F. *Propostas para o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo através de ferramentas digitais*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LEAL, B. M. F.; SALGADO, M. S.; SILVOSO, M. M. Impact of fourth industrial revolution in architecture undergraduate course. In: ZERO ENERGY MASS CUSTOM HOME, ZEMCH, 2018, Melbourne. *Proceedings...* Melbourne: ZEMCH Network, 2018. p. 403-415.

LIMA, A. J. R.; HAGUENAUER, C. J.; CUNHA, G. G. A realidade aumentada no ensino da geometria descritiva. In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 7, SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 18. 2007. *Proceedings...* Curitiba: 2007.

MARKUSIEWICZ, J.; SLYK, J. From shaping to information modeling in architectural education: implementation of augmented reality technology in computer-aided modeling. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, 33, 2015, Viena. *Proceedings...* Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. p. 83-90.

MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. *Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010*. Instituídas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, alterando dispositivos da Resolução CNE/CES nº 6/2006. Ministério da Educação, 2010. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category\\_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em: 31.mai.2016.

MEIGUINS, B. S.; ALMEIDA, I. S.; OIKAWA, M. A. Cartões Marcadores Reconfiguráveis em Ambientes de Realidade Aumentada. In: Symposium on Virtual Reality, 8, 2008, Pará. *Proceedings...* Pará: 2008.

MOKHTAR, A. BIM as learning media for building construction. In: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, 12, 2007, Nanquim. *Proceedings...* China: Southeast University and Nanjing University, 2007. Disponível em: <[http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2007\\_119.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2007_119.content.pdf)>. Acesso em: 27.dez.2017.

NEIVA NETO, R. S.; RUSCHEL, R. C. BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado. In: *Ambiente Construído*, Porto Alegre, V. 15, nº. 4, p. 183-201, out./dez. 2015.

NETTO, A. V.; MACHADO, L. S.; OLIVEIRA, M. C. F. Realidade Virtual: definições, dispositivos e aplicações. In: *Revista Eletrônica de Iniciação Científica*, REIC, V. 2, nº. 1, mar. 2002.

PARAIZO, R. C. Realidade Virtual. In: BRAIDA, F. et al. *101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 170-171.

PONTES, M. M. Sistemas BIM no ensino de arquitetura: uma investigação do processo de ensino de geometria descritiva e desenho arquitetônico através de elementos construtivos virtuais. In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 17., 2013, Valparaíso. *Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013. p. 569-571.

PUPO, R. Fabricação digital. In: BRAIDA, F. et al. *101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 98-99.

QUINTELLA, I. P. C. P.; FERREIRA, I. C.; FLORÊNCIO, E. Q. Making pavilions: Os pavilhões temporários no contexto das faculdades de arquitetura e urbanismo. In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. *Proceedings...* Buenos Aires: 2016. p. 318-325.

RIGHI, T. A. F. *Displays interativos como ferramentas de comunicação no processo de projeto de arquitetura*. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2009.

RIGHI, T. A. F.; CELANI, G. Displays interativos como ferramenta de comunicação no processo de projeto de arquitetura. In: GRAPHICA. Curitiba. *Anais...* 2007.

SAVIGNON, A.; SALGADO, M. S.; LASSANCE, G.. Repensando o uso de protótipos na construção de edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14. Juiz de Fora. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2012. p. 4139-4145.

SEABRA, R. D.; SANTOS, E. T. Utilização de técnicas de realidade virtual no projeto de uma ferramenta 3D para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. *Revista Educação Gráfica*, Bauru, nº. 9, p.111-122, 2005.

STANGE, F. P. *Protótipo de ambiente virtual educacional para atividade típica da construção civil brasileira*. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2012.

VAZ, A.; ANDRADE, A. F.; SILVA, R. Modelando coberturas no Sketchup: uma experiência didática. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 20, GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 9, 2011, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Belas Artes, 2011.

---

# **BIM na verificação de requisitos em projetos de arquitetura**

Eduardo Ribeiro dos Santos

---

**A** gestão do processo de projeto tem se alterado significativamente ao longo dos últimos 30 anos, com o crescente aumento no número de disciplinas envolvidas na produção do projeto completo da edificação. Estas mudanças são possíveis graças às possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais, que viabilizam a rápida identificação de diferentes soluções projetuais, desde a fase de concepção. Nesse sentido, destaca-se a modelagem da informação da construção, conhecida como BIM, cujo processo de digitalização da construção considera a modelagem paramétrica das informações da construção, fomentando a realização de projetos colaborativos e integrados e permitindo a construção digital do edifício antes do início das atividades no canteiro de obras.

No desenvolvimento do projeto arquitetônico, uma das tarefas que mais absorve tempo e dedicação por parte dos profissionais envolvidos, é a verificação quanto ao atendimento aos requisitos de desempenho (comportamento em uso). Nesse sentido, a verificação de sistemas de classificação ambiental é uma das possibilidades oferecidas pelo BIM, no entanto, essas possibilidades são pouco exploradas pelos escritórios de arquitetura.

Desta forma, este capítulo discute os impactos da adoção do BIM na verificação dos requisitos da construção sustentável no desenvolvimento de projetos.

Entende-se que nem todos os parâmetros de projeto são passíveis de uma análise automática, realizada por algoritmos. Mas se ao menos for possível explorar de forma inteligente as potencialidades oferecidas pelas novas tecnologias, o profissional

de arquitetura terá mais tempo para se dedicar à busca por respostas inovadoras aos desafios não parametrizados.

## **BREVE HISTÓRICO DO USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NA ARQUITETURA E ENGENHARIA**

O mundo vem se transformando principalmente pela aplicação de tecnologias nas etapas produtivas das atividades industriais. Segundo FREITAS (c2021) “as atividades que mais se destacam no mercado estão vinculadas à produção de computadores, *softwares*, microeletrônica, *chips*, transistores, circuitos eletrônicos, além da robótica com grande aceitação nas indústrias, telecomunicações, informática em geral. Destacam-se ainda a expansão de transmissores de rádio e televisão, telefonia fixa, móvel e internet, indústria aeroespacial, biotecnologia e muitas outras inovações”.

Em 1946, foi criado o primeiro computador digital eletrônico de grande escala, chamado de ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*), desenvolvido pelos cientistas norte-americanos John Eckert e John Mauchly, da *Electronic Control Company*, para computar trajetórias táticas que exigissem conhecimento indispensável em matemática (MORENO, 2011)

Os computadores pessoais só ganharam mercado na década de 1970, quando, em 1974, foi lançado o Altair 8800, considerado o primeiro computador pessoal da história, e, em 1976, o Apple 1, desenvolvido por Steve Jobs e Steve Wozniak (MORIMOTO, 2011). Nesta mesma década, em 1975, é publicado pelo jornal do AIA, a concepção de um sistema de descrição do edifício, *Building Description System*, que consiste em um sistema para a descrição do grande número de elementos e suas combinações, podendo se aproximar da representação ideal da construção (EASTMAN, 1975).

Segundo De Menezes (2011), outros trabalhos semelhantes aconteceram no final da década de 70 e início de 80, tanto na Europa - descritos como Product Information Models, especialmente na Finlândia - quanto nos Estados Unidos - descritos como *Building Product Models*. Em 1986, Robert Aish publica o artigo *Building modeling: the key to integrated construction CAD*, relacionando todos os fundamentos e conceitos do BIM como: a modelagem tridimensional, a geração automática de desenhos, os componentes paramétricos, os bancos de dados relacionais e a descrição temporal das fases do processo construtivo. Essa é considerada a primeira publicação com o significado de Building Information Modeling, assim como é utilizado atualmente.

## **DO CAD AO BIM**

O processo de transição do CAD para o BIM ocasiona uma quebra de paradigma (ADDOR *et al.* 2010) nas empresas da construção civil devido a transformação na maneira



de trabalhar ao incorporar as novas tecnologias digitais. Entretanto, é necessário o envolvimento de todos os profissionais (arquitetos, engenheiros, construtores etc) nesta mudança com o objetivo de integrar todas as informações que hoje estão dispersas em vários documentos (desenhos, memoriais e planilhas) e alocados em bases de dados diferentes, sendo exigido uma maneira diferente de pensar o processo de projeto, resultando em uma maior precisão, redução dos prazos de entrega e redução dos problemas ao longo da obra.

Os modelos BIM são dotados de uma semântica inteligente, onde os elementos são determinados em condições de sistemas de construção como: espaços, paredes, vigas e pilares. Por serem paramétricos, quando um elemento é modificado, por exemplo uma porta, outro elemento, a parede onde está porta está inserida, é ajustado automaticamente por existir uma relação estabelecida entre estes elementos, neste caso chamado de hóspede (porta) e hospedeiro (parede). No CAD convencional, ao ocorrer uma modificação em uma dessas vistas, todas as demais existentes deverão ser verificadas e atualizadas manualmente, pois os dados nos desenhos são apenas peças gráficas, criadas com linhas, arcos, círculos e textos, e onde as vistas do projeto como plantas, cortes e elevações são independentes, tornando esse processo propenso a erros, sendo uma das principais causas da má documentação dos projetos.

Considerando a crescente complexidade dos projetos, com um elevado número de disciplinas concorrendo para a produção do projeto completo da edificação, torna-se essencial o incentivo ao trabalho colaborativo e integrado. Neste sentido, o processo BIM pode facilitar esse novo modo de trabalhar, na medida que a interoperabilidade dos softwares que operam na plataforma pode estimular a troca entre os parceiros durante a fase de desenvolvimento e compatibilização de projetos. Dependendo da gestão do processo de projeto (síncrono ou assíncrono) não haverá sequer a necessidade de “compatibilização” das soluções, uma vez que o projeto será desenvolvido de forma integrada.

Uma das grandes diferenças entre o processo tradicional de projetos e o BIM está no sistema de entrega de projetos, pois segundo AZHAR *et al.*, (2012), a entrega no processo tradicional de projetos, tem um papel muito limitado comparado aos processos baseados em BIM, que passam a utilizar uma entrega de projetos de forma integrada, conhecida também como IPD (*Integrated Project Delivery*). o IPD traz a gerência principal da construção, a fabricação, o fornecedor e a experiência do fabricante de produtos, os profissionais do projeto e o proprietário mais cedo ao processo, produzindo um projeto otimizado com qualidade, estética, construtibilidade, acessibilidade e com um fluxo sem emendas no ciclo de vida.

Fica evidente, portanto, que a adoção do processo BIM deve ser planejada de forma a viabilizar a transição com benefícios para as empresas. Não será possível pensar apenas

nos softwares que operam na plataforma desconhecendo os processos que estão por trás da adoção destas ferramentas, e sem os quais o esforço será em vão. Dessa forma, torna-se necessário reconhecer que o processo se dá por etapas.

O GCCG, (2011) considera a existência de quatro níveis de maturidade na adoção do processo BIM. O primeiro nível (conhecido como N0) considera o uso de arquivos CAD 2D para a documentação onde a documentação não possui informações associadas aos objetos.

No segundo nível, N1, são utilizados modelos constituídos de objetos com associação semântica para visualização 3D, geração de representação gráfica em 2D automatizada e uma colaboração de arquivos, mas sem uma integração dos dados projetuais.

Já no N2, as disciplinas são gerenciadas separadamente e é utilizado o ambiente 3D para análise cruzada e colaboração, onde essas são feitas através de conexões proprietárias ou por extensões abertas, necessitando o gerenciamento das informações entre as diferentes disciplinas. São adicionados ao processo a utilização dos recursos 4D (tempo) e 5D (custos) além de análises projetuais através de funcionalidades de parametrização.

No último nível, o N3, a integração de processos e dados é completamente aberta, habilitada por “serviços web” compatíveis com os padrões IFC, gerenciados por um servidor de modelo colaborativo empregando processos de engenharia simultâneos

Observa-se, portanto, que o processo BIM pode trazer benefícios para as empresas de arquitetura, desde que estas elaborem um plano de implementação que permita a transição do *modus operandi* adotado, viabilizando a adoção do modelo colaborativo, onde as decisões de projeto ocorrem de forma integrada.

## **BIM NA VERIFICAÇÃO DE PARÂMETROS: IMPACTOS NA GESTÃO PÚBLICA**

A etapa de aprovação é parte importante no processo de desenvolvimento dos projetos das edificações e cidades. De acordo com IAB (2011), o Projeto Legal representa 20% do trabalho, ficando no mesmo patamar do Anteprojeto e Projeto Básico quando executado. O processo de projeto fragmentado, impacta, entre outros aspectos, o processo de formação da equipe. Consequentemente, ocorre perda de informação devido à mudança de profissionais e à dificuldade de se garantir a rastreabilidade no processo de projeto.

De acordo com a Booz & Company (2014), em um estudo feito para a CBIC com objetivo de identificar e analisar os principais gargalos burocráticos que afetam o andamento dos empreendimentos imobiliários no Brasil, constatou-se dentre outros, o atraso na aprovação dos projetos pelas prefeituras, devido principalmente à falta de corpo técnico nos municípios, em relação à quantidade de pessoas e sua capacitação.

Dessa forma, entende-se que a adoção de uma estratégia de trabalho que permita a verificação automática do atendimento aos requisitos estabelecidos não apenas traria agilidade ao processo como também, aumentaria a confiança nos resultados obtidos.

Segundo CAMPOS (2016), entre as dificuldades para a implantação do BIM, está a padronização das informações, já que as legislações são conflitantes em alguns pontos, havendo a necessidade de adaptação das mesmas. Em contrapartida, as vantagens da adoção estão no aumento da transparência das análises e na agilização do processo de aprovação.

Assim como mencionado anteriormente, essa medida visa também a possibilidade de validação qualitativa dos elementos construídos, tornando assim o processo de análise mais detalhado e preciso. (Figura 1)

A possibilidade de analisar o atendimento aos requisitos regulamentares de forma automática pode interessar aos escritórios de projeto na medida em que possibilita a aceleração no processo de projeto.

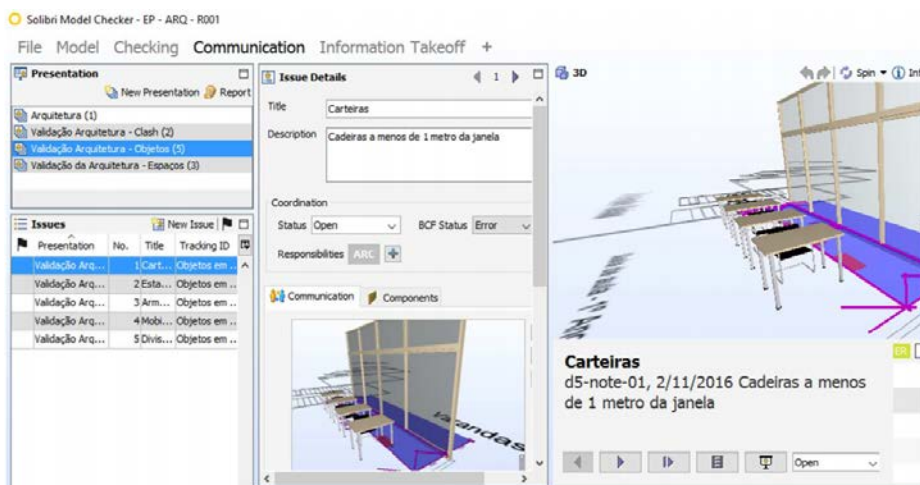


Figura 1– Validação Qualitativa do Modelo BIM.  
Fonte: Santos e Salgado, 2017.

## MODELAGEM DA INFORMAÇÃO

As possibilidades oferecidas pelo processo BIM na verificação de requisitos podem se estender desde a análise do atendimento aos requisitos regulamentares (regulamentos e normas da prefeitura, por exemplo) até o cumprimento de requisitos específicos (eficiência energética) ou até normas de desempenho (destaque para a NBR 15575).

Com esse objetivo, apresentar-se-á a análise de um estudo de caso: um edifício residencial multifamiliar com até 5 andares, considerando os requisitos de aprovação definidos pelo PLC 31/2013 (SANTOS, 2015), na verificação dos requisitos de desempenho

– Procel Edifica (SANTOS & SALGADO, 2019) e NBR 15575 (esta última conhecida também como Norma de Desempenho) (SANTOS e SILVOSO, 2017).

Para a realização das verificações através de regras, foi definido que o nível de desenvolvimento (LOD) mínimo necessário dos componentes do modelo a ser analisado é classificado como LOD300 onde a modelagem geométrica e de dados deverá ser representada graficamente com objetos e elementos específicos em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação, como mostrado na Figura 2.

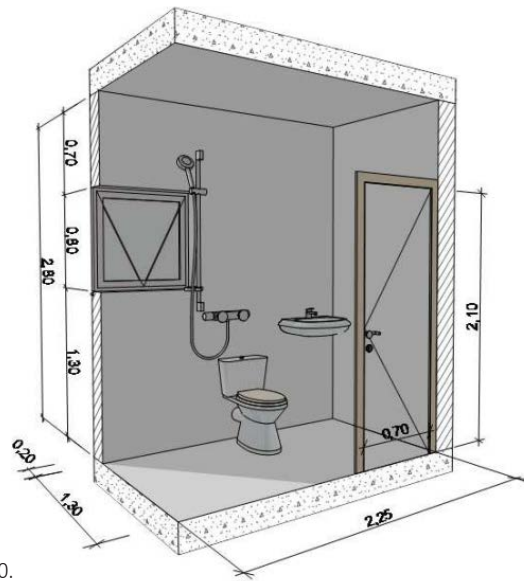


Figura 2 – Parte do modelo construído em LOD300.  
Fonte: Santos, 2018.

Para permitir a verificação dos parâmetros, o modelo BIM deve incluir a definição de ambientes habitacionais, como sala de estar, sala de jantar, quarto, etc. Assim, os volumes que identificam os ambientes do projeto, bem como a definição das áreas utilizáveis (Figura 3) e as áreas comuns (Figura 4), e a área total construída do piso (Figura 5), também devem ser modeladas e representadas graficamente em termos de tamanho, localização, forma e função, com o nível mínimo de desenvolvimento classificado como LOD300.

As áreas não edificáveis, que têm requisitos a serem analisados, tais como: áreas de afastamentos e prismas de ventilação e iluminação, também tiveram que ser modeladas como espaços e representadas graficamente em termos de tamanho, forma e função com o nível mínimo de desenvolvimento classificado como LOD300, como mostrado na Figura 6.

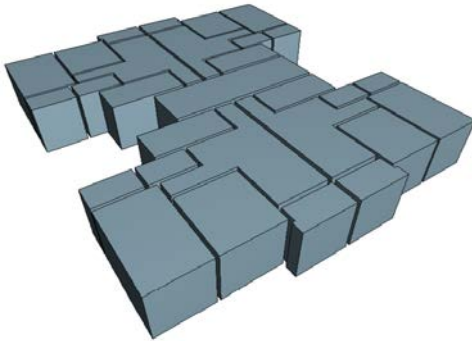


Figura 3 – Espaços das áreas utilizáveis dos ambientes.  
Fonte: SANTOS, 2018.

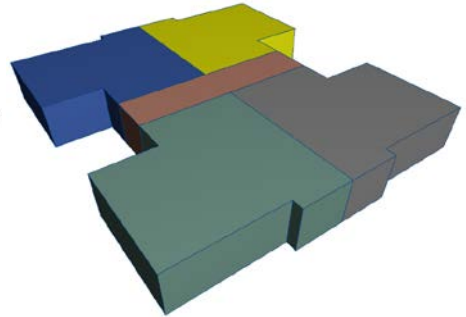


Figura 4 – Áreas privadas e comuns.  
Fonte: SANTOS, 2018.

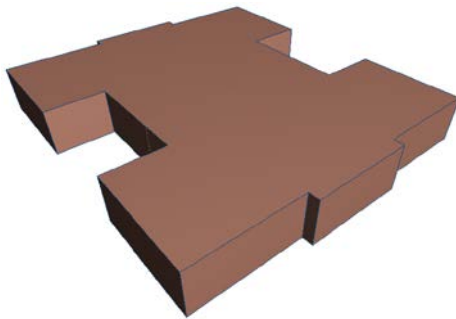


Figura 5 – Espaços de área total construída do piso.  
Fonte: SANTOS, 2018.

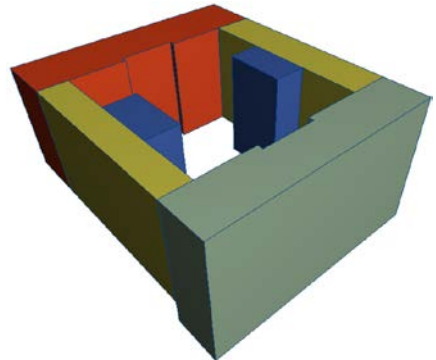
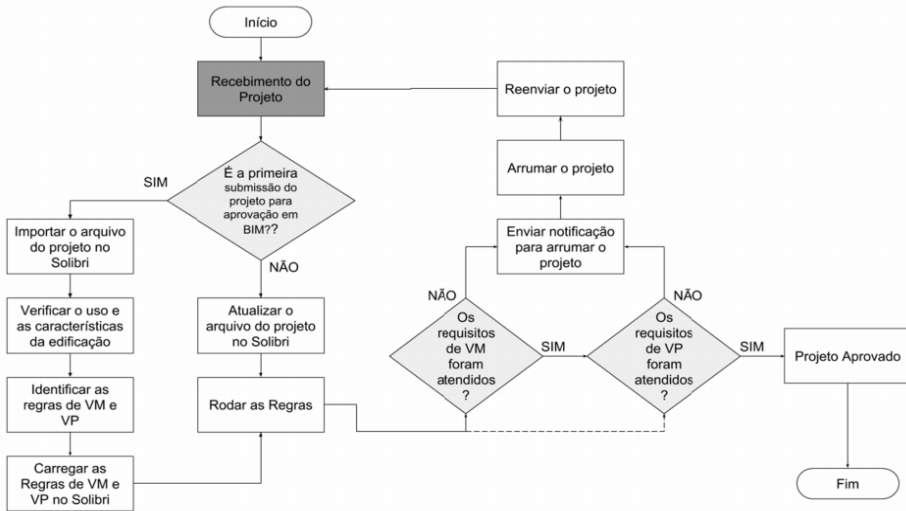


Figura 6 – Áreas de afastamentos.  
Fonte: SANTOS, 2018.

Para este trabalho, utilizou-se o ARCHICAD, versão 20, para a construção do modelo e para a verificação do projeto, o Solibri, versão 9,7, sendo escolhido porque realiza verificações em modelos BIM através de regras e tem a funcionalidade de gerenciar interferência, analisando automaticamente as informações e agrupando-as em níveis de importância (NETO, 2016).

Após a parametrização das regras, sua aplicação na verificação dos requisitos ocorre muito rapidamente, e no final são produzidos relatórios onde os requisitos não atendidos são identificados no próprio modelo BIM (SILVA, 2016). Mas as regras para a verificação automatizada devem ser aplicadas considerando uma metodologia de trabalho. Para este trabalho, três etapas foram consideradas no processo de verificação de regras automatizadas: receber o projeto (RP), validar o modelo (VM) e verificação de parâmetros de projeto (VP). Como o fluxograma 1 ilustra.

Fluxograma 1 – Fluxo de verificação do projeto usando BIM



Fonte: SANTOS, 2018.

O primeiro passo, “Receber o Projeto”, tem a finalidade de verificar se é a primeira análise do projeto para aprovação. Esta informação é importante pois, caso seja a primeira submissão, o modelo BIM deverá ser importado. Nesta etapa é necessário também identificar o tipo de edifício (residencial, comercial, etc), suas características, bem como os parâmetros dos requisitos para verificação. Estes parâmetros deverão ser carregados para a execução das etapas posteriores. Se não for a primeira análise do projeto, o modelo deverá apenas ser atualizado, pois assim tanto as regras de verificação já estarão carregadas, assim como os apontamentos dos registros das análises anteriores.

A etapa “Validar Modelo” (VM) destina-se a verificar e garantir que as informações incorporadas ao modelo são suficientes para a verificação adequada dos parâmetros durante o processo de aprovação. A etapa de Verificação do Projeto (VP) investigará se as informações existentes no modelo estão em conformidade com os valores dos requisitos estabelecidos definidos pela legislação em análise. É importante notar que, mesmo com os registros de etapa VP apontados pelo software, eles só podem ser analisados depois de cumprir as regras na etapa de VM.

Para a criação das regras utilizadas na etapa de VM, primeiro os requisitos foram configurados, bem como os parâmetros de verificação, e as informações necessárias para ser usado na etapa VP. Por outro lado, as regras utilizadas para a verificação do projeto foram estabelecidas de acordo com os parâmetros definidos pelos requisitos a

serem analisados. Tabela 1 apresenta os critérios estipulados para a criação das regras que lida com o dimensionamento das unidades residenciais e seus compartimentos

Tabela 1 – **Determinando as regras para validação de modelo e verificação de projeto**

Exigência	Parâmetros		Validação do Modelo	Verificação do Projeto		
Dimensionamento de unidades residenciais e seus compartimentos	Tamanho mínimo de ambientes	Sala	2,50 m	Se o modelo tiver espaços incorporados  Se os espaços construídos tiverem nomes  E se eles são identificados de acordo com o tipo de área (utilizável residencial)	Se os espaços construídos classificados de acordo com a nomenclatura e o tipo de área tiverem as dimensões mínimas de acordo com os parâmetros apropriados	
		Quarto	2,50 m			
		Cozinha	1,50m			
		Banheiro	0,80 m			
	Área mínima de ambientes	Sala	12,00 m <sup>2</sup>			Se os espaços construídos classificados de acordo com a nomenclatura e o tipo de área tiverem as áreas mínimas de acordo com os parâmetros apropriados
		Quarto	6,00 m <sup>2</sup>			
		Cozinha	4,00 m <sup>2</sup>			
		Banheiro	1,50 m <sup>2</sup>			
		Sala + Cozinha	16,00 m <sup>2</sup>			

Fonte: SANTOS, 2018.

Entre as regras criadas, a limitação na verificação do projeto ocorreu quando os requisitos estabelecidos no PLC n.º 31/2013 tinham parâmetros variáveis, como o da arte. 15, onde o afastamento lateral e traseiro dos edifícios, quando usado para ventilar ou iluminar compartimentos, deve ser equivalente a pelo menos 1/5 da altura do edifício, e não pode ser menos de 2,50 metros. Essa limitação ocorre porque o



software não tem recursos para regular automaticamente de acordo com uma situação específica apresentada no projeto. Portanto, a intervenção humana é necessária para regular manualmente os parâmetros para que a verificação ocorra de forma assertiva.

O primeiro estudo de caso revelou inconsistências relacionadas ao número de vagas de estacionamento, realização de área mínima de alguns compartimentos de residência e área de recreação, conforme mostrado na Figura 7.

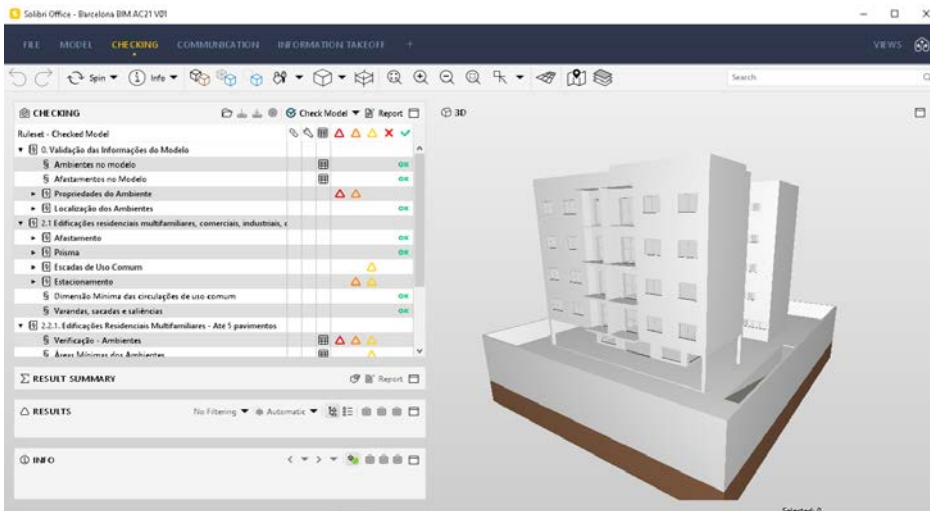


Figura 7 – Regras de validação e verificação no Solibri.  
Fonte: SANTOS e SALGADO, 2018.

Embora a verificação de requisitos através do processo BIM traga muitos benefícios em termos de confiabilidade e exatidão, é necessário que a capacidade dos profissionais e a maturidade BIM estejam em um nível classificado como N2, conforme apresentado no Quadro 1, onde são exigidos que o projeto seja desenvolvido de forma colaborativa multidisciplinar baseado em modelos onde são utilizados ambientes 3D para análise cruzada através de funcionalidades de parametrização, necessitando de gerenciamento das informações entre as diversas disciplinas.

É imprescindível também que os profissionais trabalhem no aperfeiçoamento da maturidade na plataforma, que está associada diretamente à automação e à integração de processos e dados. Outra condição para a implementação da verificação de projeto pela plataforma BIM é o pleno conhecimento de todos os requisitos necessários estipulados pelas legislações e normas edilícias para a criação das regras e confecção dos modelos BIM (SANTOS, 2018).

Quadro 1 – Níveis de Capacidade e Maturidade em BIM

	CAPACIDADE	MATURIDADE	CONSIDERAÇÕES
<b>PRÉ-BIM (N0)</b>	Uso das ferramentas CAD	Documentação não possui informações associadas aos objetos	
<b>N1</b>	Modelagem baseada em objetos desenvolvidos por ferramentas como ARCHICAD, Revit e Vectorworks	Visualização 3D Representação gráfica 2D automatizada Colaboração de arquivos	Sem integração dos dados projetuais
<b>N2</b>	Projeto de colaboração multidisciplinar baseado em modelos	Ambiente 3D para análise cruzada e colaboração. Utilização dos recursos 4D (tempo) e 5D (custos). Análises projetuais através de funcionalidades de parametrização	Necessidade de gerenciamento das informações entre as diferentes disciplinas
<b>N3</b>	Integração baseada em rede.	Integração de processos e dados é completamente aberta, habilitada por “serviços web” compatíveis com os padrões IFC.	
<b>PÓS - BIM</b>	Constante evolução para empregar ferramentas e conceitos virtualmente integrados ao projeto, à construção e à operação		

Fonte: SANTOS, 2018.

## VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO – PROCEL EDIFICA E NBR 15575

Desde 2003 foi estabelecida no Brasil a certificação de prédios com alta eficiência energética – PROCEL EDIFICA: Programa de Etiquetagem Energética de Edificações, que tem como proposta principal o incentivo à adoção de medidas visando a eficiência energética das edificações.

A avaliação da conformidade da metodologia PROCEL é descrita no “Regulamento para o selo Procel de poupança de energia para edifícios”, bem como nos “Critérios técnicos específicos”, e baseiam-se em dois documentos:

1. Regulação técnica da qualidade para o nível de eficiência energética em edifícios comerciais, serviços e edifícios públicos (RTQ-C)

## 2.Regulação técnica da qualidade para o nível de eficiência energética em edifícios residenciais (RTQ-R).

Em edifícios comerciais, de serviços e públicos, são avaliados três sistemas: acondicionamento, iluminação e ar-condicionado. Nas unidades habitacionais são avaliadas: o envelope e o sistema de aquecimento de água.

Da mesma forma que se advoga a favor da adoção do BIM na verificação dos requisitos regulamentares, entende-se que a plataforma pode oferecer estratégias interessantes na verificação do atendimento aos parâmetros definidos pelo selo PROCEL. Para exemplificar, consideraram-se os parâmetros estabelecidos em RTQ-R (para edifícios residenciais) a avaliação da ventilação natural e ventilação cruzada da unidade habitacional.

Para este estudo de caso, utilizou-se o software ARCHICAD na versão 22, pois permite a criação de propriedades com expressões matemáticas que podem ser utilizadas durante a verificação dos requisitos de sustentabilidade, ilustrada na Figura 8.

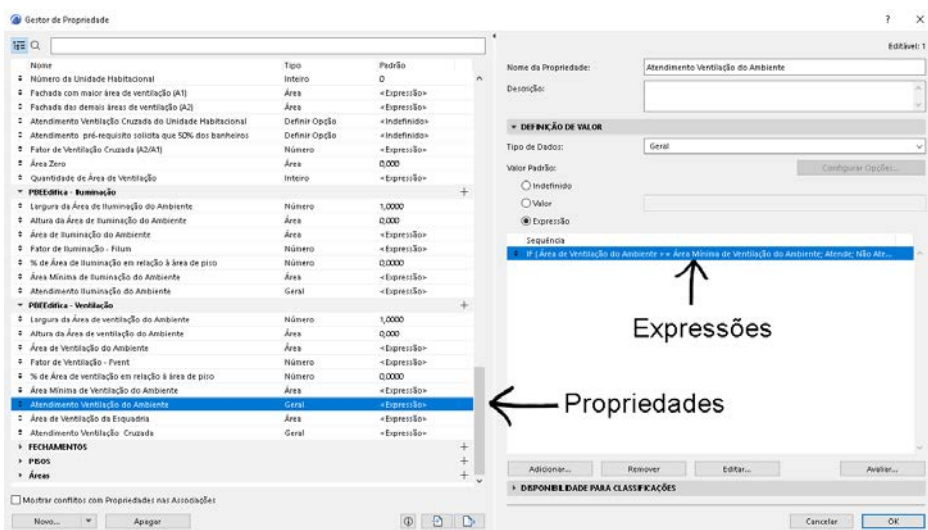


Figura 8 – Propriedades com expressão matemática.

Fonte: SANTOS e SALGADO, 2018.

Como descrito anteriormente, a etapa de verificação aconteceu em dois momentos: Primeiro, a validação das informações existentes no projeto, onde os resultados são apresentados em forma de mapas ou tabelas como mostra a Figura 9, onde são validadas as informações de orientação das janelas. A segunda, de verificação dos requisitos, onde os resultados obtidos também são apresentados em formas de mapas ou tabelas, como ilustra as Figuras 10 e 11.

Em relação aos campos apresentados na Figura 10, no primeiro campo a informação é extraída diretamente do modelo, já as demais são realizadas por expressões matemáticas. Na Figura 11, as informações nos campos: Número da Unidade Habitacional, Ambiente, Área Medida e Área de Superfícies das Janelas, são extraídas automaticamente, já as demais por expressões matemáticas que executam cálculos de acordo com as informações extraídas dos outros campos.

Orientação das Janelas		
Número da Unidade Habitacional	ID do Elemento	Orientação dos Elementos
101		
	J01	Oeste
	J03	Leste
	J03	Norte
102		
	J01	Oeste
	J03	Leste
	J03	Sul
103		
	J01	Leste
	J03	Norte
	J03	Oeste
104		
	J01	Leste
	J03	Oeste
	J03	Sul

Figura 9 – Mapa de Validação.  
Fonte: SANTOS e SALGADO, 2019.

Atendimento Ventilação Cruzada do Unidade Habitacional			
Número da Unidade Habitacional	Fachada com maior área de ventilação	Fachada com as demais áreas de ventilação	Atendimento Ventilação Cruzada da Unidade Habitacional
101	4,28	1,65	Atende
102	4,28	1,65	Atende
103	4,28	1,65	Atende
104	4,28	1,65	Atende
201	4,28	1,65	Atende
202	4,28	1,65	Atende
203	4,28	1,65	Atende
204	4,28	1,65	Atende
301	4,28	1,65	Atende
302	4,28	1,65	Atende
303	4,28	1,65	Atende
304	4,28	1,65	Atende
401	4,28	1,65	Atende
402	4,28	1,65	Atende
403	4,28	1,65	Atende
404	4,28	1,65	Atende

Figura10 – Mapa de Verificação de Ventilação Cruzada.  
Fonte: SANTOS e SALGADO, 2019.

Atendimento da Ventilação Natural						
Número da Unidade Habitacional	Nome Zona	Área Medida	Área de Superfície das Janelas	Área de Ventilação do Ambiente	% de Área de ventilação em relação à área de piso	Atendimento da Ventilação do Ambiente
101						
	Quarto	10,05	2,25	0,98	8,0000	Atende
	Sala Estar / Jantar	17,80	4,80	2,28	8,0000	Atende
	Suite	11,88	2,25	0,98	8,0000	Atende
102						
	Quarto	10,05	2,25	0,98	8,0000	Atende
	Sala Estar / Jantar	17,80	4,80	2,28	8,0000	Atende
	Suite	11,88	2,25	0,98	8,0000	Atende
103						
	Quarto	10,05	2,25	0,98	8,0000	Atende
	Sala Estar / Jantar	17,80	4,80	2,28	8,0000	Atende
	Suite	11,88	2,25	0,98	8,0000	Atende
104						
	Quarto	10,05	2,25	0,98	8,0000	Atende
	Sala Estar / Jantar	17,80	4,80	2,28	8,0000	Atende
	Suite	11,88	2,25	0,98	8,0000	Atende

Figura 11 – Mapa de Verificação de Ventilação Natural.

Fonte: SANTOS e SALGADO, 2019.

Para o processo de criação das regras de verificação, foi desenvolvido uma lógica de cálculo constituído de um conjunto de propriedades para a obtenção do resultado da verificação, por exemplo: na verificação da ventilação cruzada, criou-se um parâmetro para identificar a orientação da esquadria cuja ventilaria a unidade habitacional, um parâmetro para identificar em qual fachada da unidade habitacional estava a maior área de abertura de ventilação, de acordo com a orientação, um parâmetro para realizar o cálculo de somatória das aberturas das esquadrias da fachada com a maior área de abertura de ventilação – sendo este considerado o fator A1, um parâmetro para fazer o cálculo de somatória das aberturas das esquadrias e suas respectivas áreas de ventilação, das demais fachadas - sendo este considerado o fator A2, um parâmetro para a realização do cálculo  $A2/A1$  e por fim, um parâmetro de condicionante que verificaria se o cálculo descrito anteriormente fosse menor que 0,25 apontaria para o não atendimento do requisito, caso o valor fosse maior ou igual apontaria para o atendimento do requisito. É importante ressaltar que no mapa de verificação em que apresenta o atendimento ou não do requisito somente são mostrados os parâmetros importantes para a verificação, ficando ocultos os parâmetros de cálculos que produziram o resultado.

Os exemplos aqui apresentados visam a incentivar a adoção do processo BIM na verificação de requisitos, que podem ser relacionados tanto às posturas edilícias definidas, como aos requisitos de determinada avaliação de desempenho (PROCEL). Dessa

forma, também fica evidente o potencial da plataforma na verificação dos requisitos de desempenho definidos pela Norma NBR 15575, que trata do tema.

Dividida em 6 partes, a quarta parte da norma (NBR 15575-4:2013), estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais ou de seus elementos.

A avaliação do desempenho térmico pode-se dar das seguintes maneiras:

1. Procedimento 1 A – Simplificado (normativo)
2. Procedimento 1 B – Simulação por *software Energy Plus7* (normativo)
3. Procedimento 2 – Medição in loco

O Procedimento 1 A - Simplificado trata especificamente ao envelopamento da obra, verificando os requisitos e critérios de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes da fachada e das coberturas de acordo com a zona climática. Para esta avaliação foi utilizado o fluxo do processo para a verificação anteriormente apresentado (fluxograma 1) dividido em três etapas, sendo a primeira de RECEBIMENTO DO PROJETO (RP), a segunda de VALIDAÇÃO DO MODELO (VM) e a terceira de VERIFICAÇÃO DO PROJETO (VP). (SANTOS e SILVOSO, 2017).

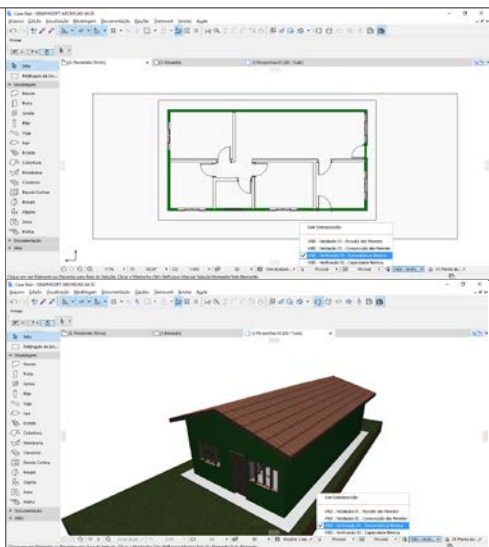
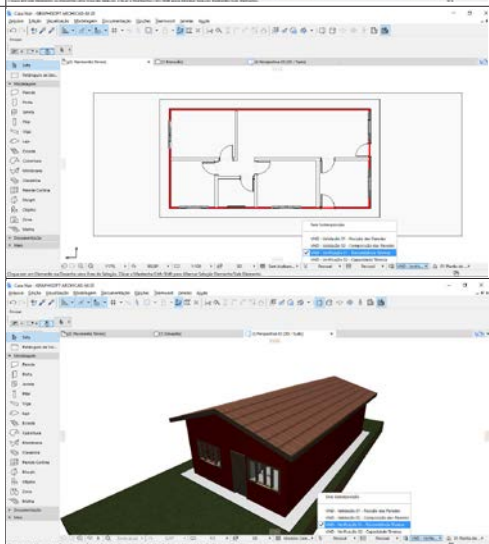
Para que a VM tenha sucesso, determinou-se as seguintes regras para a construção do modelo:

1. Todas as paredes externas da edificação deverão ser classificadas como posição EXTERNA;
2. Os materiais a serem utilizados na construção das paredes deverão ter sua Identificação (ID) definida como VND (sigla para Verificação da Norma de Desempenho) e nome do material deverá seguir o mesmo estabelecido no Anexo D da 9 NBR 15220 – Parte 3. Por exemplo: Parede de concreto maciço;
3. O acabamento externo aplicada à parede deverá ter em seu nome iniciado por: PINTURA CLARA. Como por exemplo: PINTURA CLARA – AZUL.

As regras para a verificação do atendimento da Norma de desempenho foram aplicadas em dois projetos com características de HIS. No primeiro momento, utilizou um projeto de residência unifamiliar com área de 61,25m<sup>2</sup> e no segundo momento em um prédio residencial multifamiliar de 4 pavimentos com 4 apartamentos por pavimento e área total de 1.152,00m<sup>2</sup>. Ao longo da aplicação das regras foram feitas simulações com o objetivo de testar todas as etapas do fluxo, considerando tanto o não atendimento como o atendimento das mesmas. Os resultados foram apresentados em representações 2D e 3D, como mostram as Tabelas 2 e 3.

Conforme discutido ao longo deste capítulo, observa-se que os escritórios de arquitetura que desejam adotar o BIM para verificar projetos terão dois desafios principais a enfrentar: o primeiro diz respeito à necessidade de conhecer e interpretar corretamente os requisitos a serem verificados e o segundo refere-se à incorporação desses parâmetros ao Modelo BIM visando a verificação automática.

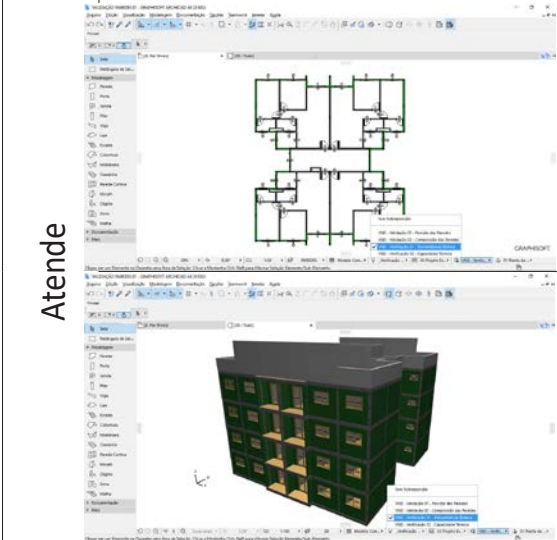
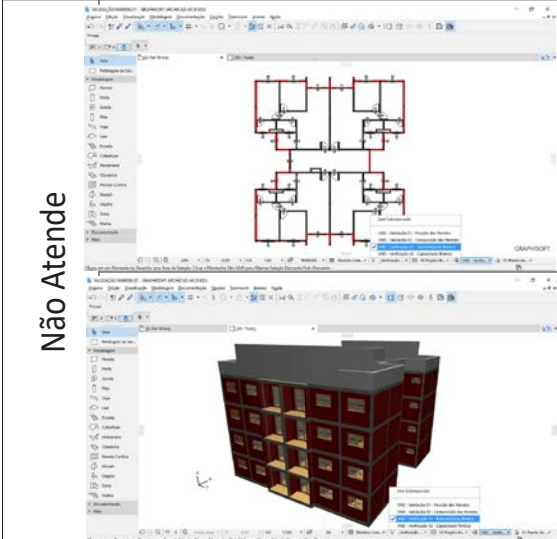
Tabela 2 – Verificação da Transmitância térmica de residência unifamiliar

Verificação do Modelo	
Transmitância Térmica	
Atende	
Não Atende	

Fonte: SANTOS e SILVOSO, 2017.



**Tabela 3 – Verificação da Transmitância térmica de prédio residencial multifamiliar**

Verificação do Modelo	
Transmitância Térmica	
Atende	
Não Atende	

Fonte: SANTOS e SILVOSO, 2017.

De qualquer forma, fica evidente que a adoção do BIM pode trazer benefícios que vão além da compatibilização entre as disciplinas, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental das edificações a partir da verificação automática das soluções projetuais.

## CONCLUSÕES

A implementação da plataforma BIM no processo de projeto, principalmente na fase de projeto para aprovação, demanda um grande esforço tanto para quem o desenvolve quanto para quem o analisa. Há que se considerar que a adoção do método automatizado envolve dedicação da equipe, pois além da capacitação técnica dos profissionais envolvidos é necessário o amadurecimento de como se trabalhar neste novo processo.

Este “amadurecimento” exige uma nova forma de organização por parte do responsável pela análise do projeto, uma vez que este deverá ser capaz de conjugar as informações existentes nas diversas legislações e normas edilícias, para que se torne possível a criação de regras para uma verificação automatizada.

Do lado do projetista, é importante, para o sucesso da verificação através de regras automatizadas, que o mesmo desenvolva um modelo com informações mínimas necessárias, e que estas informações estejam organizadas de forma coesa.

Daí a necessidade de se elaborar um plano de implementação e definir padrões para a utilização do BIM, conseguindo, assim, atingir aos objetivos pretendidos, quais sejam: a diminuição no tempo de verificação de regras e posteriormente aprovação pelos órgãos regulamentares, e a garantia de uma melhor gestão dos projetos, subsidiando tecnicamente a tomada de decisão.

Além disso, nos projetos públicos tem destaque a facilitação do acesso à informação, devido ao preço orçado mais próximo da realidade, e melhorando a gestão dos projetos e obras contratados, reduzindo, por exemplo, a quantidade de aditivos aos contratos.

Com relação à verificação dos parâmetros de sustentabilidade, ao utilizar o mesmo software para as duas fases definidas no processo, REGRAS e PROJETO, verificou-se que um dos benefícios é que a análise dos parâmetros acontece simultaneamente com o desenvolvimento do projeto, pois, conforme exemplo apresentado, ao inserir uma janela em uma sala, por exemplo, é possível verificar se a área de ventilação natural está de acordo com o requisito a ser atendido. Como os resultados de conformidade de requisitos são apresentados em conjunto com a evolução do projeto, o profissional responsável pelo seu desenvolvimento pode tomar decisões com maior nível de precisão do que no processo de verificação tradicional que acontece manualmente, demonstrando que

a plataforma BIM pode servir com um instrumento para apoiar a tomada de decisão projetual.

Cada vez mais os profissionais sentirão a necessidade de adotar estratégias que permitam a rápida verificação de parâmetros e o perfeito atendimento às exigências e requisitos, não sendo mais possível contar com a busca de erros de forma visual/artesanal. A adoção do processo BIM na fase de verificação de parâmetros é, portanto, uma importante estratégia a ser adotada pelas empresas. Para tanto, torna-se necessário que os profissionais estejam familiarizados com as funcionalidades dos softwares que operam na Plataforma BIM. A aceleração do processo de mudança partirá do próprio setor da construção civil, e dos profissionais, interessados no aumento de produtividade e competitividade.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e com apoio da FAPERJ – Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro (Bolsa Nota 10 – Mestrado).

## REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. GUIA 1 – Processo de Projeto BIM. *Processo de Projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC*. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília, DF. V. 1. ISBN 978-85-61323-43-1, 2017.

ADDOR, Miriam Roux A. Addor; CASTANHO, Miriam Dardes de Almeida Castanho; CAMBIAGHI, Henrique; DELATORRE, Joyce Paula Martin Delatorre; NARDELLI, Eduardo Sampaio; OLIVEIRA, André Lompreta de Oliveira. Colocando o “I” no BIM. *usjt – In: Arq.urb – n.º. 4*. 2010. Disponível em: < [http://www.usjt.br/arq.urb/numero\\_04/arqurb4\\_06\\_miriam.pdf](http://www.usjt.br/arq.urb/numero_04/arqurb4_06_miriam.pdf)>. Acesso em: 12.fev.2017.

AZHAR, Salman; KHALFAN, Malik; MAQSOOD, Tayyab. Building Information Modeling (BIM): Now And Beyond. *In: Construction Economics and Building*, V. 12, n.º. 4, p. 15-28, 2012.

Brasil. *Manual para etiquetagem de edificações públicas*. Gestor público Eletrobras/Procel. [online] Available In: <http://www.pbeedifica.com.br>. 2003. Acesso em: 7.jan.2017.

BOOZ & COMPANY, *O custo da burocracia no imóvel*. São Paulo, 2014. Disponível em: [http://www.cbic.org.br/sites/default/files/O%20Custo%20da%20Burocracia%20no%20Im%C3%B3vel\\_1.pdf](http://www.cbic.org.br/sites/default/files/O%20Custo%20da%20Burocracia%20no%20Im%C3%B3vel_1.pdf). Acesso em: 7.jan.2017.

CAMPOS, Bruna Pacheco de. Análise de projetos automatizada, BIM - 2º Seminário Regional Sul, Florianópolis, 2016. *Anais...* disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoes/comite-de-obras-publicas/seminario-bim/726--80/file>. Acesso em: 09.abr.2017.

DE MENEZES, Gilda Lúcia Bakker Batista. Breve Histórico de Implantação da Plataforma BIM. *In: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, V. 18, n.º. 22, 2011.

EASTMAN, Charles. The use of Computers Instead of drawings in building design. *In: Journal of the American Institute of Architects*, V. 3, p. 46-50, 1975.

FREITAS, Eduardo de. Terceira revolução industrial. *Mundo educação*, c2021, Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/terceira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 23.fev. 2021.

GCCG, Government construction client group. *A report for the building information modelling (BIM) working party strategy paper*. 2011. Disponível em: <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>. Acesso em: 8.abr.2017.

IAB-RJ, Instituto dos Arquitetos do Brasil - RJ. *Manual de procedimentos e contratação de serviços de arquitetura e urbanismo*, 2011.

MORENO, João Brunelli. *A história do ENIAC, o primeiro computador do mundo*. *Tecnoblog*. 2011. Disponível em: <https://tecnoblog.net/56910/eniac-primeiro-computador-do-mundo-completa-65-anos/>. Acesso em: 23.fev.2021.

MORIMOTO, Carlos E. *A história da informática* (Parte 6: Sistemas Embarcados e Supercomputadores). 2011. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/guias/historia-informatica/>>, acesso em: 18.mar.2017

MÜLLER, Cynthia et al. Análise projetual da habitação de interesse social no município de Erechim/RS. *In: Revista de Arquitetura IMED*, V. 2, nº. 2, p. 160-170, 2014.

NETO, Antonio Ivo de Barros Mainardi. *Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 2016

SANTOS, Eduardo; DUARTE, Técia; SALGADO, Mônica. Gestão de equipes no processo de legalização de projetos de edificações utilizando a plataforma BIM. *In: Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído*, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 3255-3264

SANTOS, Eduardo Ribeiro dos. *Adoção da plataforma BIM no processo de aprovação de projetos de edificações: desafios e possibilidades*. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2018.

SANTOS, Eduardo Ribeiro dos; SALGADO, Mônica Santos. Verificação de parâmetros na aprovação de projetos visando a modernização do poder público. V SBQP – Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto do Ambiente Construído, 04 a 06 de outubro de 2017. *Anais...* João Pessoa-PA. 2017.

SANTOS, Eduardo Ribeiro dos; SALGADO, Mônica Santos. The use of BIM platform to incorporate sustainable requirements in building. *Sustentabilidade urbana – 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires*, 5, 6 e 7 de dezembro de 2018. *Anais...* Universidade Vila Velha-ES. 2018.

SANTOS dos, Eduardo Ribeiro; SALGADO, Monica Santos. BIM na verificação de requisitos do PROCEL EDIFICA. *In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção*. *Anais...*2019.

SANTOS, Eduardo Ribeiro dos; SILVOSO, Marcos M. A utilização do Bim Na Verificação sa NBR 15575 Em Habitações De Interesse Social (No. lares\_2017\_paper\_49). *Latin American Real Estate Society (LARES)*, São Paulo, 2017.

SCHEER, Sergio. *BIM inovação disruptiva*. 2º Seminário Regional Sul de BIM – 3-4 novembro, 2016, Florianópolis, Disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoes/comite-de-obras-publicas/seminario-bim/736-bim-como-paradigma-de-inovacao-disruptiva/file>. Acesso em: 12.mai.2017.

SILVA, Rafael Fernandes Teixeira. BIM no governo do Estado de SC e estudos de caso do LABIM-SC. BIM - 2º Seminário Regional Sul, Florianópolis, 2016, disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoes/comite-de-obras-publicas/seminario-bim/731--85/file>. Acesso em: 9.abr.2017.

SILVA, Rafael Fernandes Teixeira. Ações de implantação de BIM no governo de Santa Catarina. Seminário Building Information Modeling. *Anais...* Brasília, 2017.

---

# **Diretrizes da avaliação do ciclo de vida aplicadas à tomada de decisões em projeto**

Tathiana do Nascimento Carvalho

---

**A** complexidade das atividades, diversos agentes e altos custos configuram a construção civil como um dos segmentos mais representativos do país. A sustentabilidade integra-se intensificando a responsabilidade em questões econômicas, ambientais e sociais. Com relação aos arquitetos, quando aplicada aos projetos possui parcela associada aos materiais e insumos especificados. Metodologia com foco na gestão ambiental, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem como estratégia contribuir na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental de produtos, colaborar para nível de informação dos tomadores de decisão, seleção de indicadores de desempenho ambiental, etc. Este capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da pesquisa realizada em Mestrado Acadêmico, tendo como foco a aplicação prática da ACVCO2 no Brasil como ferramenta de decisão de projeto na Arquitetura. Através de metodologia fundamentada em normas técnicas e publicações acadêmicas, diretrizes da ACV foram aplicadas em edificação unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), com objetivo de avaliar potenciais impactos dos materiais que compõe a alvenaria estrutural.

Dados publicados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em seu relatório síntese sobre mudanças climáticas demonstram claramente a participação do homem e suas atividades nas mudanças climáticas, quando afirmam que “as recentes emissões antropogênicas de gases de efeito estufa são as mais elevadas na história. As recentes mudanças climáticas têm tido impactos generalizados nos sistemas humanos e naturais” (IPCC, 2014).

Em 2015, adotado através de um novo acordo estabelecido na 21ª Conferência das Partes (COP21) da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), o



Acordo de Paris tem como objetivo fortalecer as ações globais em resposta às mudanças climáticas e como meta principal a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (MMA, 2018).

Em todo o mundo, a construção civil é uma das atividades que mais contribui com o uso de recursos naturais, além do intenso consumo de energia e produção de resíduos sólidos e emissões de CO<sub>2</sub>. O Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção (CIB) aponta a indústria da construção como “o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais”. Além dos impactos do consumo de matéria e energia, há a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, onde se estima que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção, demonstrando as intensas relações entre construção e meio ambiente (MMA, 2017).

Dentro deste contexto, o **objetivo geral** estabelecido pela pesquisa destacou-se em avaliar a aplicação e realização de um estudo de ACVCO<sub>2</sub> (Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> e consequente potencial impacto no aquecimento global) como possibilidade de ferramenta de decisão de projeto para projetistas (arquitetos e engenheiros) e empreendedores ainda na fase de concepção e detalhamento, com foco no sistema construtivo da habitação na etapa pré-operacional da edificação. (Extração de recursos, transportes, indústria e construção).

Dentre os **objetivos específicos**, buscou-se:

1. **Revisar** a bibliografia sobre a de Avaliação de Ciclo de Vida, abordando a definição, princípios, aplicações, softwares, bases de dados, métodos, categorias de impacto, etc.;
2. **Revisar** a bibliografia sobre a utilização da metodologia ACV voltada para a construção civil;
3. **Identificar** se a metodologia pode ser uma ferramenta auxiliar as tomadas de decisão ao longo do desenvolvimento do projeto de arquitetura;
4. **Verificar** a aplicação prática da ACV, identificando benefícios e limites nas publicações;
5. **Simular** com dados reais coletados do empreendimento selecionado os potenciais impactos provocados pelo sistema construtivo da edificação escolhida, aplicando a metodologia simplificada de ACVCO<sub>2</sub> (Mudanças Climáticas - Aquecimento Global) em um projeto de habitação de interesse social, incluindo o desenvolvimento do modelo 3D no Autodesk Revit® 2017 (software associado à Plataforma BIM - *Building Information Modeling*) para extração de quantitativos;

6. **Modelagem de dados** no software SIMAPRO®, específico de ACV;
7. **Utilização de dados de inventários nacionais** (Pesquisas acadêmicas, órgãos públicos) inseridos no modelo 3D;
8. **Análise de sensibilidade e contribuição** dos resultados obtidos nos dois métodos propostos;
9. **Análise de sensibilidade e contribuição** da fase de distribuição (transporte) de produtos da indústria até o canteiro de obras.

## REVISÃO DA LITERATURA

### Breve Histórico da ACV – Mundo e Brasil

Na década de 1960 começaram as primeiras percepções voltadas aos problemas ambientais em escala global. A primeira crise do petróleo (ainda na década de 1970) em função do boicote internacional realizado pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) gerou uma crise na economia mundial sem precedentes através do aumento significativo do preço do barril. Neste contexto, novas formas alternativas de energia começam a ser procuradas, provocando a necessidade de readequação no aproveitamento dos recursos naturais existentes. Vários estudos foram realizados buscando avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis (CHEHEBE, 1998). Exemplo clássico do princípio da Avaliação do Ciclo de Vida é o da empresa Coca-Cola®, um dos primeiros do mundo (1965), custeando um estudo realizado pelo Midwest Research Institute (MRI) com o objetivo de comparar diferentes tipos de embalagens, determinando qual apresentava índices mais adequados de emissão e melhor desempenho da preservação de recursos naturais (CHEHEBE, 1998; FERREIRA, 2004).

Já na década de 1990 começam as mobilizações para a elaboração de normas internacionais, onde um grupo de trabalho dentro da *International Organization for Standardization* (ISO) denominado SAGE (Grupo estratégico dentro da ISO) procurou identificar elementos para a possível ordenação e estruturação de uma norma internacional (CHEHEBE, 1998). Na Europa, alguns países começam a se mobilizar (Inglaterra), além da criação de dois instrumentos voluntários pela União Europeia (Rotulagem Ambiental–Ecolabel, 1992) e Auditoria Ambiental (EMAS, 1993), atuação que desperta preocupação com a possibilidade destas certificações gerarem barreiras técnicas ao livre comércio entre países. Neste cenário a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) destacou-se por ser a primeira entidade a organizar de forma padronizada os critérios e termos utilizados nos estudos de ACV. Baseada nas primeiras publicações (SETAC e outros órgãos), a ISO dividiu o trabalho entre cinco grupos

(Subcomitê 5 – Análise do Ciclo de Vida), iniciando a elaboração das normas ISO 14040, 14041, 14042, 14043, 14044 (CHEHEBE, 1998; MANZINI e VEZZOLI, 2002).

No Brasil a ACV teve sua primeira atividade formal em 1994 com a implantação do Subcomitê específico dentro do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), tendo como objetivo dedicar-se a análise das normas ISO 14000 (IBICT 2021).

Dentre os marcos nacionais importantes, destacam-se:

1. A realização do primeiro estudo completo de ACV, “Avaliação do Ciclo de Vida de embalagens para o mercado brasileiro” foi realizado através de uma parceria entre o Centro de Tecnologia de embalagem – CETEA e Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL (IBICT, 2021);
2. A incorporação da ACV como parte das linhas temáticas do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), com foco em ações para o desenvolvimento de bases de dados nacionais, associando-se ao Laboratório Federal Suíço para Ciência e Tecnologia de Materiais (EMPA) para a capacitação de agentes brasileiros em ACV na construção de uma base de dados de inventários de ciclo de vida nacional (ICV) (IBICT, 2021).
3. Criação do Programa Brasileiro de ACV (PBACV) em 2010, visando fortalecer a ACV através de ICV’s nacionais através do conhecimento, capacitação técnica e definição das categorias de impactos mais relevantes para o país (IBICT, 2021).

### **Definição e Aplicações**

A ABNT NBR ISO 14040 (2009) estabelece a Avaliação do Ciclo de Vida como a “compilação e avaliação das entradas e saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. Chehebe (1998) define a Avaliação do Ciclo de Vida como uma:

Técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

A metodologia possui alguns princípios considerados fundamentais e relevantes, sendo recomendado o seu uso de forma a orientar, tanto as decisões relacionadas ao planejamento quanto à condução da ACV.

Os resultados de uma ACV podem ser utilizados de diversas formas. Dentre as aplicações, destacam-se: 1. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos;

2. Planejamento estratégico; 3. Elaboração de políticas pública e 4. Marketing. Outras aplicações são direcionadas a áreas de sistemas e ferramentas de gestão ambiental, tais como: 1. Rótulos e declarações ambientais; 2. Integração de aspectos ambientais em normas de produtos; 3. Comunicação ambiental; 4. Quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios de emissões e remoções por organizações e 5. Projetos (validação, verificação e certificação de emissões de gases de efeito estufa), entre outros (ABNT NBR ISO 14040, 2009; CHEHEBE, 1998).

#### **ABNT NBR ISO 14040 -14044**

As normas que regulamentam a metodologia de ACV são a ABNT NBR ISO 14040:2009 (Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura) e a ABNT NBR ISO 14044:2009 (Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações). A Estrutura de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é dividida em quatro fases:

- 1. Definição de Objetivo e Escopo** – A primeira fase da metodologia de ACV é a definição do seu objetivo, onde são declaradas as aplicações pretendidas, as razões para a execução deste estudo, o público alvo a que se pretende comunicar e divulgar os resultados e a existência ou não da intenção de se publicar os resultados obtidos em afirmações comparativas a serem posteriormente divulgadas. Nesta etapa são definidos: Unidade Funcional, Fronteiras e Limites do Sistema, Requisitos de Qualidade dos Dados (ABNT NBR ISO 14040, 2009);
- 2. Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)** – A segunda etapa consiste na coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. Esta fase é iterativa, isto é, à medida que os dados são coletados, novos requisitos ou limitações poderão ser identificados, demandando alterações nos procedimentos de coleta de dados, a fim de alcançar o objetivo e escopo anteriormente estabelecidos (ABNT NBR ISO 14040, 2009);
- 3. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida** – Nesta fase é estudada a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados obtidos na fase de análise de inventário (AICV). O processo envolve analisar a correlação entre os dados levantados na etapa de inventário com as categorias de impactos específicas e seus indicadores, examinando as correlações existentes, compreendendo a extensão de tais impactos (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

- 4. Interpretação do Ciclo de Vida** – Os resultados obtidos nas duas fases anteriores (análise de inventário e avaliação do impacto) são considerados em conjunto, proporcionando conclusões consistentes e coordenadas aos objetivos e escopo definidos, com a identificação de possíveis limitações, que podem tomar forma de recomendações aos tomadores de decisão envolvidos (ABNT NBR ISO 14044, 2009; MANZINI e VEZZOLI, 2002).

### **SOFTWARES, BANCO DE DADOS, MÉTODOS, CATEGORIAS DE IMPACTO**

Tendo em vista a complexidade das fases da ACV, tanto pela extensa quantidade de informações apuradas na etapa de inventário de ciclo de vida (ICV) como na análise e interpretação dos dados coletados, foram desenvolvidos **softwares** que atuam como uma ferramenta facilitadora dos estudos. Além dos procedimentos de cálculos e balanços de massa e energia, comparações entre ciclos de vidas de produtos, análise de fluxos de materiais e energia e análise de impactos ambientais e interpretação de resultados, os softwares possuem **bancos de dados** “que contém informações ambientais sobre a produção de bens e disponibilidade de recursos”, com inventários de ciclo de vida de elementos como materiais, energia, transporte e tipo de combustível (CAMPOLINA *et al.*, 2015).

É de extrema importância para coleta de dados e tratamento de informações, contribuindo para a redução de tempo e recursos necessários para a fase de AICV (ZOCCHÉ, 2014). Alguns bancos são mais conhecidos pela sua extensa utilização, como o Ecoinvent, ampla biblioteca de inventários com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia) associadas a um vasto número de produtos, processos e sistemas de energia, transporte, deposição de resíduos, etc.

Na fase de Avaliação dos Impactos da ACV são aplicados **métodos** para realização das análises, de acordo com as suas características individuais e específicas. As abrangências de aplicação determinam a extensão do escopo regional de cada método, classificando para cada categoria de impacto, níveis globais, continentais e nacionais. Alguns métodos apresentam categorias de impactos iguais, mas com abordagens diferentes. O tipo de abordagem escolhido para o estudo será o facilitador da seleção do método a ser utilizado (ZOCCHÉ, 2014).

Nos estudos em ACV, as categorias de impacto são as classes que representam as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise de inventário do ciclo de vida podem ser atribuídos (NBR ISO 14040, 2009).

São consideradas na etapa de avaliação de impacto e devem levar em consideração às preocupações ambientais identificadas na fase de objetivo e escopo, a fim de orientar o processo de coleta de dados de ICV e as reconsiderações seguintes

a esta fase (FERREIRA, 2004). As mais utilizadas são: o consumo de Recursos Naturais; Mudanças Climáticas/Aquecimento Global, Redução da Camada de Ozônio, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade, Acidificação; Oxidantes Fotoquímicos e Eutrofização/Nutrição.

## **ACV NA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO CIVIL**

No contexto da construção civil, a Agenda 21 for *Sustainable Construction in Developing Countries*, indicou o estabelecimento de objetivos para o desempenho ambiental das edificações, mudanças nas práticas de gestão do processo de projeto e construção, além da implantação de uma nova cultura dentro do setor da construção civil (SALGADO, CHATELET, FERNANDEZ, 2012). Publicada pelo CIB em 1999, “detalha os conceitos, aspectos e desafios para a indústria da construção atingir um patamar mais sustentável” (JOHN, SILVA, AGOPYAN, 2001).

A construção sustentável tem então o grande objetivo e desafio de desenvolver modelos e ferramentas que permitam ao setor enfrentar e propor soluções aos principais problemas ambientais (SEVERO E SOUSA, 2016a). Salgado, Chatelet, Fernandez (2012) mencionam ainda que:

De maneira geral, entende-se que a principal vantagem das ferramentas e dos métodos de avaliação reside na orientação aos empreendedores, projetistas e construtores quanto aos aspectos a serem considerados na produção de edificações sustentáveis (SALGADO, CHATELET, FERNANDEZ, 2012).

Dentro de tais circunstâncias, a identificação dos aspectos e impactos ambientais das atividades desenvolvidas ao longo do ciclo de vida dos edifícios podem ser verificadas e várias oportunidades de influências positivas dos projetos arquitetônicos (DEGANI e CARDOSO, 2002). Especificar o material, componente ou sistema mais adequado podem reduzir os impactos, conceito exemplificado por Blengini (2009) quando afirma que “a seleção dos materiais, a concepção dos elementos e a escolha das técnicas de construção podem reduzir significativamente os encargos ambientais que podem ser atribuídos a eles”. Conforme relatam Salgado, Chatelet, Fernandez (2012), a década de 1990 ficou “marcada na construção civil pelas primeiras metodologias voltadas ao auxílio à elaboração de projetos com alta qualidade ambiental”.

### **ACV nas edificações**

Inevitavelmente edifícios tornaram-se um importante alvo para a melhoria ambiental, pois representaram cerca de 40% do consumo mundial de energia, 30% de utilização de matérias-primas, 25% de resíduos sólidos, 25% de água, 12% do uso da terra e 33% relacionados a emissões de GHG (GREENHOUSE GAS) (CHAU *et al*, 2015). Além das questões de conforto ambiental e eficiência energética, recursos para a construção

e a operação do edifício como materiais, energia e água são variáveis que vêm sendo exploradas, especialmente na formulação de propostas de menor impacto ambiental (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Heywood (2012) afirma que é inegável o consumo intenso de energia nas edificações e cita, por exemplo, a escavação mecânica de argila, cozimento e transporte dos tijolos até o canteiro de obras. E reitera a relevância das atividades da construção civil e suas consequências, quando declara que “consumimos energia para aquecer, resfriar e iluminar nossos prédios. Grande parte da energia que usamos deriva de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás), que são recursos globais mais finitos”.

Evangelista (2017) cita que os primeiros estudos de ACV relacionados a edificações (com foco na questão energética) são realizados no final da década de 90, ressaltando o avanço na pesquisa com o passar dos anos:

A pesquisa avançou para outros países, notadamente da Europa, com ampliação das discussões fomentada pelo processo de normalização e passou a contemplar tipologias diferentes, metodologias para inventário e avaliação de outras categorias de impacto ambiental (EVANGELISTA, 2017).

De 2011 a 2013 são publicadas a EN 15978 (*Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method*) e a EN 15804 (Sustentabilidade dos trabalhos de construção - Declarações ambientais dos produtos - Regras básicas para a categoria de produtos de construção), normas sobre a Sustentabilidade dos trabalhos de construção e Avaliação do Desempenho Ambiental dos edifícios e regras básicas de categoria de produto para declarações de produto ambiental tipo III (*Environmental Product Declarations - EPD*) para qualquer produto de construção e serviço de construção.

Porém realizar a ACV de um edifício não é um processo simples como para muitos produtos de consumo, pois possuem vida útil longa, contém uma série de componentes diferentes, abrigam múltiplas funções, sofrem uma série de mudanças (especialmente escritórios e outras instalações), são produzidos localmente, não tendo seus limites de sistemas claros (BRIBRIÁN *et al*, 2009). De acordo com Soares, Souza, Pereira (2006):

É necessário ressaltar que o desenvolvimento de pesquisas sobre a aplicação da ACV na área da construção civil “requer algumas alterações devido, entre outros aspectos, às diferenças apresentadas com relação ao ciclo de vida de produtos industriais que envolvem, normalmente, um curto espaço de tempo (SOARES, SOUZA, PEREIRA, 2006).

As edificações, assim como toda e qualquer obra de engenharia, ao contrário de produtos com vida útil curta de semanas ou meses, são caracterizadas por uma vida útil



que se estende por alguns anos, décadas ou até mesmo séculos. Um exemplo prático do uso da ACV é mencionado por Soares, Souza, Pereira (2006), quando ilustram que “o inventário de diferentes fluxos elementares de materiais utilizados em construção civil estaria disponibilizado em um banco de dados contendo, por exemplo, cimento, pisos, azulejos, pintura, etc.”. Desta forma, a elaboração de um serviço, poderia ser simulada em diferentes cenários que atendessem a mesma função.

Nos estudos em ACV, as etapas e atividades do ciclo de vida de uma edificação são definidas em (BRÍBRIAN, 2009; BLENGINI, 2009; EVANGELISTA, 2017):

1. **Pré-operacional** – Extração das matérias-primas, transporte até a indústria, processamento de materiais de construção.
2. **Construção** – Distribuição, transporte, construção e instalação da obra.
3. **Operacional** - Uso, operação (condicionamento térmico, equipamentos, cocção) e manutenção (reparação e substituição, reformas, transporte), fase considerada de maior consumo de energia durante sua vida útil (HEYWOOD, 2012; BLENGINI, 2008; BRIBIÁN, USÓN, SCARPELLINI, 2009; ANAND e AMOR, 2016).
4. **Pós-operacional** - Fim de vida da edificação e/ou empreendimento (destinação final, transporte, descarte, reuso, reciclagem).

### **Certificações sustentáveis, selos verdes e rótulos ambientais**

Opção de ferramenta na inserção da sustentabilidade nas edificações, os selos e certificações sustentáveis, definidos como metodologias qualitativas (isto é, atribuição de valores estimados), caracterizam a edificação em vários aspectos ambientais, tais como eficiência energética, uso e o reaproveitamento da água e da terra, matérias-primas renováveis e materiais menos impactantes, recicláveis, além de conforto térmico, acústico, qualidade do ar, tecnologias alternativas, entre outros, com pontuações expressas em uma classificação final (SEVERO E SOUSA, 2016b).

Selos como o pioneiro método inglês **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method* – Reino Unido), **HQE** (*Haute Qualité Environnementale* - França), **LEED** (*Leadership in Energy and Environmental Design*), **GBC** (*Green Building Challenge*), **Green Globes**, **AQUA** (Alta Qualidade Ambiental) entram no mercado com diferentes características e critérios de avaliação que atendam aos requisitos de sustentabilidade com avaliações de ordem qualitativa, isto é, que se referem aos aspectos e características que atribuem qualidade a edificação.

Outro exemplo é o LEED, onde a versão LEED v4 implementou créditos relacionados à ACV nas diversas tipologias (*Building Operations and Maintenance*;

*Neighborhood Development, Interior Design & Construction; Building Design & Construction*) através de ações como redução do impacto do ciclo de vida da edificação, uso de produtos de construção com declarações ambientais, escolha de produtos com critérios locais e regionais, entre outros.

Constata-se a relevância da ACV como requisito no exemplo demonstrado por Correia e Salgado (2016), onde se evidencia que a reformulação do sistema de critérios permitiu uma nova abordagem na avaliação ambiental das edificações. Uma das instalações da Fundação Oswaldo Cruz que possui Selo AQUA (Belo Horizonte, MG), caso fosse submetida à nova versão da certificação HQE, seriam necessárias adequações a fim de atender as tais demandas, entre elas os requisitos relacionados à ACV. Embora as alterações não afetassem imediatamente a certificação AQUA brasileira, é importante ressaltar a inclusão de novos atributos sobre o atual processo de avaliação de desempenho das edificações, comprovando a relevância da ACV no contexto sustentável atual.

Há também **as declarações ambientais**, definidas pela norma ISO 14025 como os “dados ambientais que são quantificados para um produto utilizando parâmetros pré-determinados, informações ambientais adicionais à Avaliação do ciclo de vida (ACV)” e são referidas como “Declarações ambientais de tipo III”. São baseadas em princípios relacionados às normas ISO 14025 e ISO 21930, de aceitação internacional. Para produtos da Construção Civil há a norma ISO 21930 (*Sustainability in Building Construction – Environmental Declaration of Building Product*), tendo como objetivo promover a melhoria da qualidade ambiental de produtos e processos mediante à mobilização do mercado e conscientização de consumidores e produtores (ABNT), incluindo o uso em compras públicas sustentáveis assim como sistemas de certificações sustentáveis. Todas as EPD® registradas no programa EPD Brasil®/*International EPD® System* estão disponíveis publicamente e são gratuitas para download (EPD BRASIL, 2018).

No Brasil, além das EDP®’s existem alguns outros selos (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2018), como por exemplo: **RGMAT** – Selo desenvolvido pela Fundação Vanzolini (mesma certificadora do AQUA) em 2012; **GHG Protocol** – Desenvolvido pelo *World Resources Institute (WRI)* e o *WorldBusiness Council for Sustainable Development (WBCSD)*; **Rótulo Ecológico ABNT** – Lançado em 2008, é um selo ambiental que segue diretrizes internacionais de sustentabilidade estabelecidas pela *Global Ecolabelling Network (GEN)*, que é uma entidade sem fins lucrativos que promove rotulagem ambiental tipo 1; **Selo FSC (Forest Stewardship Council)** – Certificação voltada aos produtos madeireiros e originados de manejo florestal.

### ***Building Information Modeling (BIM) E Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)***

Em função da crescente demanda pela produção de construções sustentáveis, novas abordagens aos processos convencionais de produção são estudadas. Dentro das novas possibilidades de atendimento aos requisitos sustentáveis está a implantação do BIM (*Building Information Modeling*) em diálogo com a metodologia da ACV aplicado as edificações (MACHADO e MOREIRA, 2015b). Dentre as diversas definições, o BIM é considerado um processo progressivo que possibilita a modelagem, o armazenamento, a troca, a consolidação e o fácil acesso aos vários grupos de informações sobre uma edificação ou instalação que se deseja construir, usar e manter. Uma única plataforma de informações que pode atender todo o ciclo de vida de um objeto construído (CBIC, 2017). Por apresentar um novo meio de desenvolvimento e aperfeiçoamento da forma de trabalho, a implantação do BIM ainda é visto como um desafio para a indústria da Construção Civil e Arquitetura, inserindo na prática projetual e de desenvolvimento de empreendimentos uma nova forma de trabalho. Porém seus benefícios ao longo do ciclo de vida da edificação são significativos. Ainda segundo Machado e Moreira (2015b):

(...) as investigações acerca de ferramentas que viabilizem a integração entre o BIM e a ACV podem contribuir de forma significativa na implantação de ambos na indústria da construção civil influenciando qualitativamente as tomadas de decisão” (MACHADO E MOREIRA, 2015b).

Por definição, o BIM é aplicável a todo ciclo de vida de um empreendimento, (CBIC, 2017). Ainda de acordo com Machado e Moreira (2015a):

O fato de a ACV não ser associada a qualquer possibilidade integrada da simulação com a visualização do projeto, demonstra que há um hiato entre as resoluções de menor impacto ambiental, custo e a própria arquitetura. A ausência de diálogo, entre estas variáveis, cria lacunas que devem ser preenchidas para maior consistência no incentivo e convencimento às empresas em relação ao projeto e planejamento de construções sustentáveis. É fundamental o desenvolvimento e utilização de ferramentas que propiciem a geração de hipóteses de adequação ambiental associadas à qualidade, desempenho e valores estimados da edificação.” (MACHADO E MOREIRA, 2015b).

Portanto, a integração entre o BIM e a ACV pode ser um facilitador na aplicação da metodologia em projetos desde as primeiras fases de concepção. O empenho dedicado e centralizado na fase de projeto é essencial para viabilizar possibilidades e experimentações, na busca pela prevenção de possíveis erros e omissões (MACHADO E MOREIRA, 2015a). Concluem ainda que os estágios preliminares conseguem influenciar mais na tomada de decisões, já que na fase de construção as escolhas perdem a flexibilidade e limitam alterações para evitar prejuízos. Neste contexto, o BIM se apresenta

como agente facilitador e catalisador dos estudos de ACV, atenuando as dificuldades e omissões (MACHADO E MOREIRA, 2015a).

A vantagem determinante do uso de BIM na ACV é, segundo Barros e Silva (2016), “sua capacidade de otimizar o processo, auxiliar a tomada de decisão durante toda a evolução do projeto e instigar a convergência para uma solução otimizada”, enquanto em uma ACV tradicional o objetivo é definido e os quantitativos são extraídos manualmente, para uma posterior realização da ACV. Caso haja alterações de projeto, uma nova listagem será reprocessada a cada vez. Caso os cálculos referentes aos indicadores ambientais fossem realizados dentro do próprio *software*, um feedback automático seria gerado. Barros e Silva (2016) reforçam ainda que:

A execução dos cálculos referentes aos indicadores ambientais, dentro do próprio programa, pode fornecer ao projetista um feedback automático e fundamentar uma tomada de decisão mais robusta para edifícios com melhor desempenho ambiental. O ideal seria a interoperabilidade completa entre plataformas ACV e BIM, isto é: que o programa BIM permitisse exportação direta de informações para cálculo automático em softwares ACV (BARROS e SILVA, 2016).

Porém alguns pontos demandam cautela, como no caso da interoperabilidade entre *softwares* utilizados. Campos (2014) destaca ainda que:

(...) o Conceito de interoperabilidade é de suma importância para a utilização de Plataformas BIM, pois infelizmente são poucos os programas unificados que permitem a execução de todas as funções previstas no conceito BIM. Dessa forma, o mesmo arquivo tem que transitar em diferentes softwares e ser compreendido por todos eles, sem perda de informações (CAMPOS, 2014).

Nem todos os *softwares* de ACV são compatíveis com os programas utilizados na área de projeto de arquitetura, podendo gerar a perda de informações na transferência de dados (EVANGELISTA, 2017).

No mercado algumas ações começam a ser realizadas, como o OPEN BIM™, abordagem universal para o projeto colaborativo, baseada em padrões abertos para facilitar o intercâmbio de informações entre softwares utilizados na indústria da construção, como a elaboração de um banco de dados com softwares compatíveis com o IFC (*Industry Foundation Class*), um modelo de dados de tradução, em formato “não proprietário”, disponível livremente para a definição de objetos (BUILDINGSMART®, 2017).

Segundo Barros e Silva (2016), o desenvolvimento de programas e/ou *plug-ins* que permitam esta integração é necessário:

Para tanto, é necessário o desenvolvimento de programas e/ou plug-ins que permitam essa integração. No estado de desenvolvimento atual, os inputs de parâmetros ambientais ainda precisam ser inseridos manualmente. No modo BIM+ACV, mesmo que a completa interoperabilidade entre softwares BIM e plataformas ACV não esteja disponível, quando o modelo de informação é preparado para fins de ACV, o projetista pode solicitar que o especialista ACV calcule os impactos por unidade funcional de uma série de alternativas para uma determinada aplicação e inserir essas “propriedades” em um componente do projeto e ter o desempenho ambiental imediatamente recalculado dentro do próprio modelo. O fluxo de informação torna-se assim mais dinâmico (BARROS E SILVA, 2016).

## MÉTODO PROPOSTO

Fundamentada nas normas ABNT NBR 14040 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura) e ABNT NBR 14044 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações), na norma internacional europeia EN 15978 (CEN, 2011) (*Sustainability of Construction Works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method*) e no método desenvolvido por Evangelista (2017) para edificações residenciais brasileiras foi proposto **método de aplicação prática**, tendo como base o desenvolvimento de fluxograma com as etapas para orientação das atividades a serem cumpridas na avaliação do desempenho ambiental da edificação – Figura 1:

1. **Caracterização do empreendimento**, através de levantamento da evolução do Programa Minha Casa Minha Vida no Estado do Rio de Janeiro, identificando os empreendimentos existentes e pertinentes ao desenvolvimento do estudo de caso, tipologia e sistemas construtivos utilizados. Uma vez definido o empreendimento, buscaram-se características técnicas específicas da edificação escolhida (como área, materiais empregados, fornecedores, etc.);
2. **Definição de Objetivo e Escopo**, com a finalidade e propósito do estudo;
3. **Inventário do ciclo de vida**, com a seleção dos dados a serem utilizados (*softwares*, métodos, critérios de corte, fatores), assim como o desenvolvimento de modelo parametrizado em *software* 3D para extração de quantitativos;
4. **Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida** através de dois métodos: apoio de *software* ACV (banco de dados e métodos internacionais) e inventários de dados nacionais;

## 5. Interpretação do ciclo de Vida, através da avaliação dos resultados, identificação de limitações e recomendações.

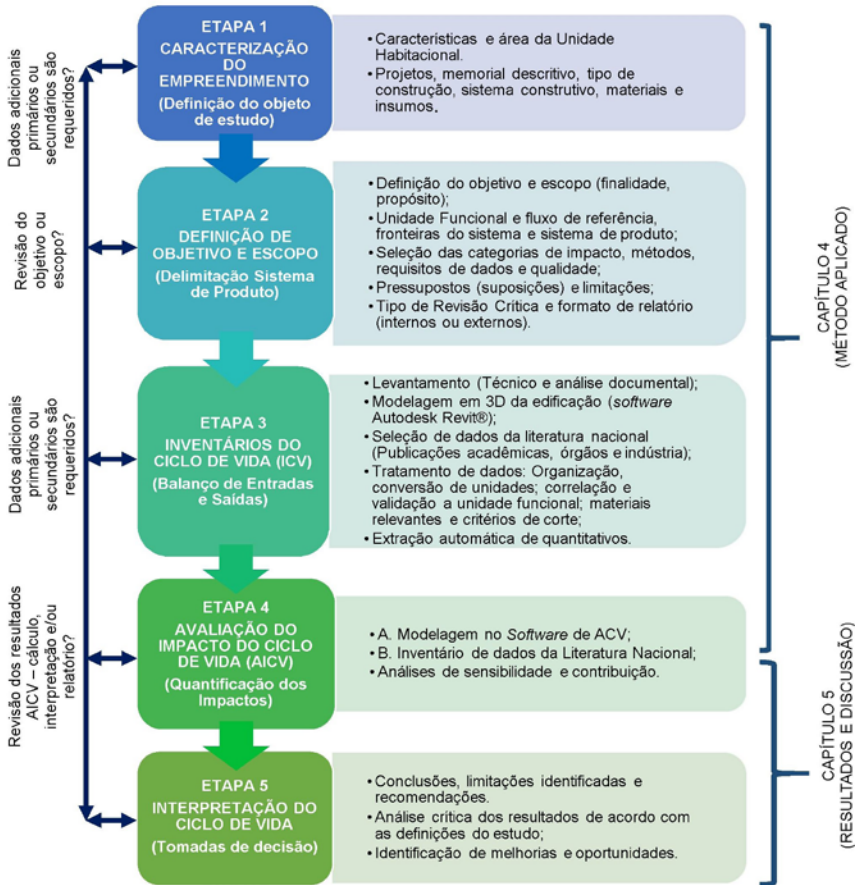


Figura 1 – Atividades para avaliação ambiental de edificações residenciais usando ACV. Fonte: Carvalho, 2018.

## METODO APLICADO

### Estudo de caso

Para a pesquisa foram considerados os imóveis destinados a Faixa 1 (0-3 salários mínimos – Até R\$ 1.800,00), camada de maior demanda. Somente no estado do Rio de Janeiro foram identificadas 91931 unidades entre os anos de 2009 e 2016. Dos empreendimentos identificados na Região Metropolitana, foram constatadas unidades residenciais unifamiliares, objeto da pesquisa, em seis municípios: Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Itaguaí, Japeri, Queimados e Seropédica.

Dentre os empreendimentos pesquisados, foi adotado como estudo de caso o Condomínio Vivenda dos Girassóis (2012), localizado na Rua 5 – Gleba D da Gleba Lagoa Nova, bairro do Chaperó, em Itaguaí (Coordenadas: 22°48'45.2"S 43°45'23.5"W).

### Etapa 1 – Caracterização do empreendimento

A figura 2 apresenta o Projeto de Arquitetura da Unidade 01, uma das 399 unidades habitacionais padrão do Condomínio Vivenda dos Girassóis. Informações técnicas foram solicitadas a Caixa Econômica Federal, órgão responsável pelo acompanhamento do Programa Minha Casa Minha Vida. Embora a implantação do condomínio seja de casas geminadas, para fins da pesquisa foi considerada somente uma unidade. A edificação térrea possui área de 38,85 (piso interno de 32,65 m<sup>2</sup>) composta por sala, dois quartos, cozinha, banheiro e área de serviço externa.



Figura 2 – Unidade Habitacional Unifamiliar – Planta Baixa, Corte A-A e Modelo 3D software 3D Autodesk Revit © 2017.

Fonte: Carvalho, 2018.

### Etapa 2 – Definição de Objetivo e Escopo

Fundamentadas na metodologia proposta, foram definidos: Objetivo do estudo, função do objeto, unidade funcional e fluxo de referência, sistema de produto e fronteiras do sistema, procedimentos de alocação, categorias de impacto e métodos, requisitos dos dados, pressupostos e limitações, requisitos de qualidade dos dados, revisão crítica e formato de relatório. Foi definido como objetivo realizar a comparação entre dois sistemas construtivos utilizados de forma recorrente na estrutura da habitação unifamiliar térrea: alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e de concreto. Foram também definidos:



- 1. Função, unidade funcional e fluxo de referência** – Como a alvenaria estrutural compõe parte do sistema construtivo da edificação (Tendo como função estrutura e vedação da unidade), foi adotada como unidade funcional a habitação unifamiliar, considerando como fluxo de referência todos os componentes e insumos necessários à sua execução (e respectivas quantidades): blocos estruturais e de vedação (cerâmico ou concreto), argamassas de assentamento (cimento, cal, areia), graute (cimento, cal, areia e brita 0/ pedrisco) e armadura em aço CA-50. Na segunda fase foram adotadas outras unidades funcionais, tais como metro cúbico (m<sup>3</sup>) de argamassas de assentamento e graute; metro quadrado (m<sup>2</sup>) de blocos e massa (kg) de armadura.
- 2. Sistema de produto e Fronteira (limite) do sistema** – Baseada na norma internacional desenvolvida na Europa EN 15978 (CEN, 2011), foi definido como fronteira desta pesquisa “berço ao portão”, considerando a etapa pré-operacional da edificação: extração de matéria-prima – A1, transporte (até a indústria) – A2, processamento – A3, transporte (indústria-obra) e Processo de construção e instalação – A5).
- 3. Procedimentos de Alocação** – Não são considerados processos de alocação uma vez que os resíduos gerados na obra (possíveis coprodutos gerados na atividade de construção e instalação) estão fora da fronteira do sistema, não sendo considerados os possíveis destinos, bem como a possibilidade de matéria-prima substituindo outros materiais (retorno para o ciclo produtivo) e até mesmo logística reversa.
- 4. Categorias de Impacto e métodos** – Optou-se pela realização do estudo com foco nas emissões de CO<sub>2</sub> (ACVCO<sub>2</sub>). Além do CO<sub>2</sub> como parâmetro para os dados nacionais, dados de CO<sub>2</sub> eq foram utilizados como parâmetro de referência nos métodos e dados internacionais. O objetivo é avaliar se os materiais pesquisados possuem o mesmo perfil em termos de potencial de impacto ambiental.
- 5. Requisitos dos dados** – Foram utilizados dados do banco internacional Ecoinvent, que apesar de apresentar poucos inventários relacionados ao Brasil (Embora já haja desenvolvimento de novos estudos para elaboração de inventários nacionais) é um dos mais utilizados nas análises de ACV na construção civil. Vale ressaltar o uso de dados globais (GLO) e do restante do mundo (RoW) do Ecoinvent 3.3 assim como o uso de métodos internacionais, exceto pelos dados da matriz energética que já estão alinhados à realidade brasileira. Quanto à opção relacionada ao uso de dados nacionais, são utilizados inventários de pesquisas já publicadas e utilizadas em outras pesquisas na construção civil.

- 6. Limitações E Pressupostos – Limitações:** • Em substituição as informações não identificadas, dados de referências nacionais foram utilizados, como o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO); • Uso de software de ACV e banco de dados internacionais; • Falta de acesso a dados primários (informações levantadas diretamente) de produção dos materiais; • Uso de dados de inventários nacionais (Publicações acadêmicas e órgãos); • Vida útil da edificação – 50 anos (mínimo pela ABNT 15575).

Dos **pressupostos** identificados: • Uso de dados de inventários nacionais; • Não foram consideradas as características tecnológicas e de gestão da empresa construtoras (produtividade, qualificação da mão de obra), somente os equipamentos utilizados na construção (betoneiras); • Aplicação de distâncias médias para cálculo do transporte, considerando somente indústrias e fornecedores no Estado do Rio de Janeiro e com o auxílio do Programa Setorial da Qualidade (PSQ); • Utilização de dados estimados de perda teórica usual para cálculo das perdas de materiais durante a construção (geração de resíduos sólidos), retirados do TCPO; • Computados somente os materiais utilizados (aço, areia, blocos, brita, cal e cimento), não sendo consideradas suas embalagens. • Insumos como grampos, telas de amarração, aditivo e a água utilizada na execução de argamassas e grautes não são considerados; • Não computado o transporte dos resíduos de obra para outros destinos, como a reutilização em outros materiais ou aterros sanitários (C1-C4) - EN 15978 (CEN, 2011). • Não foram computados o uso de fôrmas, equipamentos, ferramentas ou outro material.

- 7. Requisitos de qualidade dos dados** – Foram utilizados dados de bancos internacionais já consolidados (Ecoinvent), assim como informações de pesquisas nacionais e órgãos públicos sobre os insumos utilizados, ressaltando a janela de tempo destes dados (informações descritas ao longo do desenvolvimento da pesquisa).
- 8. Revisão Crítica** – A revisão poderia ser feita por outro especialista em ACV (interno ou externo) contratado para dar suporte à tomada de decisão.
- 9. Tipo e formato do relatório (Comunicação interna)** – O público-alvo deste estudo é a equipe de projetistas (arquitetos, engenheiros, empreendedores), com o foco voltado para comunicação interna e em apoio às tomadas de decisão ao longo do desenvolvimento de projeto.

### **Etapa 3 – Inventários do Ciclo de Vida**

Nesta etapa todos os materiais utilizados na unidade habitacional foram inventariados e modelados em *software* 3D Autodesk Revit 2017<sup>®</sup>, quantificados e avaliados (já

correlacionados a unidade funcional). Como o objeto deste estudo de ACV é a alvenaria estrutural (incluindo a alvenaria de vedação também), outras informações foram inseridas ainda no modelo 3D de forma que os quantitativos fossem extraídos já alinhados a unidade funcional determinada e devidamente preparados para serem inseridos no software SimaPro® na etapa seguinte (areia, aço, brita, cal e cimento). Com isso, as etapas adotadas foram:

#### **A. Levantamento Técnico e Análise Documental**

Foram levantadas e identificadas todas as informações disponíveis sobre o projeto e a execução da obra: plantas baixas, cortes, fachadas, memoriais descritivos, detalhes, etc. As informações contidas em tais documentos foram reproduzidas de duas formas: 1. Reprodução do projeto em arquivos de AutoCAD® (2D) e em planilhas no Excel® para registro do projeto (informações como memoriais, especificações técnicas e quantitativos); 2. Modelagem 3D da edificação com extração automática de quantitativos através de uma ferramenta BIM, utilizando o *software* 3D Autodesk Revit® 2017.

#### **B. Modelagem da edificação no software Autodesk Revit® 2017**

Atendendo aos conceitos relacionados ao BIM e sua utilização na interface dos estudos de ACV, foi desenvolvida nesta etapa a modelagem em 3D da edificação de acordo com as informações encontradas e então parametrizadas, isto é, de acordo com os critérios e definições estabelecidos na fase de desenvolvimento e consolidação do projeto. Foram modelados todos os elementos relacionados no projeto que compõem a edificação, como lajes (radier e pré-moldada), paredes (alvenarias e respectivos revestimentos), pisos, forros, portas e janelas, assim como canaletas utilizadas nas contravergas e cintas de amarração da alvenaria (incluindo grautes e armadura), com suas respectivas informações técnicas associadas a cada elemento. Para auxiliar a modelagem da edificação foi utilizado como base o template disponibilizado pela Contier Arquitetura (pioneiro no uso da tecnologia BIM), que elaborou a pedido do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) modelos de projetos em BIM para o PMCMV do Governo Federal. Disponibilizado o banco de dados (os arquivos estão nas extensões RVT ou RFA) com elementos construtivos em BIM para *download* gratuito e de acordo com as normas ABNT –NBR 15873/2010 (coordenação modular em edificações), o template utilizado foi devidamente adaptado de acordo com as especificações da habitação unifamiliar objeto do estudo.

Para que os quantitativos fossem extraídos e devidamente associados aos componentes da edificação, foi desenvolvido um sistema de reconhecimento de cada elemento através de *tags* (etiquetas), onde cada elemento modelado (pisos, paredes, tetos, etc.) recebe um rótulo, uma identificação única, que não se repete. O uso de tags facilita não só o processo de reconhecimento, como permite a rastreabilidade das informações associadas ao item possibilitando facilmente a modificação em caso de erros, alterações de projeto. Desta forma, ao acessar o item individualmente no software Autodesk Revit®, é possível verificar sua especificação técnica detalhadamente e de acordo com os dados reais do projeto. Embora o *software* Autodesk Revit 2017® gere automaticamente as áreas (m<sup>2</sup>) e volumes (m<sup>3</sup>), para o cálculo de alguns materiais foi necessário o uso de funções (fórmulas), item disponibilizado dentro das propriedades da planilha e configuradas de acordo com o que foi definido em projeto. Estas fórmulas podem ser parametrizadas utilizando dados gerados automaticamente pelo software (como área e volume) e reconfigurados em caso de modificação ao longo do desenvolvimento do estudo.

No cálculo da massa dos **blocos cerâmicos/concreto** foram utilizados como referência dados obtidos do TCPO (2012), onde está registrada a quantidade de blocos por metro quadrado (12,5/m<sup>2</sup>) e a massa média de cada bloco utilizado. Para efeito de cálculo, foram consideradas todas as alvenarias estruturais. A **armadura** utilizada nas cintas de amarração e contravergas foram também especificadas de acordo com o SINAPI. Uma vez inseridas no modelo em metro linear (Duas barras por canaleta e cinta) e de acordo com as informações complementares retiradas do fabricante, foi possível parametrizar e obter a massa de aço utilizada. Para efeito de cálculo, foi considerado somente o vergalhão de maior bitola no cálculo ( $\varnothing=8$  mm).

No caso dos insumos como **areia, cal, brita e cimento**, baseados nos volumes de argamassa e graute calculados automaticamente, foram utilizados os traços (definidos de acordo com o SINAPI) e a massa específica de cada um, de forma a calcular a massa de cada material utilizado.

Para todos os materiais e insumos utilizados nos componentes da alvenaria estrutural e de vedação foram consideradas as **perdas**, embora os destinos dos resíduos da obra não serão computados neste estudo.

Como a execução da alvenaria estrutural e de vedação é ainda realizada de forma manual, foram consideradas como equipamentos no cálculo do **consumo de energia** somente as betoneiras utilizadas para a confecção das argamassas de assentamento e o graute, de acordo com as recomendações do SINAPI.

O **transporte de materiais até o canteiro de obras** é outro fator de contribuição relevante no estudo das emissões de kg de CO<sub>2</sub> na construção civil. Para o cálculo de quantas toneladas foram transportadas por quilômetro (t/km), foram utilizados dois critérios:

1. Levantamento e identificação dos fornecedores existentes no estado do Rio de Janeiro avaliado pelo Programa Setorial da Qualidade (PSQ), sendo utilizada a distância média entre os três mais próximos;
2. Caso não sejam identificados no PSQ (caso da areia e da brita), foram consideradas as áreas de extração/produção mais próximos da localização do empreendimento. As distâncias foram calculadas com o auxílio do Google Maps e restringem-se ao Estado do Rio de Janeiro. Ao final da modelagem em 3D da edificação e após a inserção de todos os dados relacionados à especificação técnica dos materiais (devidamente parametrizados em funções criadas de acordo com as informações necessárias à execução do estudo de ACV), são extraídos relatórios em formato de tabelas para fora do ambiente do *software* BIM, no caso o Autodesk Revit® 2017 (em arquivos com extensão .txt, que posteriormente serão transformados em .xls – Excel®), organizando as informações para que possam ser inseridas no software ACV (no caso o SimaPro® – versão 8.5.2) na etapa seguinte.

### **Resultados e Discussão – Modelagem em software associado ao BIM**

O uso do *software* BIM nesta etapa da pesquisa permitiu não só a modelagem em 3D da edificação, como também permitiu calcular as quantidades de cada material utilizado na construção da unidade. Através da possibilidade de configuração de funções (equações) baseadas em quantidades já calculadas automaticamente pelo programa (como área, volume), o *software* Autodesk Revit® 2017 permitiu que insumos não modelados também fossem calculados, tais como: o volume de argamassa de assentamento (em dois traços diferentes); a massa de insumos como cal hidratada, cimento, areia e brita; quilowatts (kWh) das betoneiras utilizadas para a produção mecânica de argamassa e graute; percentuais de perda de cada material; toneladas transportadas por quilômetro (tkm), medida padrão utilizada tanto no SimaPro® quanto no cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> utilizando dados de inventários nacionais, entre outras informações. Tais dados foram calculados através da utilização de fatores e referências retirados do SINAPI, porém poderiam ter sido utilizados dados originais do projeto. Outro ponto favorável é que as duas alternativas (bloco cerâmico e concreto) foram desenvolvidas em um único modelo, sendo suas informações configuradas e gerenciadas através de tabelas separadas, sem que os dados de cada opção fossem agrupados, o que poderia causar desorganização entre as informações de cada opção. Ressalta-se ainda que outras opções de sistema construtivo podem ser simuladas, como paredes de concreto moldado in loco (o *software* permite a extração do volume em metros cúbicos e o

cálculo da armadura em vergalhões de aço). As especificações técnicas do produto, como bitola, códigos, etc. também podem ser inseridas no modelo.

A realização da modelagem única foi possível, pois as alvenarias foram modeladas com uma família de paredes arquitetônicas, isto é, as alvenarias em si não foram modeladas como num projeto executivo, onde a composição no modelo poderia ser feita bloco a bloco. Neste caso, a inserção de dados do perfil ambiental de cada material poderia ser feita dentro de cada componente pelo responsável pelo modelo ou através de templates de fornecedores (massa, dimensões e código de fabricação). Vale ressaltar que o uso de software associado à plataforma BIM permite a interface com outros programas de simulação, como os de análise de desempenho térmico e eficiência energética, ponto favorável na realização de um estudo de ACV que englobe a fase operacional da edificação ao longo do seu ciclo de vida.

A criação de tags associados a cada elemento da construção (portas, paredes, pisos, etc.) permite a rastreabilidade das informações, auxiliando na checagem das especificações associadas. Em caso de alterações ao longo da dinâmica de desenvolvimento de um projeto preliminar, tais dados podem ser mais facilmente identificados e alterados de acordo com as modificações propostas. Outro ponto é que o *software* de modelagem 3D foi utilizado de forma isolada, isto é, a pesquisa foi desenvolvida sem que o projeto de arquitetura participasse das atividades interativas que a plataforma BIM oferece, e sem sofrer alterações em função da dinâmica com outras disciplinas.

Um ponto desfavorável é a exportação das tabelas para o ambiente externo ao *software* 3D, pois o arquivo é gerado com extensão .txt (bloco de notas) e não .xls (Excel), segmentando o procedimento. Após a extração das tabelas é necessário abrir o arquivo dentro do Excel® e configurá-lo de acordo com as unidades do projeto, processo que demanda tempo e possibilidade de erro ou perda de dados. Outra questão a ser levantada é a impossibilidade de criação direta de gráficos pelo *software*. Seria interessante a existência de uma função ou *plug-in* que pudesse realizar os gráficos ainda dentro do *software* de modelagem 3D. Embora os pontos abordados anteriormente não sejam complicados de serem executados no modelo, é necessário que o projetista/arquiteto/engenheiro tenha conhecimento e experiência de modelagem em 3D no *software* para que possa obter os melhores resultados, otimizando tempo e custos de retrabalho.

#### **Etapas 4 – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida**

Nesta seção é apresentada a aplicação das duas alternativas utilizadas para avaliação do impacto do ciclo de vida: a primeira com o suporte de um software ACV

(Simapro®), com o uso de métodos e banco de dados internacional (Ecoinvent 3.3) e a segunda opção, com o uso de dados de inventários de publicações de pesquisas no âmbito nacional. Ressalta-se que, embora tais métodos possuam unidades de medição diferentes (a primeira em CO<sub>2</sub> eq e a segunda em CO<sub>2</sub>), o objetivo da pesquisa é avaliar o desempenho dos materiais de forma qualitativa e não quantitativa, isto é, se por métodos diferentes os materiais apresentam o mesmo perfil em termos de potencial de impacto e não em valores numéricos.

#### **A. Modelagem no software SIMAPRO®**

Nesta etapa os dados levantados e quantificados na fase anterior são inseridos no *software* de ACV. A modelagem de dados no Simapro® (versão 8.5.2) foi realizada em duas fases:

- 1. Formação de conjuntos de itens que compõem o sistema construtivo de alvenaria estrutural e de vedação em ordens de grandeza** (incluindo o transporte dos materiais da composição), tendo como finalidade uma unidade padrão para posterior análise de sensibilidade. Foram compostos os seguintes conjuntos de dados no *software* SimaPro® (versão 8.5.2): 1 m<sup>3</sup> de argamassa de assentamento (nos dois traços utilizados), 1 m<sup>3</sup> graute, 1m<sup>2</sup> da alvenaria (blocos nas duas opções) e 1kg de armadura. O transporte dentro de cada conjunto é proporcional à quantidade de material utilizado na composição.
- 2. eleição das categorias e métodos a serem utilizados.** Optou-se pela categoria relacionada ao Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potencial*), sendo simulado por cinco métodos existentes no SimaPro®: três métodos europeus (Impact 2002+, CML-IA Baseline e EDIP 2003) e dois norte-americanos disponíveis no SimaPro® 8.5 – Versão Faculty.

#### **B. Inventários de dados da Literatura Nacional**

Depois de selecionados os inventários nacionais, os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> são inseridos no *software* de modelagem 3D através de funções baseadas em dados já calculados anteriormente pelo programa, como por exemplo, a massa (blocos, cimento, cal hidratada, areia, brita, etc.), assim como a energia elétrica consumida e o transporte de acordo com a distância do insumo. Porém, antes desta etapa, é necessário realizar a conversão das unidades dos fatores que serão utilizados para kgCO<sub>2</sub> /kg, evitando erros com relação à ordem de grandeza. Foram utilizados inventários de dois autores: Costa (2012) e Stachera Jr (2008). Como o último não apresentava valores de alguns materiais, dados do CBCS (2014) sobre blocos de



concreto e brita de Rossi (2013) foram utilizados. Para a energia elétrica no uso das betoneiras foi utilizado o fator médio de emissão de CO<sub>2</sub> do Sistema Interligado Nacional do Brasil (março/2018), isto é, média das emissões da geração considerando todas as usinas que estão operando e não somente aquelas que estejam funcionando na margem (MCTIC, 2018).

Com relação às emissões relacionadas ao transporte, foi utilizado o fator de consumo de combustível de 0,0196l/t. km, valor adotado por Costa (2012). Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela queima do diesel como combustível foi utilizado o fator de emissão de 2,603 kgCO<sub>2</sub>/l, dado obtido do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – ano-calendário 2005-2012 (MMA, 2013), também utilizado por Caldas e Sposto (2017). Com isso, multiplicado os valores, o fator inicial de emissão encontrado foi de 0,049 kgCO<sub>2</sub>/t.km. Contudo, este valor ainda não contempla o retorno dos caminhões as indústrias/fornecedores. Para isso, há três possibilidades para o estabelecimento da volta de tais veículos (CALDAS E SPOSTO, 2017): A. Caminhão voltar vazio; B. Caminhão voltar com uma fração da carga; C. Caminhão voltar com 100% da carga. Seguindo o critério adotado, em uma medida conservadora, adotou-se a opção b. Com os fatores devidamente convertidos, tais valores foram inseridos no modelo 3D através de equações desenvolvidas pelo projetista, sendo relacionadas à massa dos materiais, quilowatts ou toneladas por quilômetro transportado. Uma vez os dados inseridos e os cálculos realizados, as tabelas são exportadas para fora do ambiente do *software*, em extensão .txt (bloco de notas) e posteriormente convertidas em arquivos .xls (Excel) para a elaboração de gráficos que contribuirão para a avaliação dos dados gerados nesta etapa.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo como objetivo avaliar os potenciais impactos dos materiais utilizados na alvenaria estrutural da unidade habitacional e trazer a discussão para o ambiente colaborativo e de desenvolvimento preliminar de projetos, a pesquisa buscou questões significativas que viabilizam contribuições à tomada de decisão de projeto, tais como:

- a) Qual sistema construtivo possui maior potencial de impacto: Blocos cerâmicos ou blocos de concreto? Qual componente possui maior potencial de impacto na opção A (blocos cerâmicos)? E na opção B (blocos de concreto)?
- b) Qual bloco possui maior potencial de impacto?
- c) Qual insumo possui maior potencial de impacto na composição da argamassa 1:1:6? E na composição da argamassa 1:2:9?
- d) Qual insumo possui maior potencial de impacto na composição do graute?

- e) O que possui maior potencial de impacto na armadura: a produção do aço ou o seu transporte até o canteiro de obras?

Relacionadas às questões levantadas, observou-se dentre os resultados:

- 1. Escala de impacto** - O potencial de impacto do empreendimento (399 unidades) poderia alcançar valores entre 1.406 e 2.159 tCO<sub>2</sub> eq nos dados e métodos internacionais, enquanto que dados de inventários nacionais poderiam atingir entre 1.392 a 2.304 tCO<sub>2</sub> (correspondem somente à simulação das fases de pré-operação) – Tabelas 1, 2 e 3. A construção simultânea de diversos empreendimentos desse porte em todo o território brasileiro indica a uma escala maior de impacto quanto tratamos a construção civil no Brasil.

**Tabela 1 – Emissões totais de kg CO<sub>2</sub> eq./unidade habitacional em cada método**

Métodos (SimaPro®)	Alternativa A blocos cerâmicos (kgCO <sub>2</sub> )	Alternativa B blocos de concreto (kgCO <sub>2</sub> )
CML-IA	5.412,74	3.583,77
EDIP 2003	5.382,85	3.568,17
IMPACT 2002+	5.304,23	3.526,15
BEES+	5.366,27	3.558,78
TRACI 2.1	5.382,68	3.568,00

Fonte: Carvalho, 2018.

**Tabela 2 – Emissões totais de kg CO<sub>2</sub>/unidade habitacional para dados da literatura nacional**

Fontes/Autores	Alternativa A – blocos cerâmicos (kgCO <sub>2</sub> )	Alternativa B – blocos de concreto (kgCO <sub>2</sub> )
Costa (2012)	3.751,83	5.776,03
Stachera Júnior (2008) + ROSSI (2013) + CBCS (2014)	3.952,14	3.489,18

Fonte: Carvalho, 2018.

**Tabela 3 – Potencial de Impacto do Condomínio Vivenda dos Girassóis (399 unidades) – Comparação entre dados/ métodos Internacionais e dados da Literatura Nacional – tCO<sub>2</sub>eq/tCO<sub>2</sub>**

Fonte	Blocos cerâmicos	Blocos concreto
Dados/ Método Internacionais (SimaPro®) – tCO <sub>2</sub> eq	2.116 a 2.159	1.406 a 1430
Dados de Literatura Nacional – tCO <sub>2</sub>	1.497 a 1.577	1.392 a 2.304

Fonte: Elaborado pela Autora.

- 2. Comparação entre materiais com a mesma função** – A substituição dos blocos poderia gerar uma redução de 11,7% (STACHERA JR, 2008; ROSSI, 2013; CBCS, 2014) a 35% (COSTA, 2012) nas emissões de CO<sub>2</sub> – Tabela 4. Tais resultados devem ser ponderados uma vez que, enquanto a produção de blocos cerâmicos utiliza-se de secagem e queima das peças, os blocos de concretos passam por processo de secagem ao ar livre, embora utilizem materiais como o cimento (produto resultante de processo altamente emissor de CO<sub>2</sub> na indústria). A possibilidade comparação de materiais podem gerar *trade-offs*, isto é, a escolha de uma opção em detrimento de outra que traga maiores benefícios ambientais ao empreendimento.

**Tabela 4 – Blocos - Emissões totais de kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> para dados da literatura nacional**

Autor/Fonte	Blocos cerâmicos	Blocos concreto
COSTA (2012)	10,54	28,31
STACHERA JÚNIOR (2008) + CBCS (2014)	12,89	11,91

Fonte: Carvalho, 2018.

- 3. Avaliação e comparação com novos materiais** – Tendo em vista que os materiais analisados são amplamente usados na construção civil, os resultados obtidos podem ser utilizados como parâmetros para a escolha até mesmo de outras soluções mais sustentáveis e viáveis existentes no mercado.
- 4. Reprodução do método em outros materiais** – As atividades relatadas dentro da metodologia podem ser replicadas com outros materiais utilizados na construção civil, tais como pisos, tintas, placas de gesso, etc.
- 5. Estabilidade entre os métodos internacionais** – Embora sejam métodos com origens diferentes, os fatores de caracterização relacionados às Mudanças

Climáticas (GWP) são baseados no método proposto pelo IPCC nos métodos europeus, o que pode justificar a proximidade entre os resultados encontrados (estabilidade nos 176 resultados obtidos pelo uso do SimaPro®). Destaca-se também que, o método norte-americano BEES, elaborado especificamente para a construção civil e o TRACI, voltado para a realidade dos EUA, apresentaram também valores próximos aos métodos europeus (CML-IA Baseline, EDIP 2003 e IMPACT 2002+) – Tabela 1.

- 6. Uso de *Datasets* Internacionais** – Embora os *datasets* sejam globais (GLO/RoW) ou específicos (como no caso dos blocos cerâmicos, baseados na produção de países como Suíça, Alemanha e Áustria) e os métodos escolhidos tenham origens diferentes (Estados Unidos, Canadá, Suíça e Holanda), o método utilizado para o cálculo os valores obtidos nos diversos materiais tiveram pequenas variações, de no máximo 2%, demonstrando a robustez das análises realizadas pelo *software*. Outro ponto é a questão da temporalidade dos *datasets* utilizados. Embora a indicação da validade dos dados seja o ano de 2016, todas as informações estão válidas pelo mesmo período, exceto a armadura. O ideal é que tais dados possam ser ajustados à realidade nacional através da incorporação de informações coletadas diretamente na produção – Tabela 1.
- 7. Uso de Inventários Nacionais** – O mesmo não é observado entre dados de inventários nacionais, que apresentaram resultados com diferenças significativas (areia, brita, blocos e cimento), fato que pode ser explicado pelas diferentes origens dos dados que constituem os fatores, (informações locais ou até dados internacionais incorporados em sua composição, assim como o período em que foram coletados e disponibilizados nas publicações) – Tabela 4 (blocos) e Tabela 5 (areia, brita e cimento). Embora o cenário ideal seja a coleta de dados in loco pelos analistas, as publicações acadêmicas e de órgãos públicos podem auxiliar os projetistas a avaliar os materiais especificados através da contextualização quanto à localidade, temporalidade e tecnologia utilizadas.

**Tabela 5 – Comparação entre dados da literatura nacional – Emissões em kg CO<sub>2</sub>/kg dos componentes do graute – Traço 1:0,04:1,6:1,9**

Autor / Fonte	Areia	Brita	Cimento
COSTA (2012)	81,83	95,99	452,24
Stachera Júnior (2008) + Rossi (2013)	7,60	1,12	671,63

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2018.

8. **Resultados entre métodos de quantificação de CO<sub>2</sub> eq/ CO<sub>2</sub>** – Excetuando-se os blocos de cerâmica, concreto e a argamassa de traço 1:1:6, constatou-se que os resultados foram os mesmos nos outros materiais em diferentes métodos. Tal diferença pode ter origem na configuração e temporalidade dos dados, já que os *datasets* das emissões de CO<sub>2</sub> eq são internacionais (*software* específico para cálculo) enquanto que os inventários nacionais são resultado de métodos e pesquisas acadêmicas realizadas no Brasil. É necessária atenção às informações de produção existentes em cada inventário para que se possa avaliar se de fato aquelas atividades podem ser consideradas na produção dentro do processo de avaliação do sistema ou produto.
9. **Matriz energética** – Embora o consumo seja mínimo na alvenaria estrutural (produção das argamassas e graute), os resultados obtidos evidenciaram a baixa emissão de CO<sub>2</sub> na sua produção (energia hidráulica é predominante na produção de energia elétrica no Brasil). Vale destacar que tais emissões podem aumentar em períodos de baixa incidência de chuvas, com a necessidade de produção de energia através de termelétricas, o que impactaria diretamente no consumo de um empreendimento de grande porte.
10. **Identificação de hotspots** – A avaliação dos materiais que apresentaram maior potencial de impacto pode ser utilizada como indicador de melhorias de processo através da substituição de alguns insumos, como por exemplo, a cal e o cimento, incentivando o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a produção de materiais com menor potencial de impacto.
11. **Análise de substâncias** – Este tópico não foi abordado nesta pesquisa, porém outro fator de auxílio à tomada de decisão é análise do inventário de substâncias. A identificação das substâncias que mais impactariam na produção dos materiais e o seu meio de maior veículo (ar, água, solo) podem colaborar para discussão de alternativas ambientalmente mais adequadas na especificação técnica de determinado empreendimento.
12. **Atenção ao processo de produção dos materiais especificados** - As produções de cimento e cal demonstraram ser potencialmente mais impactantes que insumos como a areia e a brita, resultado esperado visto que ambas as produções envolvem diretamente processos em alto forno e consequentes altas emissões de CO<sub>2</sub>.
13. **Transporte e distribuição de materiais e insumos** – O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> eq. (auxílio do software de ACV e inventários nacionais) em cada opção de bloco viabilizou a identificação do percentual de participação de cada fornecedor (de acordo com a sua localização), proporcionando a análise do cenário de menor

impacto na fase de distribuição (mais próximo ao local do empreendimento), critério que poder ser incorporado como um subsídio decisivo para as especificações técnicas de projeto – Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 – Blocos Cerâmicos - Percentual de participação das emissões de CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>eq em cada fornecedor – Alternativas com auxílio do SimaPro® e Dados Nacionais (COSTA, 2012).**

Fornecedor	A (14 km)	B (108 km)	C (96 km)	D (117 km)	E (154 km)
SimaPro®	1%	7%	6%	7%	9%
COSTA (2012)	0,33%	2,5%	2,2%	2,7%	3,5%

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2018.

**Tabela 7 – Blocos de Concreto - Percentual de participação das emissões de CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>eq em cada fornecedor – Alternativas com auxílio do SimaPro® e Dados Nacionais (COSTA, 2012)**

Fornecedor	A (30 km)	B (45 km)	C (20 km)	D (72 km)	E (191 km)	F (47 km)
SimaPro®	6%	9%	4%	14%	29%	9%
COSTA (2012)	2,6%	3,9%	1,8%	6,1%	14,6%	4%

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2018

- 14. Análise de outras categorias de impacto** – É necessário destacar que tais análises são baseadas nos resultados identificados somente para a categoria de Mudanças climáticas (Potencial de Aquecimento Global – GWP). Porém outras categorias (Acidificação, Eutrofização, Depleção da Camada de Ozônio, etc.) podem e devem ser analisadas e consideradas de acordo com o objetivo e foco de preocupação.
- 15. Cenários Alternativos** – Novos cenários podem ser propostos modificando os dados escolhidos nas bases e publicações, assim como métodos e acréscimo de novas categorias para análise. Tais análises podem apresentar outros resultados que devem ser ponderados de acordo com os objetivos propostos na primeira etapa do estudo, dentro do contexto e realidade do local da obra, isto é, vislumbrando a escala (local ou global) dos potenciais impactos identificados.
- 16. Outras etapas do ciclo de vida** – Foram considerados estritamente os potenciais impactos relacionados à etapa pré-operacional, porém outros fatores podem ser considerados nas especificações de materiais e sistemas construtivos. É de extrema

relevância especificar avaliando o desempenho dos materiais em outras fases, incluindo não somente fatores relacionados à operação em si (B1, B6, B7), bem como a manutenção (B2), reparos (B3), substituição (B4) e possíveis reformas (B5) ao longo da vida útil da edificação. Outro ponto a ser destacado é a importância de a especificação considerar a durabilidade, antevendo a reposição dos materiais e as possíveis taxas de desperdício, questões a serem gerenciadas pela equipe de obra e manutenção da edificação. Outra etapa significativa é o fim de vida da edificação (C1-C4), onde o desmonte/demolição da edificação poderia gerar coprodutos a serem aproveitados em outras obras (reciclagem e reuso de materiais reutilizados na sua integralidade ou como insumo na produção de novas peças, argamassas, etc.), sendo considerados como benefícios somente nos novos ciclos de vida a serem integrados.

#### **Limitações Identificadas:**

- 1. Escassez de dataset específico pra realidade brasileira** – Exceto pela matriz energética, ainda são poucos os dados brasileiros disponíveis no Ecoinvent. Existe a possibilidade de inserção de dados no software Simapro®, porém é necessário configurar os fatores de caracterização de cada material, dado que precisa ser elaborado junto ao levantamento de dados.
- 2. Pequena adesão de fornecedores no mercado** – Outro ponto é a baixa adesão de indústrias em divulgar informações de seus produtos por questões de confidencialidade. Algumas empresas no Brasil já adotaram o uso de EPD® em alguns produtos (cimento, concreto, argamassas industrializadas, forros, feltros), mas o número é ainda baixo considerando as indústrias no país voltadas para a construção civil e o crescente desenvolvimento de projetos que visam à sustentabilidade de suas edificações.
- 3. Norma específica para ACV em edificações no Brasil** – A inexistência de uma norma específica para a aplicação da ACV adaptada as edificações no Brasil é outro fator fundamental para o uso da metodologia em projetos. Embora existam legislações europeias que sirvam de apoio ao desenvolvimento da ACV em construções, há diferenças substanciais entre mercados, tendo em vista que a Europa é pioneira no desenvolvimento da ACV desde a década de 1990.
- 4. Interoperabilidade entre softwares** – A crescente utilização da plataforma BIM no processo e execução de projetos traz à luz a necessidade do desenvolvimento de plug-ins que auxiliem na interoperabilidade de dados entre diferentes aplicativos e *softwares*, facilitando processos de automação e fluxo de trabalho, evitando possíveis erros ou perdas de informações ao longo do processo de desenvolvimento da ACV.



5. **Métodos internacionais** – Embora os softwares de ACV existentes no mercado possuam diversos métodos para cálculo e análise, ainda não há um método desenvolvido e consolidado especificamente para o Brasil, o que pode influenciar na análise de algumas categorias com foco em impactos locais (Por exemplo, a acidificação e eutrofização, onde os danos são diretamente ligados aos corpos hídricos locais, alterando a qualidade do ecossistema local).

#### **Recomendações:**

1. **Capacitação da equipe de projeto e dos tomadores de decisão** da empresa sobre a metodologia da ACV e suas possíveis aplicações, a fim de difundir a ferramenta e auxiliar a equipe sobre os sistemas e materiais que serão empregados no empreendimento;
2. **Uso de normas técnicas existentes como guia** – ABNT NBR 14040 e ABNT NBR 14044, na norma internacional europeia EN 15978 (CEN, 2011) (*Sustainability of Construction works – Assessment of Environmental Performance of Buildings – Calculation Method*);
3. **A experiência e conhecimento das ferramentas de apoio que serão utilizadas pela equipe de projeto**, tais como as ferramentas de modelagem 3D (*softwares e plug-ins*), a fim de minimizar os possíveis contratempos e retrabalhos;
4. **Busca pela utilização de EPD® e/ou declarações ambientais de fornecedores** que divulguem seus potenciais impactos durante a produção, incentivando a publicação de tais dados pelas indústrias, aumentando a competitividade no mercado;
5. **Uso de ferramentas para o gerenciamento das informações utilizadas ao longo do processo**, evitando a dispersão ou perda de dados importantes durante a conversão entre *softwares*;
6. **Definição dos requisitos da qualidade dos dados** através de análise criteriosa das informações e fontes que serão utilizados como base, como por exemplo, as coberturas temporais, geográficas e tecnológicas, observando possíveis discrepâncias que podem dificultar a avaliação dos materiais;
7. **Definição clara da fronteira do sistema a ser estudada** (fases da vida útil da edificação), unidade funcional e fluxos de referência, uma vez que podem ser redefinidos ao longo do desenvolvimento do estudo;
8. **Atenção à definição das funções e atividades existentes no sistema do produto** a fim de que os materiais avaliados comparativamente tenham a mesma equivalência funcional (Função, tempo de vida útil de cada material, fluxo de referência);

9. **Atenção à conversão das unidades a fim de evitar erros de ordem de grandeza nos resultados** – Ex.: Emissões de substância em gramas, quilos ou toneladas de CO<sub>2</sub>;
10. **Avaliação de outras emissões e/ou substâncias importantes que podem impactar em outros sistemas do meio ambiente**, tais como a acidificação, eutrofização, toxicidade e associação com outras diretrizes de pesquisa, como a avaliação do desempenho térmico na fase operacional da edificação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação das diretrizes da ACV associadas aos softwares BIM tem grande potencial como ferramenta para as tomadas de decisões em projeto. Embora ainda sejam identificadas algumas limitações, os benefícios verificados corroboram para que tal método possa ser amplamente utilizado por profissionais da área da Construção Civil. O BIM poderá colaborar com a especificação técnica, sendo utilizado diretamente nos modelos 3D. Embora existam plug-ins que visem facilitar a associação da especificação técnica à avaliação do desempenho da edificação (Tally®), seu uso ainda é restrito. O banco de dados associado e suas análises são voltados somente para pontuação dentro da certificação sustentável LEED. A introdução de uma normatização específica nacional, associada à expansão na adesão de fornecedores as Declarações Ambientais de Produtos e a exigência da ACV como requisito nas certificações poderá estimular o interesse do mercado da Construção Civil nos próximos anos.

## AGRADECIMENTOS

A toda equipe da GIHAB-RJ - Caixa Econômica Federal pelo apoio e suporte no acesso as informações utilizadas na pesquisa, e a ACV Brasil, pelo apoio na disponibilização do software SimaPro® na versão Faculty para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Norma NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura*. São Paulo, SP, 2009.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Norma NBR ISO 14044 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações*. São Paulo, 2009.
- ANAND, Chirjiv Kaur; AMOR, Ben. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable*. In: *Energy Reviews*, V. 67, p. 408-416, 2017.
- BARROS, Natália & SILVA, Vanessa. BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*. 7. 89. 10.20396/parc.v7i2.8645401, 2016.
- BLENGINI, Gian Andrea. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, V. 44, nº. 2, p. 319-330, 2009.

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; USÓN, Alfonso Aranda; SCARPELLINI, Sabina. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, V. 44, n°. 12, p. 2510- 2520, 2009.

BUILDINGSMART®. *Technical vision. About Open BIM*. Disponível em <<http://buildingsmart.org/standards/technical-vision>>. Acesso em: 16 mar. 2017

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL SINAPI – *Índices da construção civil*. Brasil, Governo Federal, 2010.

CALDAS, Lucas Rosse; SPOSTO, Rosa Maria. Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. In: *Ambiente Construído*, V. 17, n°. 4, p. 91-108, 2017.

CAMPOS, Patricia Farrielo de. *Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

CAMPOLINA, Juliana Mendes; SIGRIST, Carolina São Leandro; DA SILVA MORIS, Virgínia Aparecida. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. In: *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, V. 19, n°. 2, p. 735-750, 2015.

CARVALHO, Tathiana do Nascimento. *Diretrizes da Avaliação do Ciclo de Vida Aplicadas a Tomada de Decisões em Projeto*. Dissertação de Mestrado. PROARQ – FAU - UFRJ, 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. *Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto. Avaliação de Ciclo de Vida Modular. CBIC. 10 motivos para evoluir para o BIM*. Disponível em: [http://cbic.org.br/arquivos/CBIC\\_Disseminacao\\_BIM\\_parte\\_1.pdf](http://cbic.org.br/arquivos/CBIC_Disseminacao_BIM_parte_1.pdf) - Acesso em: 05-05-2017– Acesso em: 5.mai.2017

CHEHEBE, J. R. *Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1998.

CONTIER ARQUITETURA. Tutorial MCM Vem BIM, 2011. Disponível em: < <http://contier.com.br/downloads>> - Acesso em: 1.set. 2017.

COSTA, Bruno LC. Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil. Rio de Janeiro, V. 208, 2012.

CORREIA, Márcia; SALGADO, Monica. HQE and its brand new sustainable reference framework challenge: case study in FIOCRUZ, Brazil. *Materials, Technologies and Components for Sustainable Buildings*. CESB2016 Prague, p. 1036 – 1043.

DEGANI, Clarice Menezes; CARDOSO, Francisco Ferreira. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. *Núcleo de Pesquisa da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo*, p. 11, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN EN 15978: *sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings – calculation method*. Brussels, 2011.

EVANGELISTA, Patrícia Pereira de Abreu. *Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação na avaliação do ciclo de vida em Edificações Residenciais Brasileiras*. Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia, 2017.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. Análise de ciclo de vida dos produtos. In: *Gestão Ambiental*. Instituto Politécnico de Viseu, V. 80, 2004

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. *Ambiente construído*, V. 6, n°. 4, p. 51-81, 2006.

HEYWOOD, Huw. *101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético*. Gustavo Gili, 2012. IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Histórico da ACV. Disponível em: <http://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/> - Acesso em: 4.mar.2021.

IPCC, de 2014: *Alterações Climáticas 2014: Relatório Síntese*. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III do Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [Núcleo Writing Team, RK Pachauri e LA Meyer (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 151 p. Disponível em: < [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_All\\_Topics.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf)> - Acesso em: 21.dez.2016.

JOHN, Vanderley Moacyr; SILVA, VG da; AGOPYAN, Vahan. Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: Encontro Nacional, V. 2, p. 91-98, 2001.

MACHADO, Fernanda Almeida; SIMÕES, Carla Carvalho; MOREIRA, Lorena Claudia de Souza. *Potencialidades da integração do BIM ao método de Avaliação do Ciclo de Vida das edificações*. SIBRAGEC ELAGEC 2015.

MACHADO, Fernanda Almeida; DE SOUZA MOREIRA, Lorena Claudia. O Uso de Ferramentas BIM na Otimização do Método de Avaliação do Ciclo de Vida da Edificação. In: *Blucher Engineering Proceedings*, V. 2, nº. 2, p. 275-287, 2015.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis*. São Paulo: Edusp, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Acordo de Paris. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 1.jun.2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Construção Sustentável. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 9 mai.2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviário, 2013. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario\\_Ar/2014-05-27%20inventario%202013.pdf](http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario_Ar/2014-05-27%20inventario%202013.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES e COMUNICAÇÕES. Fatormédio – inventários corporativos. Disponível em: <[http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_corporativos.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html)> - Acesso em: 14.jun.2018

ROSSI, Efigênia. *Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil*: estudo de caso. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SALGADO, Mônica Santos; CHATELET, Alain; FERNANDEZ, Pierre. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. In: *Ambiente Construído*, V. 12, nº. 4, p. 81-99, 2012.

SEVERO, Elisabeth; SOUSA, Hipólito. Ferramentas Quantitativas e Qualitativas para Avaliação da Sustentabilidade das Edificações. In: *CIAIQ2016*, V. 4, 2016.

SEVERO, Elisabeth MF; SOUSA, Hipólito JC. Avaliando a sustentabilidade das edificações através de ferramentas qualitativas e quantitativas. In: *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, nº. 19, p. 01-14, 2016.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, DM de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: *Coletânea Habitare*, V. 7, p. 96-127, 2006.

STACHERA, J. R. T. Avaliação de Emissões de CO2 na Construção Civil: Um Estudo de Caso da Habitação de Interesse Social no Paraná. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. *Anais...* 2008.

ZOCHE, Lidiana. *Identificação das limitações da ACV sob a ótica de pesquisas acadêmicas*. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

---

# **Tecnologias digitais, pandemia e sustentabilidade nas “smart cities”**

Mônica Santos Salgado

---

**O**s avanços nas tecnologias da informação e comunicação têm propiciado mudanças em diferentes setores da economia. Particularmente na indústria da construção civil, tem destaque as possibilidades a serem exploradas no desenvolvimento dos projetos das edificações e cidades. O assunto tem suscitando interesse pela rapidez como se processa, e pela urgência na identificação dos seus principais impactos.

As discussões em torno ao tema foram intensificadas a partir do Fórum Econômico Mundial em Davos, que classificou a era como sendo a *Quarta Revolução Industrial*. De acordo com o relatório divulgado a partir daquele evento, os impactos na arquitetura e construção envolvem desde mudanças no emprego e na definição de competências e estratégias de trabalho, até a produção de energia verde e mudanças na gestão da construção. De acordo com o relatório, entre as consequências dessa revolução está a modernização das edificações e cidades, que passarão a incorporar as inovações propiciadas pelas novas tecnologias (WEF, 2016).

Entre as discussões está a produção de cidades inteligentes (*smart cities*) tendência que vem sendo adotada em diferentes países, algumas vezes com incentivos governamentais. Mas é preciso considerar as estratégias propostas pelas tecnologias digitais de forma alinhada com outras demandas crescentes – particularmente em relação às metas para o desenvolvimento sustentável.

Particularmente considerando o desempenho das edificações, as tecnologias digitais podem auxiliar enormemente o desenvolvimento de projetos com qualidade ambiental, com a possibilidade, entre várias alternativas, realizar simulações de

desempenho, ainda na fase de concepção. Além disso, as novas tecnologias permitem a racionalização da construção com a identificação antecipada das incompatibilidades entre as diferentes especialidades de projeto, o que resulta na redução do retrabalho e do desperdício de materiais e tempo de construção. Mas o desenvolvimento sustentável vai além dos aspectos ambientais, uma vez que se baseia no tripé ambiental-econômico-social e, dessa forma, há que se considerar o alinhamento das possibilidades oferecidas pela transformação digital aos três aspectos da sustentabilidade.

A pandemia da COVID 19 em 2020 colocou em xeque a resiliência das cidades e sua capacidade de permanecer em funcionamento mesmo com a maior parte da população em isolamento social. O contexto desafiador colocou à prova as possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais, e evidenciou as fragilidades do modelo adotado na produção de edificações e cidades, uma vez que os usos dos espaços construídos (públicos e privados) foram impactados pela pandemia e alterados em relação aos usos originais.

Esse capítulo apresenta os resultados de dois estudos que tem como objetivo apresentar estratégias a serem consideradas na produção de edificações e cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes. O primeiro estudo evidencia as soluções apresentadas pelos pesquisadores que participaram da Conferência Internacional sobre Sustentabilidade em Hong Kong (WSBE-2017) com ênfase nas estratégias inovadoras a serem adotadas no desenvolvimento de projetos. O segundo estudo confronta as tendências evidenciadas pelas pesquisas sobre o tema, discutidas no evento de 2017, com as demandas evidenciadas durante o pior período da pandemia conforme ações adotadas pelo governo local de uma cidade considerada “inteligente”.

## **CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

A expressão “cidade inteligente” tem sido adotada para designar dois tipos de “domínios”. O domínio “rígido” sugere sua ligação a aspectos como redes de energia de edifícios, recursos naturais, gerenciamento de água, gerenciamento de resíduos, mobilidade e logística, onde as tecnologias de informação e comunicação podem desempenhar um papel decisivo na operação dos sistemas (NEIROTTI *et al.*, 2014). Por outro lado, o termo também foi aplicado a “domínios suaves”, como educação, cultura, inovações políticas, inclusão social e governo.

Entretanto, a simples incorporação de tecnologias no dia-a-dia da sociedade não será suficiente para garantir que a cidade funcione de maneira “smart”. Woods (2013 *apud* ALBINO *et al.*, 2015) salientam que o rótulo “inteligente” implica a capacidade de apoiar a aprendizagem, o desenvolvimento tecnológico e a inovação nas cidades. Nesse sentido, toda cidade digital não é necessariamente “inteligente”, mas toda cidade “inteligente”



tem componentes digitais, embora o componente “pessoas” ainda não esteja incluído em uma cidade “inteligente”, como em uma cidade “smart”.

Liugailaitė-Radzvickienė e Jucevicius (2014) listaram outras implicações para uma cidade inteligente (“smart”), que deve envolver a disseminação do conhecimento sobre as possibilidades oferecidas aos cidadãos (ensino remoto) e ao mesmo tempo avaliar os benefícios trazidos pelos vetores de transformação, reavaliando constantemente os impactos da adoção.

Existem críticas à excessiva visão “tecnocentrista” atribuída ao conceito de “cidades inteligentes”. Os autores destacam que uma cidade somente será “inteligente” se for também “sustentável”. Nesta abordagem, tem destaque o trabalho desenvolvido por Yigitcanlar *et al.* (2019) que, além de criticar a visão “tecnocêntrica”, também destaca a importância de relacionar as estratégias a serem adotadas no planejamento e desenvolvimento das cidades inteligentes às 17 metas definidas pelas Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável.

### **“Smart cities” como um fenômeno mundial**

As cidades inteligentes são um fenômeno global, uma vez que estão sendo construídas em todo o mundo, e também podem ser consideradas como um fenômeno local, pois cada cidade é única e possui problemas diferentes que demandam soluções específicas (Dameri *et al.*, 2019). Os autores defendem quatro dimensões a serem consideradas pelos governos das cidades inteligentes: Localização – o território da cidade; Infraestrutura – as instalações de suporte à vida urbana; Pessoas – os cidadãos e também as populações que trabalham, estudam e visitam a cidade; e Governo – incluindo a administração pública.

Gassman *et al.* (2019) estabeleceram seis dimensões que incorporam esses aspectos de forma diferenciada considerando: Ambiente Inteligente – minimizando a pegada ecológica de uma cidade sem comprometer a qualidade de vida; Vida inteligente – aumentar a qualidade de vida; Economia inteligente – aumentando a competitividade da cidade; Mobilidade inteligente – melhorando os serviços de transporte e a mobilidade urbana; Governo Inteligente – considerando novos conceitos para o processo de tomada de decisão, participação e governança urbana; e Pessoas Inteligentes – melhorando a capacidade dos indivíduos de desenvolver todo o seu potencial, permitindo um alto nível de engajamento e participação social.

As discussões sobre “o que esperar de uma cidade inteligente” resultam em conferências e reuniões que destacam pelo menos cinco aspectos (vetores) para uma cidade inteligente: Transformação digital, Mudanças no ambiente urbano, Melhoria na mobilidade urbana, Governança e finanças; e Inclusão social (cidades inclusivas

e compartilhadas). A figura 1 relacionada as cinco tendências com as metas para o desenvolvimento sustentável estabelecidas pelas Nações Unidas. Observa-se que todas as 17 metas podem se beneficiar dos cinco principais vetores de uma cidade inteligente.

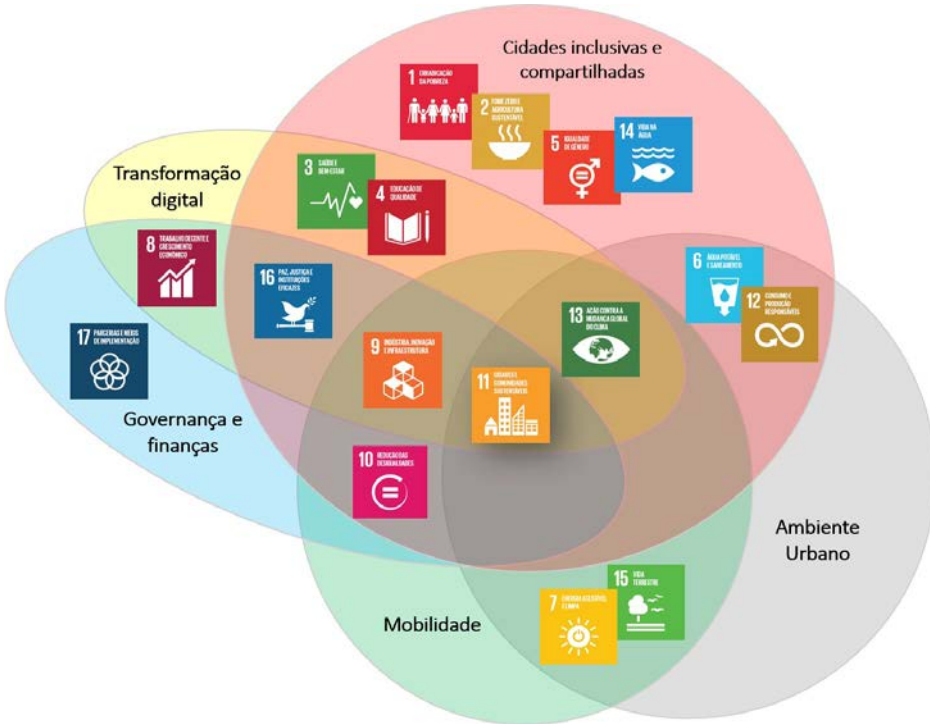


Figura 1 – Relacionando os vetores das cidades “smart” com os ODS.

Fonte: Elaborado pela Autora.

Entre as normas que apresentam indicadores a serem considerados na a promoção de cidades e comunidades sustentáveis, inteligentes e resilientes, destacam-se as três normas ISO – *International Standartization Organization* – sendo duas já com suas versões traduzidas para o português:

NBR ISO 37120:2021 – Desenvolvimento sustentável de comunidades — Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida;

NBR ISO 37122: 2020 – Cidades e comunidades sustentáveis — Indicadores para cidades inteligentes;

NBR ISO 37123: 2021 – Cidades e comunidades sustentáveis - indicadores para cidades resilientes.

As três normas consideram o mesmo grupo de 19 aspectos que geram indicadores, quais sejam: Economia, educação, energia, meio ambiente e mudanças climáticas,

finanças, governança, saúde, habitação, população e condições sociais, lazer, segurança, resíduos sólidos, esporte e cultura, telecomunicação, transporte, agricultura local/urbana, planejamento urbano, desperdício de água e provisão de água.

Embora os aspectos sejam os mesmos para as três normas, os números e tipos de indicadores por aspecto variam dependendo do escopo, com destaque para a questão na mobilidade na norma ISO 37122 referente às cidades inteligentes – indicando a importância do transporte público para o funcionamento das cidades.

Além das normas, o interesse no tema levou ao estabelecimento de vários sistemas de classificação das cidades inteligentes, e as nações têm investido na melhoria das condições e serviços oferecidos aos cidadãos de forma a garantir sua constante evolução. O *ranking* das *smart cities* 2020 indica Singapura na primeira classificação, seguida por (2°) Helsinque e (3°) Zurique. O esforço e investimento em ações visando a melhoria das condições das cidades se refletem na avaliação positiva recebida por algumas localidades. É o caso da cidade de Nova York, que subiu 28 posições em relação ao *ranking* de 2019, e em 2020 está classificada na 10° posição. As cidades da América do Sul ocupam as últimas posições, sendo (88°) Buenos Aires, caindo uma posição em relação ao *ranking* de 2019, e (91°) Santiago do Chile, caindo cinco posições. As únicas cidades brasileiras indicadas nesta lista são (100°) São Paulo, uma queda de 10 posições em relação ao *ranking* anterior, e (102°) Rio de Janeiro, também indicando uma queda de 6 posições.

Cabe lembrar que este não é o único mecanismo de avaliação e classificação das *smart cities*. Existem outras classificações baseadas em outros critérios, como a *TOP 50 Smart City Government Ranking* que na avaliação de 2019 classificou Londres na primeira colocação.

### **Definição de cidade inteligente e sustentável**

No Brasil, observa-se a difusão de conceitos equivocados uma vez que alguns empreendimentos tem procurado incorporar soluções com base nas tecnologias digitais para agregar valor, e se auto-intitulam como “cidades inteligentes”. Na verdade, tais empreendimentos são condomínios/bairros onde “soluções inteligentes” são oferecidas aos moradores. Entretanto, esses condomínios/bairros dependem da infraestrutura urbana da localidade onde se inserem (abastecimento de água, saneamento básico, fornecimento de energia, etc) e não possuem o *status* de “cidade”

Como no Brasil o processo de criação de novas cidades é longo, e demanda o cumprimento de um conjunto de exigências definidas pela legislação brasileira, não há como “partir do zero” na produção de uma cidade inteligente. O Brasil possui em 2020, 5.570 cidades, e caberá aos governantes destas o interesse na elaboração de

planos estratégicos visando ao atendimento dos indicadores identificados nas normas, que qualificam as cidades como “inteligentes”.

A visão mais abrangente de uma cidade inteligente e sustentável foi apresentada pelas Nações Unidas (2015, p. 3, tradução nossa):

Uma cidade inteligente e sustentável é uma cidade inovadora que usa tecnologias de informação e comunicação (TICs) e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência da operação e serviços urbanos e a competitividade, garantindo ao mesmo tempo que atenda às necessidades das gerações presentes e futuras no que diz respeito aos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais.

Acrescento que a transformação que leva uma cidade a ser identificada como “smart” considera as características e demandas dos cidadãos, incorporando soluções inteligentes que trazem respostas às demandas específicas de cada cidade. Daí a diferença entre uma “smart city” e uma “intelligent city” (na tradução para o português não há diferença), pois a simples incorporação de tecnologias digitais não será suficiente para garantir que uma cidade funcione de maneira “smart”. Nesse sentido, toda cidade digital não é necessariamente “smart”, mas toda cidade “inteligente” tem componentes digitais.

Ghaffarianhoseini *et al.* (2018) indicam o século XXI como o momento para uma transição radical da sustentabilidade desde “intelligent cities” para as “smart cities”. Segundo os autores, prédios e cidades precisam ser muito mais do que inteligentes ou “smart”. Nesse contexto, a agenda dos arquitetos deve priorizar a criação de melhores ambientes para a vida das pessoas, independentemente de como sejam identificadas. Nesse sentido, entende-se que o aspecto social da sustentabilidade pode trazer “inteligência” para as cidades.

## **A ERA PÓS-CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS**

A sustentabilidade é baseada em um tripé que inclui aspectos ambientais, econômicos e sociais. Dessa forma, é importante considerar todos os três aspectos igualmente para equilibrar esforços para a construção de cidades inteligentes e sustentáveis.

Autores como Yang e Rajabifard (2020) reconhecem a indissocialidade das 17 metas para o desenvolvimento sustentável, mas sugerem uma organização em três níveis: metas básicas, metas intermediárias e metas de alto nível (que dependem fortemente da consecução das metas básicas e intermediárias). A figura 2 apresenta uma adaptação da proposta apresentada pelos autores. A principal mudança em relação à proposta original dos autores, refere-se ao *status* atribuído à meta 13, que trata da proteção ao

clima. Na visão dos autores, esta meta deveria ser considerada como “meta de alta complexidade”, com forte dependência do atendimento de todas as demais metas. No entanto, entende-se que deva ser considerada como uma “meta básica”, uma vez que o atendimento a todas as metas deve garantir a proteção ao meio ambiente e o combate às mudanças climáticas.



Figura 2 – Classificação das metas para o desenvolvimento sustentável.  
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Yang and Rajabifard, 2020.

Na indústria da construção civil, pode-se considerar a adoção de sistemas de classificação ambiental como o primeiro passo para a construção sustentável. Entretanto, a possibilidade de facilitar a obtenção “certificação verde” (conforme orientação dada por alguns sistemas de avaliação ambiental) revelou-se pernicioso, pois induziu à busca da maneira mais rápida de obter o “selo verde”, ao invés de orientar a busca pelas soluções com alta qualidade ambiental.

Mas as iniciativas em benefício à construção sustentável vão além das propostas dos sistemas de certificação, uma vez que o foco destes métodos ainda está na questão ambiental, com poucos requisitos voltados à promoção da sustentabilidade econômica e social.

E foi com o objetivo de identificar novas tendências no atendimento a todos os aspectos que compõem o tripé da sustentabilidade, que realizou-se uma pesquisa bibliométrica nos anais do evento internacional *World Sustainable Built Environment Conference*, realizado na cidade de Hong Kong. Este evento foi promovido pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Building construction*) associado às Nações Unidas e ocorreu em 2017.

Pesquisadores de todo o mundo participaram do evento e apresentaram suas experiências, pesquisas e proposições relacionadas as inovações em construção

sustentável, discutindo os próximos passos visando o cumprimento da agenda ambiental. A conferência ocorreu em três dias, e contou com a participação de aproximadamente 1.800 profissionais de 57 países e regiões<sup>1</sup>.

Com o objetivo de identificar estratégias inovadoras a serem adotadas no desenvolvimento de projetos visando à produção de edificações e cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes, realizou-se uma revisão sistemática dos artigos publicados nos anais do WSBE 2017. Entre as ideias compartilhadas durante a conferência, vale destacar algumas tendências relacionadas ao processo de projeto, entre elas: **design biofílico**, **design regenerativo** e **design responsivo**. A Tabela 1 apresenta os 7 trabalhos que trataram desses temas.

**Tabela 1 – Artigos WSBE 2017 relacionados ao projeto regenerativo, responsivo e biofílico**

Autores	Foco da pesquisa
CALLAGHAN, Shauna MALLORY-HILL	Pesquisas sugerem que a exposição à natureza atenua os estímulos de estresse e, portanto, tem efeitos restauradores na memória e atenção, resultando em benefícios de saúde, bem-estar e produtividade. Este artigo resume as conclusões de uma pesquisa de 2015 e reúne informações extraídas das neurociências e da psicologia ambiental.
WANG Hong, LIN Han, TONG Yun-on	Para promover o conceito de estilo de vida saudável através do exercício entre a comunidade local, o Projeto “Community Active” propõe o desenvolvimento de ambientes que provoquem a curiosidade e interesse dos cidadãos em explorar o espaço ao redor do bairro, visando a melhoria da saúde e bem-estar do grupo social.
Kristin BARBEY	O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um Conceito Espacial Integrativo em direção a uma Metrópole 2050 orientada para a preservação da natureza e “amiga do clima”, de fora a identificar o melhor lugar para implementar, de forma mais eficiente, as diferentes medidas de proteção e adaptação climática no contexto urbano e regional.
Dominique HES, André STEPHAN, Sareh MOOSAVI	Este artigo apresenta um estudo de caso num projeto desenvolvido para uma área de 680 hectares em Gippsland, no Sudeste da Austrália, onde os autores analisam de que forma os princípios do projeto regenerativo podem afetar o processo de decisão projetual desde a fase de concepção.
Mary CHAN	Embora os seres humanos não possam controlar os fenômenos naturais, certamente podem administrar o ambiente criado pelo homem de forma a reduzir o impacto dos efeitos causados por eventos inesperados. Usando estudos de caso, este artigo apresenta exemplos de bairros e cidades em vários países onde a sustentabilidade pode ser alcançada através do uso de design responsivo, reduzindo a devastação que ocorre em consequência dos eventos naturais (terremotos, inundações etc.).

<sup>1</sup> Maiores informações sobre o evento podem ser obtidas no website: <https://wsbe17hongkong.hk/>

Wilson YIK, Dicken POON, Matthew LEE, Ivy S. W. LEE	Este artigo examina os fundamentos da sustentabilidade, baseando-se em um conjunto de informações que consideram os princípios de design ecológico e regenerativo, e as teorias estabelecidas sobre o tema.
CHANG Kuei-feng, LEE Ju-yii, NI Kuo-chun, PU Po-yen	Essa pesquisa considera a história, cultura, indústria, ecologia e comunidade das bacias do rio Gaoping para a promoção de uma vivência ecológica e a criação de uma rede comunitária de gestão autônoma sustentável.

Fonte: SALGADO, 2019.

Segundo Callaghan & Mallory-Hill (2017), o **design biofílico** pode ser definido como um design baseado na natureza. É possível diferenciar entre três tipos de exposição à natureza: experiência biofílica direta (plantas, madeiras e jardins), experiência biofílica indireta (vasos de plantas) e simbólica representada em motivos naturais. O principal objetivo é maximizar os benefícios de saúde para os ocupantes, tanto psicologicamente quanto fisicamente.

O segundo conceito está relacionado ao **design regenerativo**, que, como mencionado por Cole (2016), ganhará força na próxima década como uma abordagem necessária às estratégias de construção ecológica. A ideia por trás da expressão “design regenerativo” considera a possibilidade de os prédios se estenderem além de seu domínio físico, com capacidade de adaptação, evolução e promoção da diversidade da vida dentro das cidades. Mang & Reed (2012) definem design regenerativo como a reconexão de aspirações e atividades humanas com a evolução dos sistemas naturais - essencialmente co-evolução.

Chan (2017) discute o terceiro conceito: **design responsivo**. Trata-se de abordagem inovadora para criar bairros e cidades projetadas de forma a evitar as consequências devastadoras dos eventos naturais. O autor defende a ideia de um processo de projeto que considere as situações críticas de desempenho, dependendo da localização da edificação. Se esta prática fosse incorporada por arquitetos, os cidadãos teriam maior capacidade de se recuperar de um evento da natureza como terremoto, furacão etc.

## CIDADES INTELIGENTES E O DESAFIO DA PANDEMIA: ESTUDO DE CASO EM NOVA YORK

Ao assumir que uma cidade inteligente deve incorporar soluções voltadas ao atendimento das metas do desenvolvimento sustentável, entende-se que os vetores de expansão das cidades devem ter como base as metas estabelecidas pelas Nações Unidas.

As discussões sobre sustentabilidade e tecnologias digitais nas cidades foi interrompida pela pandemia do coronavírus. Segundo a Organização Mundial da Saúde, o primeiro relato de uma nova doença ocorreu em 31 de dezembro de 2019, na cidade



de Wuhan (WUHAN, 2020). As informações foram de “casos de pneumonia de etiologia desconhecida”. A doença rapidamente se espalhou pelo mundo, levando a Organização Mundial de Saúde declarar a “pandemia” em 11 de Março. A cidade mais afetada em todo o planeta foi Nova York, que no auge da doença chegou a registrar a marca de 500 óbitos diários (dados *The New York Times e Press Release Gov. Andrew Cuomo*).

A disseminação da COVID-19 não ocorreu de forma homogênea no Estado de Nova York. A ocorrência entre as cidades foi discrepante, com a Cidade de Nova York concentrando mais da metade de todos os casos. Como Nova York é considerada uma “cidade inteligente” por alguns sistemas de classificação (por exemplo, *Smart City Index 2020, Top 50 Smart Cities Government*), vale a pena analisar as ações adotadas pelo governo local para orientar os cidadãos durante a pandemia, a fim de identificar as prioridades. Também é interessante observar a relação entre as iniciativas do governo local e as metas de desenvolvimento sustentável, para inferir quais metas são prioritárias em um cenário desafiador.

### **Primeiros casos na cidade de Nova York e desdobramentos**

O primeiro caso registrado de coronavírus na cidade de Nova York foi de uma mulher que veio do Irã em fevereiro. Uma semana depois, em 1º de março, ela testou positivo para coronavírus. Em 13 de março o Governo Federal dos Estados Unidos declarou “estado de emergência”. O teste em massa foi iniciado e a identificação sobre o número de infectados aumentou rapidamente.

Desde os primeiros dias da pandemia (a partir do registro do primeiro caso e o início da testagem em massa) a Cidade de Nova York apresentou números elevados e até setembro de 2020 a cidade mantinha o triste status de ser a mais afetada do mundo. Mesmo no território norte-americano, onde outros Estados (Flórida, Califórnia, Texas) chegaram a ultrapassar o número de ocorrências do Estado de Nova York, não há registro de nenhuma outra cidade com números mais elevados do que Nova York.

No pior período da primeira fase da pandemia, registraram-se mais de 4.000 casos diários só na cidade. O Gráfico 1 ilustra os números de casos no Estado e na Cidade de Nova York desde o início da pandemia até setembro de 2020, com destaque para o período entre 12 de Março até 30 de abril.

Dada a emergência da situação, em 23 de março, o Governador declarou o Estado de Nova York em PAUSA e estabeleceu uma série de restrições, tais como: 100% da força de trabalho deve ficar em casa, excluindo serviços essenciais.

O prefeito de Nova York imediatamente cancelou as aulas e fechou as escolas transferindo o ensino para o meio remoto, e passaram a ser adotadas medidas visando o controle da doença, mas também o suporte às pessoas visando a garantia da vida e da ordem.

As medidas adotadas pelo governo estadual e municipal foram divulgadas pela televisão, jornais, sites, blogs e também por meio de mensagens enviadas pelas mídias sociais (Facebook, Instagram, Twitter).(Figura 3)

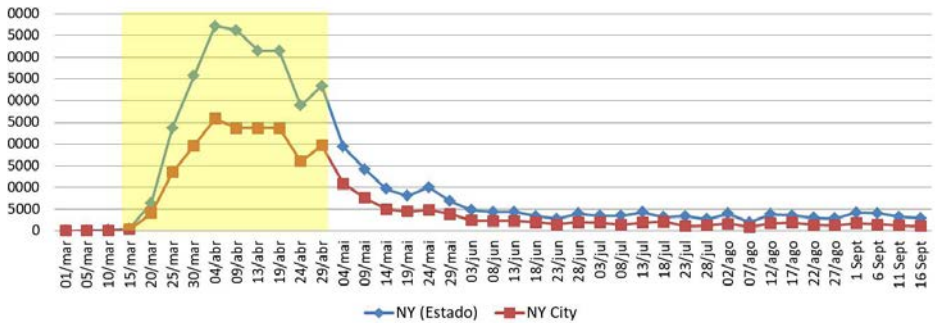


Gráfico 1 – Casos COVID 19 “primeira onda”: Cidade de Nova York City x Estado de Nova York. Fonte: Dados obtidos junto ao New York Times e Gov. Cuomo Press Release.



Figura 3 – Informações veiculadas pelas redes sociais.

Em complementação às informações publicadas no site oficial da cidade (Notify NYC), durante a pandemia, foi criado um serviço de mensagem de texto (SMS) exclusivamente para atualizar os cidadãos sobre a COVID-19. Através do celular, os nova-iorquinos que tivessem interesse poderiam registrar seus números passando a receber por SMS atualizações relacionadas à pandemia.

Considera-se o sistema por SMS especial, uma vez que independe do sinal de internet, e também ocorre de forma independente de qualquer ação específica (como, por exemplo, acessar um site ou aplicativo). A única ação facultada aos cidadãos foi o registro do número de celular no sistema.

Também foram enviadas mensagens que tinham como título “Imminent Alert” a todos os celulares ativos na região da cidade de Nova York em seus cinco bairros (Manhattan, Brooklyn, Bronx, Queens e Staten Island), independentemente do

cadastro dos aparelhos. Os celulares recebiam avisos do CDC (Centro de Controle e prevenção de Doenças dos Estados Unidos) para que os viajantes ficassem atentos aos sintomas da COVID, mesmo para aqueles números não registrados especificamente no sistema de alertas ativado na cidade.

Este capítulo registra, portanto, a experiência de viver numa cidade inteligente durante uma pandemia. Cabe acrescentar que a coleta dos dados apresentados a seguir só foi possível pela vivência da pesquisadora na Cidade de Nova York durante o pior período da pandemia, dada a impossibilidade de retornar ao Brasil.

### Análise das ações governamentais sob a ótica do cidadão

O Gráfico 2 ilustra a distribuição das mensagens durante o período em destaque. Para esta pesquisa, todas as mensagens foram mapeadas e analisadas quanto ao conteúdo da informação.

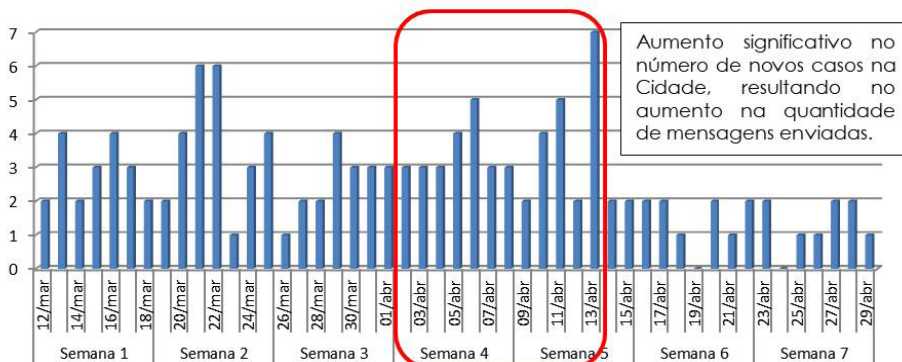


Gráfico 2 – Frequência e distribuição das mensagens,  
Fonte: Elaborado pela Autora.

Essa análise ocorreu em quatro etapas:

- [1] identificação de mensagens semelhantes, verificando quais foram enviadas repetidamente;
- [2] definição das “grupos” de acordo com o conteúdo das mensagens;
- [3] agrupamento das mensagens por afinidade; e
- [4] correlação entre as mensagens e os 17 ODS’s definidos pelas Nações Unidas.

Com o objetivo de analisar as políticas adotadas para combater o COVID 19 e suas consequências na vida dos nova-iorquinos, esta pesquisa foi conduzida da seguinte forma:

- registrar mensagens recebidas por SMS;
- analisar o conteúdo de cada uma;

- identificar semelhanças entre esses conteúdos e definir categorias para as mensagens;
- agrupar categorias de acordo com a afinidade de seu conteúdo;
- analisar a distribuição e frequência de cada categoria durante o tempo (particularmente durante o pior período de pandemia);
- relacionar essas mensagens e iniciativas governamentais a 17 ODS;
- total de mensagens durante o período crítico: 133.

A partir da análise das mensagens enviadas por SMS desde a criação do canal (12 de março) até o final de abril, foi possível identificar oito grupos de mensagens conforme apresentado na Tabela 2, que também informa o percentual de mensagens enviadas no período por grupo. Os resultados indicam as fragilidades observadas durante a pandemia e o aumento de alguns problemas não necessariamente relacionados à pandemia, mas que aumentaram devido às restrições estabelecidas como, por exemplo, a necessidade de apoio às vítimas de violência doméstica, uma vez que a quarentena levou ao aumento no número de casos.

Tabela 2 – **Proporção de mensagens em cada grupo**

Percentual	Grupo
35%	<b>Grupo 1 - informações médicas sobre a COVID:</b> informações sobre onde a população pode encontrar ajuda/fazer o teste e dados relacionados aos procedimentos para evitar a propagação e manter a segurança.
5%	<b>Grupo 2 - informações sobre escolas e ensino remoto:</b> Mensagens direcionadas aos alunos e pais informando sobre o fechamento das escolas e também onde os alunos poderiam obter o equipamento para aprendizado remoto.
9%	<b>Grupo 3 - informações sobre refeições/alimentos:</b> como muitos estudantes realizam refeições na escola foi necessário estabelecer um esquema para dar continuidade à este suporte, que depois foi estendido a todos os cidadãos.
5%	<b>Grupo 4 - controle de preços:</b> relacionada à proteção contra o aumento abusivo dos preços de determinados produtos e alimentos;
8%	<b>Grupo 5 - suporte às pequenas empresas e trabalhadores:</b> informações dirigidas aos pequenos empresários sobre suporte financeiro, e oportunidades de trabalho, suporte também aos trabalhadores afetados pela pandemia.
8%	<b>Grupo 6 - mensagens motivacionais:</b> alternativas para reduzir o estresse através dos canais de comunicação com profissionais para apoio psicológico.
5%	<b>Grupo 7 - apoio às vítimas de violência doméstica:</b> com referências de números de telefone e sites da Internet.
25%	<b>Grupo 8 - informações gerais:</b> dados sobre regras de estacionamento, pagamento de impostos entre outros.

A análise revelou que as mensagens enviadas por SMS não encerravam nelas mesmas, pois tinham o objetivo de informar os cidadãos sobre números de telefone e sítios da internet onde os dados relativos a cada assunto podiam ser mais bem explorados. Nesse sentido, a pesquisa mostrou que essas mensagens SMS sintetizam todas as informações sobre as ações governamentais em meio ao COVID 19, com o objetivo de orientar e facilitar a vida dos nova-iorquinos no pior período da pandemia.

As figuras 4, 5, 6 e 7 ilustram algumas sequências de mensagens enviadas relacionadas a temas específicos como: funcionamento das escolas e ensino remoto, combate à fome, mensagens motivacionais e suporte às pequenas empresas e trabalhadores.

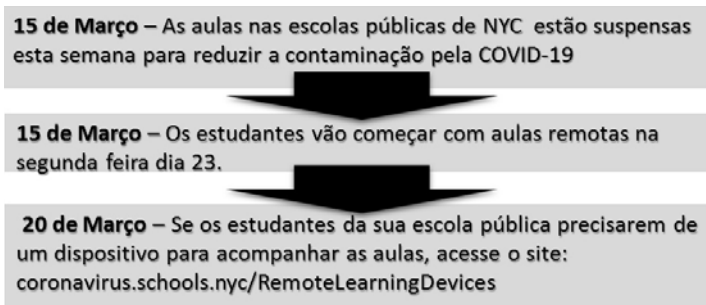


Figura 4 – Mensagens sobre escolas e ensino remoto.

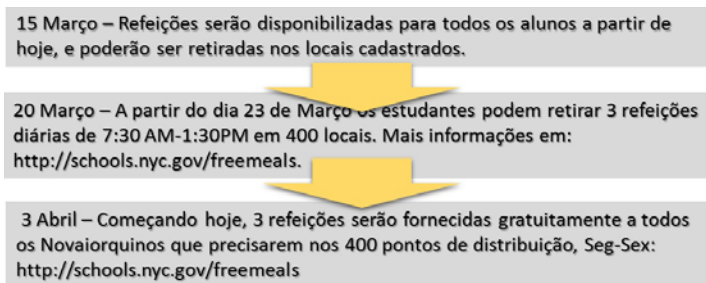


Figura 5 – Mensagens sobre alimentação.

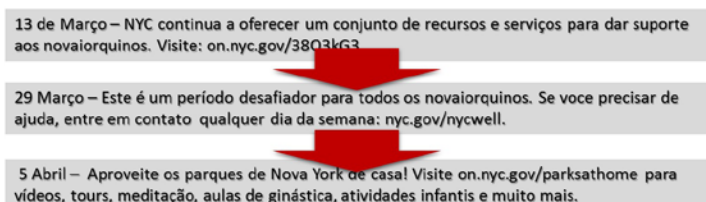


Figura 6 – Mensagens motivacionais.

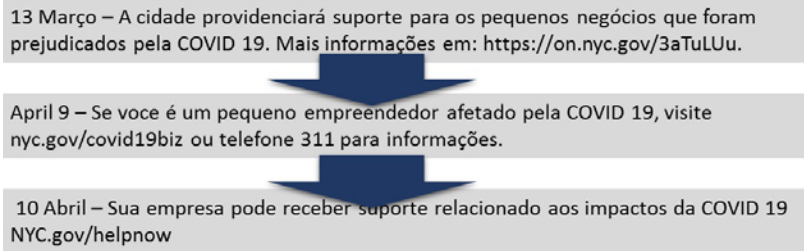


Figura 7 – Mensagens sobre o suporte às empresas.

A análise das mensagens SMS permitiu também relacionar cada grupo de mensagens a um ou mais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Esta análise teve como objetivo identificar quais aspectos ficaram mais frágeis durante a pandemia e como uma cidade inteligente responde ao desafio de uma pandemia.

Observou-se uma estreita relação entre as ações adotadas e as metas consideradas “básicas”, quais sejam:

Meta 1 – Combate à pobreza

Meta 2 – Combate à fome;

Meta 3 – Garantia de vida saudável;

Meta 4 – Acesso à educação;

Meta 5 – Igualdade de gênero e proteção às mulheres;

Meta 8 – Crescimento econômico (revelando a preocupação com o período pós-pandemia)

Os resultados desta análise são ilustrados no Gráfico 3. Nesta análise, algumas mensagens foram consideradas duas vezes, dada a afinidade de seu conteúdo com duas metas para o desenvolvimento sustentável. Por exemplo, as mensagens de apoio às vítimas de violência doméstica, estão diretamente relacionadas com o objetivo 3 - referente à saúde e bem estar das pessoas e objetivo 5 - relacionado ao combate à discriminação por gênero.

As informações contidas nas mensagens enviadas por SMS se por um lado revelam as fragilidades identificadas durante a pandemia, por outro indicam o preparo da cidade para responder às demandas, com ênfase nas metas básicas para o desenvolvimento sustentável. Cabe ressaltar as mensagens de incentivo divulgadas pelo governo através da televisão com frases de impacto como “Estamos nisso juntos” (*We’re all in this together*) ou incentivando a resiliência do povo novaiorquino, conforme evidenciado na foto 8.

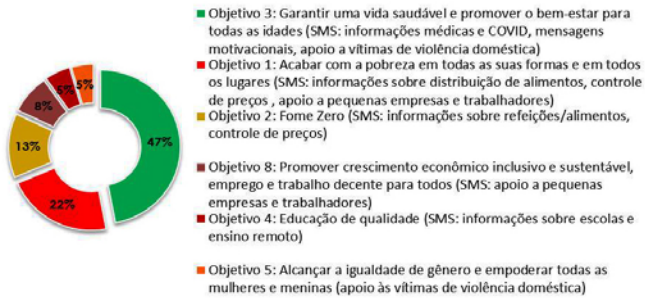


Gráfico 3 – Proporção de mensagens relacionadas com os ODS.  
Fonte: SALGADO, 2020.



Foto 8 – Rockfeller Center com a mensagem “New York tough”.  
Fonte: Fotografia Mônica Santos Salgado. Acervo da Autora (14 de Maio de 2020, 11h20).

Também houve registro pela cidade das mensagens homenageando os trabalhadores da linha de frente no combate ao coronavírus, dizendo “Nós estamos vendo vocês” (“*We see you*”) conforme foto 9.

As manifestações de apoio aos trabalhadores da linha de frente também foram testemunhadas diariamente durante os meses de abril e maio, quando às 19h os cidadãos interrompiam suas atividades para bater palmas, panelas ou acionar as



buzinas homenageando médicos, enfermeiros, bombeiros, policiais, trabalhadores dos supermercados, motoristas de ônibus entre outras atividades que não puderam interromper suas atividades no decurso da pandemia. Durante um minuto ocorria a homenagem e reconhecimento dos cidadãos a todos que estavam trabalhando para manter a cidade em funcionamento. Ressalte-se o elevado número de vítimas registrado entre os trabalhadores do sistema de transporte – no pior momento da pandemia, o número de casos entre estes trabalhadores superou os casos registrados entre os trabalhadores da área de saúde.



Foto 9 – Times Square, com a mensagem “Frontline workers: We see you”.

Fonte: Fotografia Mônica Santos Salgado. Acervo da Autora (14 de Maio de 2020, 11h).

## DISCUSSÃO

A experiência registrada na Cidade de Nova York – classificada como a cidade Norte-Americana mais “inteligente” de acordo com o ranking das Smart Cities (2020) trouxe lições e questionamentos a serem considerados na construção das cidades. A rápida ação do governo local, oferecendo à população alternativas para a manutenção do ensino (em meio remoto) e a garantia de sustento (suporte às pequenas empresas e empregados) bem como o fornecimento de alimentação aos cidadãos carentes, para citar algumas medidas, foi fundamental para as populações, e conferiu resiliência à cidade.

O trabalho do governo local e o fato da população ter seguido as orientações relacionadas às medidas de segurança, identificadas pelo distanciamento social, permitiu que a cidade de Nova York revertesse o quadro extremo da contaminação, registrado

particularmente em abril, e pudesse dar início ao processo de reabertura da cidade já em 8 de junho. Cabe destacar que os Estados Unidos continuaram registrando número recorde de casos nos meses seguintes, com auge para o mês de novembro de 2020 quando chegou a registrar mais de 120mil novos casos em 24 horas. Paralelamente, graças às ações de controle, suporte à população e conscientização, a cidade de Nova York conseguiu manter um baixo número de óbitos apesar dos novos casos registrados ao final de 2020.

Evidencia-se, portanto, que as políticas públicas devem priorizar as metas básicas definidas pelas Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável, com destaque para: garantir o direito à saúde (física e mental) e à educação, combater a pobreza, eliminar a fome e combater as desigualdades.

Mas outros aspectos foram evidenciados em consequência da pandemia, particularmente a necessidade de se repensar as estratégias adotadas no desenvolvimento dos projetos os ambientes construídos e das cidades. O uso residencial precisou sofrer adaptações para abrigar simultaneamente o ensino remoto, o *home-office* e a rotina diária das atividades domésticas. As ruas foram fechadas aos automóveis para oferecer mais espaço de circulação aos cidadãos, garantindo o distanciamento social recomendado pelas autoridades sanitárias.

Nesse sentido, a adoção de estratégias de projeto para um ambiente construído menos estressante poderia ter amenizado os impactos negativos da pandemia. A proximidade da arquitetura e da natureza (*design* biofílico), a capacidade do espaços se adaptarem rapidamente às demandas específicas após eventos extremos e a capacidade de adaptar o ambiente construído de acordo com as necessidades dos usuários durante a vida (*design* responsivo e regenerativo) são tendências já discutidas no evento de 2017, conforme destacado no início deste capítulo, e que precisam ser incorporadas ao processo de projeto das edificações e cidades, na construção de ambientes resilientes.

Em relação aos vetores de desenvolvimento das cidades inteligentes (“smart cities”) cabe destacar as mudanças que vem ocorrendo em decorrência do isolamento social exigido para conter a pandemia:

Em relação à transformação digital:

- adoção do ensino remoto, ressignificação do espaço escolar;
- tele-medicina com acesso remoto às informações referentes aos cuidados com a saúde física e mental, incluindo suporte psicológico;
- trabalho em casa (*home office*) com as empresas indicando tendência por dar continuidade à esse formato mesmo após a pandemia;

- lazer pelo computador, com a realização de shows ao vivo pela internet e veiculados pelas diferentes plataformas sociais (*Instagram, Youtube, Facebook*).

Em relação à transformação urbana e mobilidade:

- flexibilidade urbana através da promoção do ambiente urbano regenerativo e responsivo com a possibilidade de ajustes em função das demandas dos cidadãos;
- mudanças na mobilidade urbana com o incentivo aos meios de transporte não poluentes e individuais para curtas distâncias (bicicletas, patinetes).

Em relação ao ambiente construído:

- mudanças no uso das edificações comerciais nas áreas centrais, com a tendência pelo uso misto a partir da desocupação de parte das salas comerciais como decorrência da adoção do formato de trabalho em casa (*home-office*) mesmo após a pandemia;
- preferência por soluções que permitam ajuste nos espaços internos em função dos novos usos incorporados à rotina em função do isolamento social.

A redução no número de automóveis circulando nas cidades já vem dando sinais de recuperação da natureza e qualidade do ar, aspectos que também beneficiam a sustentabilidade. No entanto, há que se buscar o equilíbrio entre a excessiva circulação de carros e pessoas (gerando engarrafamentos infinitos e superlotação dos transportes públicos) e o isolamento social, uma vez que ambas trazem prejuízos à saúde das pessoas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde o relatório *Brundtland*, a humanidade vem tentando incorporar novos requisitos de qualidade ambiental no processo de projeto visando a produção de cidades sustentáveis. Os sistemas de classificação ambiental foram o primeiro passo para a produção de edifícios e cidades com alta qualidade.

Os avanços nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) trouxeram à discussão novas possibilidades, e assistimos ao surgimento de cidades inteligentes e conectadas. Entende-se que as soluções visando a construção de cidades inteligentes não são globais, pois as demandas são específicas. Mas sustentabilidade e resiliência serão sempre pré-requisitos na busca por soluções inteligentes para as cidades.

Conceitos como design regenerativo, responsivo e biofílico surgem como uma oportunidade para o setor revisar as estratégias adotadas para integrar novos aspectos de sustentabilidade ao processo de projeto visando à produção de cidades inteligentes

e sustentáveis. O *design* biofílico, responsivo e regenerativo chega com conceitos que superam os indicadores dos “selos verdes”, indicando uma nova era no desenvolvimento de projetos para a produção de edificações e cidades sustentáveis.

Finalmente, cabe registrar que a experiência na Cidade de Nova York – classificada como uma das principais cidades inteligentes (“smart cities”) do planeta – deixa muitas lições que podem ser incorporadas às políticas públicas de diferentes cidades e países. A partir do levantamento realizado foi possível ratificar que a prioridade reside na capacidade de atender à população em qualquer circunstância no que concerne às metas básicas definidas pelas Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável.

Encerro este capítulo com uma frase publicada no site do *Global Resilient Cities* que resume o sentimento que se deve ter a partir da vivência da pandemia de 2020:

A COVID-19 terá um impacto profundo nas cidades; investir tempo e esforço em aprender com os sucessos e os desafios será fundamental para líderes e profissionais que desejam se preparar melhor para os desafios futuros e evitar que os mais pobres e vulneráveis sejam os mais atingidos mais uma vez (MORERA, 2020, tradução nossa).

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. A autora também agradece o apoio CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ADEWUMI, *et al.* Conceptualizing sustainable neighbourhoods through collaborative placemaking solomon. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. *In: Proceedings of...* p. 2555-2560.
- Albino, V. Berardi, U., Dangelico, R.M. Smart Cities: Definitions, dimensions, performance, and Initiatives. *In: Journal of Urban Technology*. 2015, 22, 1, 3–21 dx.doi.org/10.1080/10630732.2014.942092.
- BALOUKTSI M., *et al.* Creating methods, procedures and tools for a more sustainable neighbourhood development – experiences from Germany. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. *In: Proceedings of...* p. 2279-2284.
- BARBEY, K. Nature-based Urban space transformation. World Sustainable built Environment - WSBE 2017. *In: Proceedings of...* p. 2245-2251.
- CALLAGHAN A., MALLORY-HILL S. Biophilia and nature-based features to support stress reduction in knowledge Workers Margaret. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. *In: Proceedings of...* p. 1397-1404.
- CHAN, M. Responsive Design – The innovative approach to create sustainable neighbourhoods and cities. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. *In: Proceedings of...* p. 2549-2554.

CHANG, K. *et al.* Urban regeneration introduced with resilient city concept - a case study of Pingtung city in Taiwan. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2674-2677.

CHENG, J. *et al.* A healthy and sustainable living space – LOHAS World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 1338-1344. COLE, R. Regenerative development: reframing the role of buildings. Central Europe Towards Sustainable Buildings CESB 2016. In: *Proceedings...Prague, Czech Republic*, p. 3-8.

CUCUZZELLA, C. CoLLaboratoire Montreal: living experiments for climate change awareness. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p.2517-2522

Dameri, R. P., Benevolo, C., Veglianti, E., Li, Y. Understanding smart cities as a glocal strategy: a comparison between Italy and China. In: *Technological Forecasting & Social Change*, 2019, p. 142, 26-41.

FUNG, A. *et al.* Social sustainability. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2492-2497.

Gassmann, O. Böhm, J. Palmié, M. *Smart cities: introducing digital innovation to cities*. 1st ed. Bingley, United Kingdom: Emerald Publishing Limited, 2019.

GHAFFARIANHOSEINI, A. *et al.* Intelligent or smart cities and buildings: a critical exposition and a way forward In: *Intelligent building International*, Taylor & Francis Group 2018. V. 10, n° 2, p. 122–129.

Morera , B. E. Do cities have adequate tools to plan their recovery from the COVID-19 crisis? In: *Global Resident Cities Network*. Disponível em: <[https://resilientcitiesnetwork.org/urban\\_resiliences/do-cities-have-adequate-tools-to-plan-their-recovery-from-the-covid-19-crisis/](https://resilientcitiesnetwork.org/urban_resiliences/do-cities-have-adequate-tools-to-plan-their-recovery-from-the-covid-19-crisis/)>.

HES, D. *et al.* Putting regenerative development into action: understanding the decision making process of a 680 hectare regenerative project. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2523-2530.

ISO 37123:2019 – Sustainable cities and communities — Indicators for resilient cities. *ISO/TC 268 Sustainable development in communities*.

LI, K., ING, E. A Critical discussion on the role of architectural practice in development of rural China: for living sustainably. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2462-2468.

LIUGAILAITÉ-RADZVICKIENÉ , L. JUCEVIEIUS, R. Going to be an intelligent city. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, V. 156, n°. 26, Nov. 2014, p. 116-120.

LU, B. Redesigning long-term senior care: design solutions to facilitate different levels of care needs in senior housing - using Hong Kong's latest senior housing as example. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2568-2573.

LU, L. YAM, P. From environmental to social and cultural sustainability. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2568-2573.

MACEDO, M. de, *et al.* Better places for people: health and wellbeing measurement methods in workplaces. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 1287-1292.

MALIENE, V. Sustainable Housing – Part of a Healthy and Attractive Community. CIBW070 – FM Conference, 2008. In: *Proceedings of...* p. 343-356.

MANG, P., REED, B. Designing from place: a regenerative framework and methodology,. In: *Building Research & Information*, 40: 1, 23-38, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2012.621341>>.

MORERA, B. E. Do cities have adequate tools to plan their recovery from the COVID-19 crisis? Resilient Cities Network, 2020. Disponível em <[https://resilientcitiesnetwork.org/urban\\_resiliences/do-cities-have-adequate-tools-to-plan-their-recovery-from-the-covid-19-crisis/](https://resilientcitiesnetwork.org/urban_resiliences/do-cities-have-adequate-tools-to-plan-their-recovery-from-the-covid-19-crisis/)>

NAÇÕES UNIDAS – United Nations Economic and Social Council UNECE-ITU Smart Sustainable Cities Indicators. In: *Committee on Housing and Land Management*. Seventy-sixth session Geneva, 14-15 December 2015. Disponível em: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART\\_CITIES/ECE\\_HBP\\_2015\\_4.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART_CITIES/ECE_HBP_2015_4.pdf).

NEIROTTI, P., DE MARCO, A., CAGLIAN A. C., MANGANO, G. SCORRANO, F. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. In: *Cities*, 38, 2014, p. 25–36 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>.

NBR ISO 37120:2014 – *Desenvolvimento sustentável de comunidades — Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida*. ABNT/CEE-268. Cidades e comunidades sustentáveis.

NBR ISO 37122:2020 – *Cidades e comunidades sustentáveis — Indicadores para cidades inteligentes*. ABNT/CEE-268. Cidades e comunidades sustentáveis.

OLIVEIRA A.C., ALHO C.A. The new smart cities. Cities built from scratch and old cities transformed into smart cities sustainable growth. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 448-452.

SALGADO, M.S. LEED CS. In Brazil: discussing the validity of the method for the improvement of environmental quality on buildings. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 943-949.

\_\_\_\_\_. Estratégias para a gestão de projetos na construção de “smart cities”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 458-465. DOI <https://doi.org/10.14393/sbqp19042>.

\_\_\_\_\_. A pandemia e o desenvolvimento sustentável: estudo de caso numa “Smart city”. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2020. *Anais...* p. 1-8, 2020.

SANDERS, F. Pride the civilians motivator for resilient sustainable cities’ results of the 2016; Questionnaire research under Dutch Amsterdam Council Members. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2477-2485.

SBE19 Helsinki. Clean planet, happy people, shared prosperity; In: *Emerging Concepts*. Disponível em <https://www.ril.fi/en/events/sbe-2019.html>. Acesso em: 10.mai.2019.

SILVA, W. de. Ritualized Place and Community Empower World Sustainable Built Environment - WSBE 2017 In: *Proceedings of...* p. 2505-2510.

VEEROJA, P. *et al*. The role of perceived social and physical environments on older adults’ social interactions. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2340-2346.

WANG, H. *et al* Foster a Healthy Community Through Active Design and Biophilic Design World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 1412-1418.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM (2016). *The future of jobs report 2016*. Disponível em: <[www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)>.

World Sustainable Built Environment Conference 2017. *Proceedings of...* Disponível em <http://www.sbe-series.org/wsbe-17-hong-kong/proceedings/>. Acesso em: 10.mai.2019.

*Wuhan Municipal Health Commission Briefing on the pneumonia epidemic situation 3 january 2020*. Available online: <http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2020010309017>.

YANG, Z. RAJABIFARD, A. Implementing SDGs in Smart Cities beyond digital tools. In: *Sustainable Development Goals Connectivity Dilemma: Land and Geospatial Information for Urban and Rural Resilience* 1st Ed. Taylor & Francis Group USA, 2020, p. 176-190.

YIK, W. *et al.* A conceptual model of integral sustainable design framework World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2561-2566.

Yigitcanlar, T. Kamruzzaman, Md., Foth, M., Sabatini-Marques, J., Costa, E., Ioppolo, G. Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. In: *Sustainable Cities and Society*. 2019, 45, 348-365 dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.033.

YU, F. Sculpting socially sustainable neighbourhoods. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017. In: *Proceedings of...* p. 2361-2365.

ZHANG, Q. *et al.* Interactive building - user systems for positive behavioral change by enhancing e-participation of building occupants. World Sustainable Built Environment - WSBE 2017 In: *Proceedings of...* p. 400-405.



---

## **AUTORES E AUTORAS**

---

**ALICE DE BARROS HORIZONTE BRASILEIRO** | Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1992), Mestre (2000) e Doutora (2007) em Arquitetura, ambos pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ. Professora Associada da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro - FAU/UFRJ (Departamento de Tecnologia da Construção).

**ANGÉLICA SACCOL BERLEZE** | Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Santa Maria (2012), Doutora em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ, onde pesquisou sobre funcionalidade e desempenho térmico em habitações sociais com o auxílio de ferramentas paramétricas. Mestre em Engenharia Civil - UFSM (2014), onde desenvolveu pesquisas na área de eficiência energética, desempenho térmico e avaliação de impacto de diferentes transmitâncias e absorptâncias em edifícios públicos. Na Universidade Federal de Santa Maria, esteve envolvida com pesquisas relacionadas à sustentabilidade, conforto ambiental e ergonomia.

**BEATRIZ TEMTEMPLES** | Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ e Doutoranda em Arquitetura no mesmo programa vinculada à Linha de Pesquisa Arquitetura, Projeto e Sustentabilidade.

**BIANCA MARQUES F. LEAL** | Arquiteta e Urbanista (PUC-Rio, 2011). Mestra Programa de Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ, Bolsista pela CAPES (2018). Desde 2015 participa do Grupo de Pesquisa GEPARQ. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo com ênfase em BIM e Arquitetura de Interiores. Lecionou treinamentos de *softwares* BIM como Revit, além do *software* de renderização como V-ray para *SketchUp*. Atualmente, é Arquiteta chefe de projeto em um escritório francês que trabalha em BIM, utilizando tecnologias durante o desenvolvimento de projetos como escaneamento 3D com nuvem de pontos e realidade virtual.

**CRISTIANE LOPES CANUTO** | Arquiteta e Urbanista pelo DAU/UFV (2008). Doutoranda em Arquitetura, Mestra pelo Mestrado Profissional Projeto e Patrimônio - MPPP/FAU/UFRJ (2017), Pesquisadora do Grupo de Pesquisa Gestão de Projetos em Arquitetura - GEPARQ-PROARQ/FAU/UFRJ. Desenvolvimento de pesquisa nos seguintes temas: Patrimônio Cultural, BIM e HBIM (*Historic Building Information Modelling*), *Digital Twin* e *Facilities Management*. Experiência profissional em coordenação de projetos e projeto executivo de arquitetura utilizando ferramentas BIM e professora convidada pela FGV no curso Formação Executiva em BIM.

**EDUARDO RIBEIRO DOS SANTOS** | Arquiteto e Urbanista pela UNITAU(1999), Mestre em Arquitetura pelo Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ (2018) e Doutorando pelo mesmo programa, Consultor BIM pela D5, BIM Manager certificado Graphisoft. Professor do Master BIM do IPOG, INBEC e Professor Convidado IDE/FGV no curso de Formação Executiva em BIM e MBA em Gestão: Incorporação e Construção Imobiliária. Foi consultor da Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde na implantação de BIM no Ministério da Saúde. Tem experiência em Arquitetura e Urbanismo, atuando nos seguintes temas: BIM, gestão de projeto, processo de projeto, projeto de arquitetura e sustentabilidade.

**FABIANA DIAS DA SILVA** | Arquiteta e Urbanista pela Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense (2001), Mestra em Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Urbanismo - PROURB-FAU/UFRJ (2005), Doutora em Arquitetura pelo Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ, Especialização em Arquitetura Sustentável pela Universidade de Bolonha(2010). Atualmente, é funcionária da empresa Petrobras, onde trabalha como Arquiteta e ministra o curso *Arquitetura e sustentabilidade* para funcionários da Empresa. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Projeto de Arquitetura e Urbanismo, atuando na arquitetura industrial, meio ambiente, sustentabilidade, certificações ambientais e BIM.

**GRAZIELLA BERNARDO** | Graduada en Ingeniería Ambiental y Territorial en la Università della Basilicata, Facultad de Arquitectura. PhD en Ciencia y tecnología de los minerales y subproductos industriales con la calificación de Cum Laude en la Universidad de Sassari, Italia. Desde el año 2000 su actividad de investigación y docente.

**LUIS MANUEL PALMERO IGLESIAS** | Doctor por la Universitat Politècnica de València y PhD en Arquitectura, Facoltà di Architettura di Firenze, Italia con la calificación de Cum Laude. Asimismo, es Licenciado en Bellas Artes, por la Academia de Bellas Artes de San Carlos. Docente desde el curso 1995-96 es profesor Titular del Departamento de Construcciones Arquitectónicas y responsable de las asignaturas de Construcción en la Escuela de Arquitectura de Valencia y en la Escuela de Ingeniería de Edificación. Sus líneas de investigación se concentran en la rehabilitación de edificios para un nuevo uso, investigando la compatibilidad de materiales, la sostenibilidad y la eficiencia energética.

**MARCOS MARTINEZ SILVOSO** | Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia (1997), Mestrado e Doutor pelo Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ (2003). Professor Associado do Departamento de Tecnologia da Construção da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (DTC-FAU/UFRJ) e do Programa Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ. Coordenador do Laboratório de Ensino em Materiais de Construção e Estudo dos Solos e do Canteiro Experimental da FAU/UFRJ onde realiza atividades de ensino e desenvolve projetos de pesquisa e extensão.

**MÔNICA SANTOS SALGADO** | Arquiteta Urbanista pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU/UFRJ (1986). é professora titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutora em Engenharia de Produção pela COPPE - UFRJ (1996). Mestre em Arquitetura Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ (1992). Professora Titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professora Visitante da *Parsons New School of Design* (EUA) (CAPES PRINT). Pesquisadora do CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa e Inovação (Brasil). Realizou pós-doutorado na *École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse* - França (ENSAT); Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho (POLIUFRJ 2000-2002), Pós-Graduação em Gestão Ambiental (POLIUFRJ 2004-2005). Líder desde 1996 do Grupo de Pesquisa Gestão de Projetos em Arquitetura: tecnologia, sustentabilidade e BIM - GEPARQ .

**PAULO AFONSO RHEINGANTZ** | Arquiteto, Doutor em Engenharia de Produção (Universidade Federal do Rio de Janeiro), com Pós-doutorado no *City and Regional Planning Department, California Polytechnic State University*, San Luis Obispo. Professor Colaborador Voluntário do Programa de Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro [nov 2012-atual] e do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas [jul/2019-atual]; Professor Visitante Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas [out/2018 - jun/2019]; Professor Visitante Nacional Senior/Capes do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas [out/2014-set/2018]. Bolsista produtividade 1D CNPq. Temas de interesse: Ensino de Projeto de Arquitetura, Avaliação Pós-Ocupação e Qualidade do Lugar na perspectiva dos estudos Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS). Lidera o *Grupo de Pesquisa Lugares e Paisagens*.

**RICARDO CODINHOTO** | Is an Associate Professor at the UK leading Department of Architecture and Civil Engineering at the University of Bath, the Editor-In-Chief for the journal *Architectural Engineering and Design Management* and a reviewer for over 15 mainstream international journals. He is Architect and Urban Planner with an MSc in Integrated Design and a PhD in Design Theory and Evidence-Based Design, and a leading academic in Architecture, Built Environment, and Design, specialising in Design Management. He has over 100 publications focused on design multi-disciplinary decision-making in the areas of Evidence-based Design, Design for Health and Wellbeing, Design Theory and Practice, Lean Design, Building Information Modelling and WELL and BREEAM Standards.

**TATHIANA DO NASCIMENTO** | Arquiteta Urbanista pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU/UFRJ, Mestra pelo Pós-graduação em Arquitetura - PROARQ-FAU/UFRJ e Pós-graduada em Edifícios Sustentáveis pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP).

**TATIANE PILAR DE ALMEIDA** | Arquiteta Urbanista pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU/UFRJ (2016), Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU/UFRJ), Doutoranda em Arquitetura pelo mesmo programa na Linha de Pesquisa Arquitetura, Projeto e Sustentabilidade.

**THIAGO MELO GRABOIS** | Professor da FAU UFRJ e do PROARQ. Arquiteto, tem doutorado em engenharia, com período sanduíche na Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, e pós-doutorado na COPPE UFRJ. É orientador do Escritório Modelo de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Atua em atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas ao Canteiro Experimental da FAU UFRJ, aos materiais e processos construtivos de baixo impacto ambiental, ao reaproveitamento de resíduos de construção e demolição, e à correlação de imagem digital aplicada em técnicas experimentais e diagnóstico de patologias construtivas no patrimônio edificado.

---

## **COMITÊ CIENTÍFICO**

---

**GUILHERME CHAGAS CORDEIRO** | Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq e Cientista do Nosso Estado Faperj, Guilherme Chagas Cordeiro concluiu o doutorado em Engenharia Civil pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 2006. É Professor Associado do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Professor Colaborador do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ e, entre 2018 e 2020, coordenou o Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UENF. Desenvolveu um estágio pós-doutoral no Georgia Institute of Technology (*School of Civil and Environmental Engineering*).

**JARDEL PEREIRA GONÇALVES** | Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (1998), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2000) e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005). Atualmente é professor associado da Escola Politécnica - Departamento de Construção e Estruturas da Universidade Federal da Bahia. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (UFBA) e Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFBA).

**LEOPOLDO EURICO GONÇALVES BASTOS** | Docente do PROARQ-FAU/UFRJ. Coordenador do Grupo de Pesquisa Projeto Arquitetura e Sustentabilidade - GPAS. Docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade da Universidade Vila Velha - UVV. Pós-doutorado no LAAS/CNRS - Toulouse, França (1977). Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica/UFRJ (1975); Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica/UFRJ (1969), Engenheiro Industrial Mecânico/UFF (1967). Professor Titular aposentado da COPPE e da Escola Politécnica da UFRJ. Participou como Professor Visitante na Faculdade de Engenharia da UERJ; Universidade de Coimbra; Universidade Técnica de Berlim; *Centre Thermique des Bâtiments* CETHIL- *Institut des Sciences Appliquées de Lyon* - INSA; e École d'Architecture - ENSA e INSA de Toulouse.

**MARIA ANGELA DIAS** | Professora Titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Membro do corpo docente permanente do PROARQ-FAU/UFRJ, onde foi coordenadora entre 2014 e 2016. Professora do Mestrado Profissional do PROARQ. Diretora da FAU-UFRJ (1998-2002), Prefeita da UFRJ (2002 - 2004), Diretora do Escritório Técnico da UFRJ (2002 - 2007). Graduada pela FAU-UFRJ (1972), Mestre em Educação pela FE- UFRJ (1983) e Doutor (2003) em Engenharia (Pesq. Operacional e Gerencia de Produção) pela COPPE - UFRJ. Líder do Grupo de Pesquisa Ensino de Arquitetura, desenvolve a pesquisa A Educação do Olhar: atributos geométricos da forma dos lugares. Integra o grupo de Sistemas de Espaços Livres - SEL RJ (PROLUGAR). Membro da LASA - *Latin American Studies Association*.

**MARCIO MINTO FABRICIO** | Professor e orientador de graduação e pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - IAU USP. Editor da revista Gestão & Tecnologia de Projetos. Líder do grupo de pesquisa Arquitetura, Inovação e Tecnologia - Arquitec IAU USP. Livre Docente em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC USP (2008), Doutor em engenharia pela Escola Politécnica da USP (2002), Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela EESC USP (1996), Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (1993). Foi visitante na *University of Huddersfield*.

Atualmente coordena os projetos HBIM e Documentação digital do patrimônio arquitetônico moderno (Edital Universal 2018), e Projeto Integrado de Edifícios e Modelagem da Informação da Construção (Bolsa Produtividade CNPq).

**PATRÍCIA TZORTZOPOULOS FAZENDA** | Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1995), mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999) e doutorado pela *University of Salford*, UK (2004). Atualmente é professora na *University of Huddersfield*, UK. Tem experiência na área de Arquitetura e Engenharia Civil, com ênfase em Gestão do Processo de Projetos, atuando principalmente nos seguintes temas: *Design Management, Lean construction, Healthcare Design e Building Information Modelling*.



---

## **ÍNDICE REMISSIVO**

---



<b>Nº</b>	<b>AUTOR</b>	<b>Páginas</b>
1	ALICE DE BARROS HORIZONTE BRASILEIRO	180
2	ANGÉLICA SACCOL BERLEZE	152
3	BEATRIZ TEMTEMPLES DE CARVALHO	206
4	BIANCA MARQUES F. LEAL	234
5	CRISTIANE LOPES CANUTO	52
6	EDUARDO RIBEIRO DOS SANTOS	258
7	FABIANA DIAS DA SILVA	78
8	GRAZIELLA BERNARDO	128
9	LUIS MANUEL PALMERO IGLESIAS	128
10	MARCOS MARTINEZ SILVOSO	13, 17, 180 e 206
11	MÔNICA SANTOS SALGADO	13, 17 e 314
12	PAULO AFONSO RHEINGANTZ	7
13	RICARDO CODINHOTO	26
14	TATHIANA DO NASCIMENTO CARVALHO	280
15	TATIANE PILAR DE ALMEIDA	180
16	THIAGO MELO GRABOIS	13, 17 e 102

---

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

---

AAF	Análise por Árvore de Falhas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI/RJ	Arquivo Central do IPHAN no Rio de Janeiro
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BEN	Balço Energético Nacional
BIM	<i>Building Information Modeling</i> ou Modelagem da Informação da Construção
BREEAM	<b><i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i></b>
CAD	<i>Computer Aided Design</i> ou Projeto auxiliado por computador
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEF	Caixa Econômica Federal
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONARQ	Conselho Nacional de arquivos
COV	Composto Orgânico Volátil
CT	Capacidade térmica
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
DIC	<i>Digital Image Correlation</i> (Correlação de Imagem Digital)
DOCOMO- MO	<i>International Working Party for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of Modern Movement</i>
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i>
Edifício JMM	Edifício Jorge Machado Moreira
EDISE	Edifício Marechal Ahemar de Queiroz
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno Expandido
EqNum	Equivalente Numérico
<i>F</i>	Força
FD	Fabricação Digital
FJP	Fundação João Pinheiro
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise por Árvore de Falhas)
GHR	Graus-hora para resfriamento
GIS	<i>Geographic Information System</i>
$\eta$	Campo Residual de Níveis de Cinza
HBIM	<i>Heritage Building Information Modeling</i>
HIS	Habitação de Interesse Social

HQE	<i>Hauté Qualité Environnementale</i>
$I_o$	Imagem na Configuração de Referência
IAB	Instituto de Arquitetos do Brasil
ICOMOS	<i>International Council of Monuments and Sites</i>
IDM	<i>Information Delivery Manual</i>
IISBE	<i>International Initiative for a Sustainable Built Environment</i>
INEPAC	Instituto Estadual do Patrimônio Cultural
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i> ou Entrega Integrada de Projetos
IPHAN	Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
$I_t$	Imagem na configuração deformada
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LOD	<i>Level of Development</i> ou Nível de Desenvolvimento
MEC	Ministério de Educação e Cultura
MES	Ministério da Educação e Saúde
NBR	Norma Brasileira
PDF	<i>Portable Digital Format</i>
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PGC	Palácio Gustavo Capanema
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PMMA	Poli metil Metacrilato
PR	Prototipagem Rápida
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRPPC	Projeto de Recuperação e Preservação do Palácio da Cultura
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
RA	Realidade Aumentada
ROI	<i>Region of Interest</i> (Região de Interesse)
RP	Recebimento do Projeto
RSL	Revisão sistemática de literatura
RSM	Revisão de Literatura sem Meta-análise
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
RV	Realidade Virtual
SAPGC	Sociedade de Amigos SPHAN- Serviço do Patrimônio Artístico e Nacional
$t$	Tempo
TDCB	<i>Tapered Double Cantilever Beam</i>
TI	Tecnologia da Informação

TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanning</i>
TRY	<i>Typical Reference Year</i>
<i>u</i>	Campo de Deslocamentos
U	Transmitância Térmica
UH	Unidade Habitacional
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGBC	US Green Building Council
VM	Validação do Modelo
VP	Verificação do Projeto
x, y, z	Eixos do sistema de coordenadas
ZB	Zona Bioclimática
$\alpha$	Absortância

As três partes do livro revelam (ou desvelam) o fio condutor das inovadoras pesquisas que vem sendo desenvolvidas pelos pesquisadores e pesquisadoras do GEPARQ, do empenho em registrar e divulgar as suas experiências e reflexões sobre aquilo que está sendo feito, bem como a diversidade e a riqueza das contribuições para o campo da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo.

Paulo Afonso Rheingantz

Alice de Barros Horizonte Brasileiro

Angélica Saccol Berleze

Beatriz Temtemples

Bianca Marques F. Leal

Cristiane Lopes Canuto

Eduardo Ribeiro dos Santos

Fabiana Dias da Silva

Graziella Bernardo

Luis Manuel Palmero Iglesias

Marcos Martinez Silvos

Mônica Santos Salgado

Paulo Afonso Rheingantz

Ricardo Codinhoto

Tathiana do Nascimento

Tatiane Pilar de Almeida

Thiago Melo Grabois

