

# GESTÃO & GERENCIAMENTO

*Gestão da Informação na Construção Civil*

**Projetos de Instalações  
Hidrossanitárias em BIM**

*Páginas 05 a 12*

**Retrofit Luminotécnico e Instalações  
Elétricas com BIM**

*Páginas 38 a 43*

**Aplicação da Modelagem BIM  
no Canteiro de Obras**

*Páginas 19 a 28*

**Gestão de Risco Integrado na  
Construção Civil**

*Páginas 13 a 17*

**Reabilitação Energética de Edifícios  
Baseada na Metodologia BIM**

*Páginas 52 a 58*



CAPACITAÇÃO EM

---

# GESTÃO DE FACILITIES

Declaração emitida pelo NPPG/  
POLI/UFRJ

Apresentar o Gerenciamento de Facilidades: comprovar que a gestão desta área é feita por um executivo e que esta é uma atividade profissional.

---

PARA MAIORES INFORMAÇÕES  
[INSCRICAO.NPPG@POLI.UFRJ](mailto:INSCRICAO.NPPG@POLI.UFRJ)

# EDITORIAL

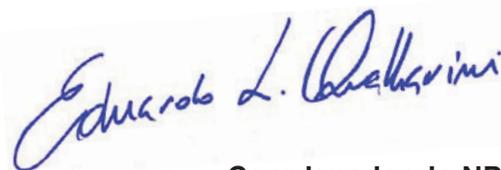
A Revista Gestão e Gerenciamento apresenta neste número uma coletânea de artigos na temática de Gestão a Informação na Construção Civil. Seu objetivo é buscar uma profunda discussão acerca do gerenciamento da construção, nos aspectos de riscos, qualidade, projetos e as particularidades do BIM.

As mudanças de paradigmas por trás dessa evolução da Gestão da Informação exigem uma mudança no fluxo de trabalho das equipes, que precisam gerenciar uma quantidade cada vez maior de interfaces com especialistas em diferentes disciplinas e em diversos temas.

Assim, pela constante busca de novas funcionalidades, vimos a apresentar conteúdos nos conceitos de eficiência e gestão na temática da informação.

Por tal, saudamos os editores associados e convidados pelo intenso trabalho para compor esta edição e aos pesquisadores que contribuíram com a publicação de seus resultados.

Boa leitura e até a próxima edição!



Coordenador do NPPG



# SUMÁRIO

Estudos de Projetos de Instalações Hidrossanitárias em Software  
Building Information Modeling (BIM)

05

13

Avaliação preliminar e gestão de risco integrada na Construção  
Civil: um estudo de caso

Aplicação da modelagem da informação da construção  
(BIM) no projeto do canteiro de obras

20

31

Estudio computacional del comportamiento térmico de una  
vivienda social con PCM en la envolvente térmica.

Retrofit Luminotécnico e das Instalações Elétricas em  
Edifício Histórico através da Tecnologia BIM

40

46

Reabilitação Energética de Edifícios Baseada na Metodologia  
BIM

Reabilitação Energética de Edifícios Baseada na  
Metodologia BIM

54

---

## GESTÃO & GERENCIAMENTO

ISSN 2447-1291

Gestão & Gerenciamento é uma publicação quadrimestral do NPPG/ Poli/UFRJ, de distribuição gratuita e circulação nacional, com o objetivo editorial de fomentar o conhecimento nas áreas de Gestão e Gerenciamento. A distribuição da revista terá como destino os profissionais, professores e alunos vinculados à gestão corporativa e ao ensino do gerenciamento de empreendimentos. Os números editados serão disponibilizados na web. Serão aceitas contribuições de artigos inéditos que deverão obedecer às instruções contidas no site desta publicação ([nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento](http://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento)).

### Equipe Editorial

Supervisão Editorial: Eduardo Linhares Qualharini ([revistagestaoegerenciamento@poli.ufrj.br](mailto:revistagestaoegerenciamento@poli.ufrj.br)); Conselho Editorial: André Baptista Barcaui, Assed Naked Haddad, Darci Prado, Eduardo Linhares Qualharini, Elaine Garrido Vazquez, Gisele Blak Bernat, João Carlos Gonçalves Lanzinha, Maurini Elizardo Brito, Nelson Pôrto Ribeiro, Vasco Manuel A. Peixoto de Freitas; Jornalista Responsável e Edição: Fernanda Viviani de Paula (Registro Profissional: 0039905/RJ); Diagramação: Amanda Vieira Guimarães; Colaboradores: Gustavo Millan Cesar de Almeida e Maiane Ramos da Silva.

# Estudo de Projetos de Instalações Hidrossanitárias em Software Building Information Modeling (BIM)

*Wallace Alves de Freitas, Laís Amaral Alves e Elaine Garrido Vazquez*

**O** *O Building Information Modeling (BIM) é uma tecnologia que visa o desenvolvimento de projetos de engenharia, sendo amplamente utilizado em países da Europa e nos EUA, mas com uso discreto no Brasil, onde, normalmente, é preterido em relação a tecnologia Computer Aided Design (CAD). O BIM se destaca por gerar um modelo virtual, tridimensional do empreendimento, com alterações feitas em uma vista refletidas em todas as outras e no próprio modelo. Com um sistema de modelagem paramétrica, todos os elementos do projeto têm parâmetros atribuídos e personalizáveis para atender as necessidades do projetista. Este trabalho tem como objetivo o estudo da aplicabilidade do BIM em projetos de instalações hidrossanitárias com base nas normas técnicas brasileiras. Para isso, foi desenvolvido um modelo expositivo contemplando o projeto básico de arquitetura, água fria, água quente e esgoto sanitário.*

## 1. Introdução

A tecnologia Building Information Modeling (BIM) é tida dentro do setor da construção civil como a evolução natural da tecnologia Computer Aided Design (CAD). No mercado internacional alguns países adotaram integralmente o uso do BIM na modelagem dos projetos como a Inglaterra desde 2016 e outros, como os Estados Unidos, onde mais de 70% dos escritórios de engenharia e arquitetura fazem uso do BIM, têm esta tecnologia como principal ferramenta de modelagem de projetos [1,2].

No Brasil, porém, a tecnologia BIM ainda enfrenta alguns obstáculos para sua implementação, mesmo que parcial. Além do estabelecido tradicionalismo do CAD, as ferramentas e os conceitos dos *softwares* BIM requerem preparação e estudo para sua total compreensão. Adiciona-se o fato de ser necessário um investimento inicial que pode não gerar um retorno direto de curto prazo para a empresa.

A tecnologia BIM traz a grande vantagem da modelagem paramétrica, onde não são desenhadas simples linhas que graficamente representam uma parede ou uma tubulação, são alocados os próprios elementos construtivos em forma de famílias onde são editadas todas suas características como os materiais da parede, sua altura e largura, o diâmetro da tubulação, sua rugosidade, declividade e tipo de sistema (água fria, água quente ou sanitário), dentre outros.

Outro diferencial se referem as vistas e desenhos que são gerados a partir de um mesmo modelo, garantindo a consistência dentro do projeto. Todos os elementos, chamados de famílias, no BIM são customizáveis para atender melhor o processo construtivo. A tecnologia BIM apresenta uma plataforma versátil onde várias etapas da modelagem do projeto podem ser feitas de forma integrada, com o uso de um mesmo modelo central, permitindo que cada equipe altere seu próprio escopo, amenizando os problemas de compatibilização das áreas dos projetos [3].

Apesar de ter primeiras definições durante a década de 1970 e ter os primeiros softwares lançados na década de 1980, a tecnologia BIM só foi ganhar força, principalmente na Europa, no fim da década de 2000. Seu desenvolvimento vem sendo abrupto, com cada vez mais recursos e ferramentas, tendo um efeito considerável no design, na construção, além do gerenciamento de instalações e planejamento de manutenções [4].

Este trabalho tem como objetivo abordar o conceito do uso da plataforma BIM na modelagem de projetos, especificamente na parte de desenho de instalações prediais hidrossanitárias. O trabalho é apresentado a partir de uma revisão bibliográfica e desenvolvimento de um modelo exemplo abordando as áreas de arquitetura e instalações prediais, com suas respectivas plantas baixas, isométricas e de detalhes.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Sobre o BIM

De acordo com Baroni [5], a definição documentada mais antiga da tecnologia BIM data de 1975, feita por Charles M. Eastman, no extinto AIA jornal, no trabalho Building Description System sendo ela traduzida a seguir:

[Projetado por] ...definir elementos de forma interativa... derivando seções, planos isométricos ou perspectivas de uma mesma descrição de elementos... Qualquer mudança no arranjo teria que ser feita apenas uma vez para todos os desenhos futuros. Todos os desenhos derivados da mesma disposição de elementos seriam automaticamente consistentes... qualquer tipo de análise quantitativa poderia ser ligado diretamente à descrição... estimativas de custo ou quantidades de material poderiam ser facilmente geradas... fornecendo um único banco de dados integrado para análises virtuais e quantitativas... verificação de código de edificações automatizado na prefeitura ou no escritório do arquiteto. Empreiteiros de grandes projetos poderiam achar esta apresentação vantajosa para a programação e para os pedidos de materiais. [6]

A terminologia Building Description System foi então evoluindo, de acordo com os avanços dos estudos sobre a tecnologia nas décadas de 1970 e 1980, recebendo as nomenclaturas Building Product Models nos Estados Unidos no início de 1980 e Product Information Models na Europa. Tendo a fusão dessas nomenclaturas no Building Information Models [7].

Os *softwares* de tecnologia BIM, por si só, implementaram vários conceitos (como os componentes paramétricos, a geração automática de desenhos, os bancos de dados e a descrição temporal das fases da construção) que vieram a ser reutilizados em softwares atuais, sendo os pioneiros da tecnologia, de acordo com Andrade [8], a versão britânica do RUCAPS para Sonata e Reflex, a versão britânica do Oxsys para BDS e GDS (atual MicroGDS), a versão francesa, que concluiu Cheops e Archition, o sistema belga Brics, o sistema de modelagem americana da companhia Bausch & Lomb,

entre outros. Atualmente aos softwares mais conhecidos são: Autodesk Revit, Bentley Building, VectorWorks, Allplan e AchiCAD.

Um dos principais diferenciais entre a plataforma BIM e a tecnologia CAD é a forma simultânea na qual é desenvolvido o projeto 2D em comunicação com o 3D na plataforma BIM, possibilitando a visualização do empreendimento, diminuindo a incidência de erros de compatibilização das disciplinas do projeto. Criando, de acordo com Eastman et al. [6], um modelo virtual preciso de uma edificação, que é construído de forma digital.

De acordo com Andrade e Ruschel [7], as principais diferenças da tecnologia BIM para os sistemas CAD tradicionais, que são os mais utilizados na engenharia civil no cenário atual, são duas principais “tecnologias” presentes no BIM, são elas: modelagem paramétrica e interoperabilidade. A primeira permite representar os objetos por parâmetros e regras associados à sua geometria, assim como, incorporar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Além do mais, modelos de construção baseados em objetos paramétricos possibilitam a extração de relatórios, checagem de inconsistências de relações entre objetos e incorporação de conhecimentos de projeto, a partir dos modelos. A interoperabilidade, para Eastman et al. [6], é uma condição para o desenvolvimento de uma prática integrada.

O uso de uma prática integrada com times de colaboração é possível com a integração da informação entre aplicativos computacionais, utilizados por diferentes profissionais de projeto.

## 2.2 Principais Softwares e Ferramentas

Com a popularização da tecnologia BIM no cenário da construção civil, várias empresas do ramo do design e construção, como a Autodesk e a Bentley Systems Inc., começaram a desenvolver seus próprios *softwares* e ferramentas, usando tal tecnologia, cada um com suas particularidades, vantagens e desvantagens.

O ArchiCAD foi desenvolvido pela empresa Graphisoft e é o software BIM desenvolvido para arquitetos mais antigo no mercado. É responsável por grandes inovações na área como o BIMcloud, ferramenta de colaboração interativa em tempo real, via armazenamento e edição do projeto em nuvem, o EcoDesigner Star que foi a primeira investida em design sustentável dentro da plataforma BIM e o BIMx que é um aplicativo de smartphone que permite a visualização de aplicativos BIM [9].

O software AECOSim de tecnologia BIM foi desenvolvido pela empresa especializada em programas de design, arquitetura e engenharia, a Bentley Systems. O software foi construído em cima da plataforma do programa CAD, Microstation, da mesma empresa e amplamente utilizado na engenharia. O AECOSim faz parte de uma extensa plataforma de softwares específicos, tendo como principal atrativo sua grande liberdade para desenvolvimento de projetos com alta complexibilidade arquitetônica e de vários tipos de infraestruturas, de simples casas a extensas plantas industriais ou gigantescas estruturas offshore [10].

O REVIT é o software BIM da Autodesk, mesma desenvolvedora do AutoCAD, e é o mais difundido desta tecnologia no mercado da construção civil. Suas ferramentas permitem que o uso do processo inteligente baseado em modelos para planejar, projetar, construir e gerenciar edifícios e infraestruturas. O Revit oferece suporte a um processo de projeto multidisciplinar, para trabalhos colaborativos [11].

O *software* BIM Tekla Structures permite a criação e gerenciamento de modelos estruturais 3D altamente detalhados, independentemente da complexidade material ou estrutural. Os modelos podem cobrir todo o processo de construção, desde o projeto conceitual até a fabricação, montagem e gerenciamento de construção [12].

## 2.3 O Uso de BIM no Brasil

No Brasil, o decreto no 9.377 de 2018, instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, o que foi um grande avanço no cenário nacional [13]. No Reino Unido, por exemplo, em 2011, foi estipulado um período de 5 anos para implementação total do BIM nos escritórios de arquitetura e engenharia, exigindo BIM Nível 2 (modelagem e interoperabilidade) até 2016. Nos Estados Unidos, a partir de um decreto de 2006, todos os projetos de caráter civil federal, inclusive edifícios militares foram incentivados a implementar a tecnologia BIM e, em 2012, 71% dos escritórios de engenharia e arquitetura já utilizavam a tecnologia BIM [1].

No entanto, ainda muitos escritórios de projetos encontram barreiras para implementação do BIM, muitas vezes financeiras, já que além do alto investimento inicial para adquirir os programas BIM, também é necessário gerar despesas para realizar treinamentos da equipe. Além disso, é necessária toda uma mudança na forma de projetar, uma vez que as equipes terão que trabalhar de forma muito mais integrada e terão novas responsabilidades [14].

Outra limitação se refere quantidade pequena de informações nos bancos de dados, disponíveis nos catálogos das grandes fornecedoras de materiais e equipamentos no Brasil, sendo estas empresas, em países com alta adesão ao BIM, as principais responsáveis pela modelagem e criação de seus itens para uso nos softwares.

O que torna necessário a modelagem, do zero, de elementos que atendam aos requisitos do projeto, que os softwares BIM, em sua versão base, apresentam apenas opções básicas destes elementos.

A modelagem de elementos, porém, pode ser uma tarefa difícil e demorada, dependendo de sua complexidade.

Com relação a presença de BIM na formação do profissional de arquitetura e de engenharia civil, ainda é limitada, estando em estágios iniciais de implementação nas respectivas matrizes curriculares, principalmente, por meio de matérias optativas ou minicursos oferecidos pelas instituições de ensino. E muitas dessas matérias ou minicursos abordam os estágios introdutórios ou intermediários do BIM [15].

### 3. Desenvolvimento do Modelo Expositivo

#### 3.1 Descrição do Empreendimento

Foi projetado um edifício de caráter residencial multifamiliar localizado na cidade do Rio de Janeiro, levando-se em consideração o objetivo de simular a confecção de um projeto usando a tecnologia BIM. O projeto foi desenvolvido no software Revit 2018 da empresa Autodesk.

O edifício conta com térreo com um apartamento para o zelador com dois quartos, sala cozinha, área de serviço e banheiro. Também no térreo, se localiza o pavimento de uso comum, onde foram previstos academia, piscina e duas áreas de lazer próximas às piscinas e garagem dividida em quinze vagas cobertas e dez vagas descobertas, os outros andares contam com cinco pavimentos tipos, contendo seis apartamentos por pavimento com um banheiro, sala, cozinha, área de serviço, dois quartos e varanda para os apartamentos de fundo e para os apartamentos laterais e frontais há também uma suíte e cobertura com reservatórios e casa de máquinas.

O terreno tem dimensões de 49,10 x 43,25 m<sup>2</sup> e o edifício de medidas 20,50 x 28,50 m<sup>2</sup>.

#### 3.2 Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico foi concebido com o objetivo de

ter boa eficiência energética, fazendo uso de amplos painéis envidraçados nos acessos às varandas a fim de captar a luz solar para iluminação natural. Foram previstos dois prismas de ventilação que atendem as cozinhas e banheiros dos apartamentos frontais e laterais. Os apartamentos frontais e laterais foram desenvolvidos a partir de uma mesma planta baixa, espelhados entre si. A Figura 1 mostra o apartamento 01 que foi tomado como referência para o desenho das vistas isométricas das instalações hidrossanitárias.

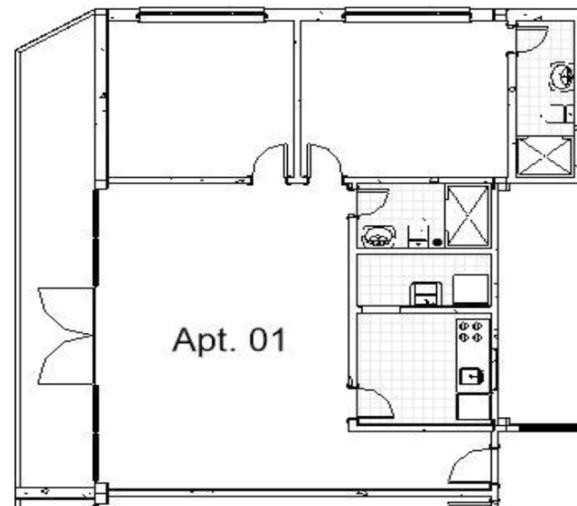


Figura 1 – Planta Baixa do apartamento 01.  
Fonte: Autores

Para a modelagem do projeto básico de arquitetura o Revit possui muitos recursos que facilitam o desenvolvimento do traçado. As famílias de paredes, coberturas e lajes, apesar de serem famílias de sistema com parâmetros restritos, pois as famílias presentes na biblioteca padrão do programa são muito genéricas, dão bastante liberdade no traçado, para criação de varandas, por exemplo, e em sua composição. É possível determinar toda a composição da parede ou da laje a partir do tipo de família especificando os materiais e espessuras.

A mesma lógica serve para as camadas da laje, tendo sido feito no projeto uma laje de concreto de 15cm com revestimento vinílico para as áreas de sala e quarto e com revestimento cerâmico.

Para a criação do prisma de ventilação foi feito uso da ferramenta shaft que cria uma abertura no formato desenhado. A ferramenta define a cota de início e de fim da mesma, permitindo a criação rápida do prisma de ventilação. As alterações de medidas caso necessário, são facilitadas, uma vez que não é preciso fazer alterações por pavimento ou redundância de desenhos, porque todas as dimensões e

características do prisma estão em um mesmo traçado.

Para a criação dos painéis de vidro foi usado o tipo de família da parede curtain wall ou parede de cortina que cria painéis separados por barras. A parede de cortina pode ser configurada de acordo com o número e tipo de barras verticais e horizontais desejadas e de acordo com os materiais e funções dos painéis. Apesar dos painéis serem travados para alteração em conjunto, manualmente é possível destravá-los e modificar apenas os painéis desejados.

Para o caso do modelo expositivo, isso foi feito, sendo modificado um painel para uma porta de vidro para acesso à varanda e redimensionando de acordo com os valores desejados. Para a entrada principal do condomínio também foi utilizado uma parede de cortina, porém sem painéis e com grades circulares grossas de ferro na cor branca.



Figura 2 – Perspectiva isométrica do modelo.  
Fonte: Autores

### 3.3 Projeto de Instalações Hidrossanitárias

O projeto de água fria foi feito nos moldes de um sistema indireto por gravidade, com estação elevatória levando a água advinda da rede pública de abastecimento para dois reservatórios superiores com capacidade de vinte mil litros cada, ligando num barrilete que desce pela lixeira com seis colunas, cada uma alimentando um apartamento em cada andar.

Nos apartamentos, o ramal de água fria, apresentado na figura 3 em azul, atende uma pia com misturador, uma torneira de tanque de lavar roupa, uma máquina de lavar roupas, nos apartamentos frontais e laterais (cada), duas

bacias sanitárias, dois chuveiros com misturador e dois lavatórios, nos apartamentos dos fundos, apenas uma pia, um chuveiro com misturador e um lavatório.

No projeto de água quente, apresentado na figura 3 em vermelho, foram previstos aquecedores a gás individualizados para cada apartamento que atendem o misturador da pia, o chuveiro e o lavatório do banheiro, sendo que os apartamentos frontais e laterais possuem banheiro e suíte, portanto atendem dois chuveiros e dois lavatórios.

Para o desenvolvimento do sistema de esgoto sanitário, adotou-se um tubo de queda para cada banheiro, como pode ser observado na figura 4, um para receber os efluentes de lavagem do ralo seco da área de serviço e um para o ralo seco da varanda. Os tubos de queda vão do quinto pavimento ao térreo, descendo pelo prisma de ventilação, com um desvio horizontal pelo teto do térreo até a parede externa mais próxima, ou pelos fundos do edifício. Todos os tubos de queda são ligados diretamente em caixas de inspeção. As tubulações dos banheiros são ventiladas por coluna de ventilação secundária individual para cada banheiro de acordo com a NBR 8160:

Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução de 1999 [17]. Para coleta de efluentes de sabão e detergente provenientes de tanque e máquina de lavar roupa, é dedicado um tubo secundário em cada área de serviço que, no térreo, faz ligação em caixas sifonadas especiais, que posteriormente ligam na caixa de inspeção mais próxima. E para coleta de efluentes gordurosos provenientes da pia é dedicado um tubo de gordura para cada cozinha, estes, ligados, no térreo, em caixas de gordura, que ligam na caixa de inspeção mais próxima. As caixas de inspeção têm afastamento máximo de vinte e cinco metros entre si.

Os sistemas foram traçados e dimensionados com base nas normas NBR 5626: Instalação predial de água fria de 1998 [18] e NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente de 1993[19].

Para a modelagem dos sistemas hidrossanitários, foram utilizadas famílias e templates externos ao Revit, fornecidos por fabricantes de peças sanitárias e tubulações como a Celite e a Tigre com parâmetros definidos de acordo com os produtos de mercado. Ao aplicar a ferramenta Transfer Project Standards ou “transferir padrões de projeto” foi possível transferir as tubulações comerciais contidas em um outro template para o modelo expositivo. Isso se fez

necessário devido ao fato da família de tubulações (da ferramenta pipe) ser uma família de sistema que não pode ser inserida usando a ferramenta de carregar famílias.

Ao fazer o traçado das tubulações dos sistemas hidrossanitários o Revit aloca automaticamente as conexões de acordo com o ângulo da ligação e com o diâmetro correspondente ao do traçado da tubulação. As conexões que o Revit aloca são famílias existentes e carregáveis no projeto sendo que é possível alterar o parâmetro de preferências de roteamento da tubulação para que sejam inseridas, prioritariamente ou apenas, as conexões específicas que serão previstas em projeto, auxiliando na especificação da planilha de contabilização de materiais e no orçamento.

A Figura 3 mostra o isométrico das instalações de água fria (em azul) e água quente (em vermelho) no apartamento 01.

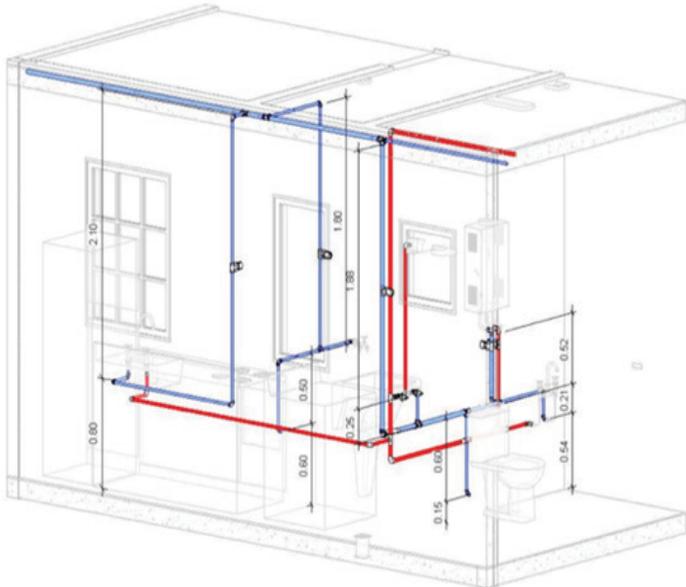


Figura 3 – Isométrico das instalações de água quente e água fria.  
Fonte: Autores

Para desenho da tubulação de esgoto e de ventilação é possível definir uma inclinação para o traçado, se inclina para cima ou para baixo e quanto por cento de inclinação.

Ao encontrar um conector, porém, dificilmente o mesmo se encontrará no mesmo nível de chegada da tubulação, sendo necessários ajustes, o Revit faz estes ajustes automaticamente ao conectar o tubo, dando a opção de nivelar os elementos alterando a inclinação da tubulação ou adicionando um segmento vertical até o nível do conector.

A Figura 4 mostra um corte passando pela suíte do apartamento 01 e exemplifica os dois tipos de ajustes para

nivelamento das conexões. Na tubulação de esgoto o valor da inclinação passou de 1,00% para 1,15% para se conectar no tubo de queda, enquanto que a tubulação de ventilação, para não receber efluentes, foi conectada por cima da tubulação, criando um segmento vertical.

A Figura 4 mostra também que, uma vez definida a inclinação, mesmo fazendo o traçado em planta, apenas longitudinalmente, a tubulação é modelada com a inclinação prevista, provendo mais informações visuais para o posicionamento e o melhor roteamento da mesma ao se aproximar do modelo real a ser construído.

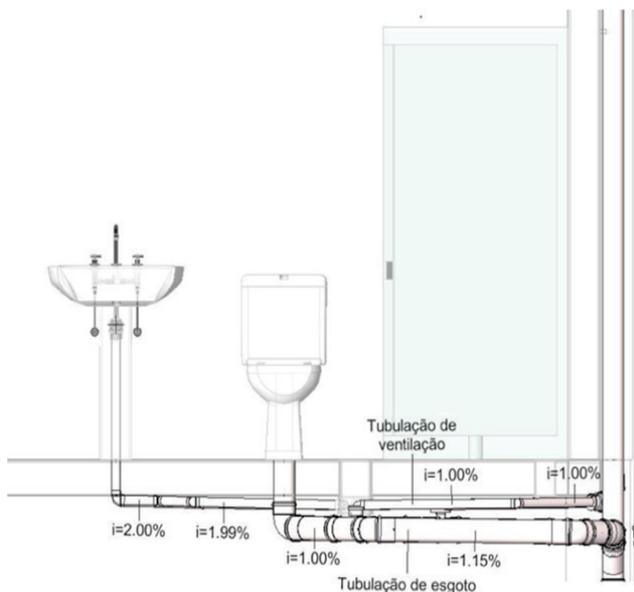


Figura 4 – Vista em elevação da suíte do apartamento 01  
Fonte: Autores

Vale destacar que, apesar do sistema ter sido feito de forma manual, o Revit tem uma ferramenta de geração de sistemas em que, selecionando os equipamentos do sistema, o programa faz a ligação virtual entre eles e possibilita gerar um traçado automático editável com diferentes soluções de roteamento, podendo ser feita a escolha dentre estas opções ou criar uma própria.

Esta forma de roteamento automático, porém, gera muitos erros de traçado, principalmente para mudanças de direção entre as peças, sendo preferível fazer todo o traçado de forma manual.

O programa apresenta também uma ferramenta de conexão automática que permite, ao selecionar uma conexão e escolher a opção de “conectar a”, selecionar a tubulação que o projetista desejar que seja conectada e o Revit cria um roteamento automático para fazer a conexão. A



## 4.2 Limitações do Software Revit de Plataforma BIM

O fato das famílias de sistema terem parâmetros restritos, muitas vezes atrasam o projeto, como no caso da fiação que não possui parâmetro de marcação de fio de retorno, que em uma família com parâmetros não restritos, seria de fácil alteração mas para este caso, requisitou a criação de uma nova família que não é totalmente otimizada para a tarefa e acaba sendo redundante, que o Revit oferece marcações automáticas de fase, neutro e terra.

O desenvolvimento de famílias também pode se tornar uma tarefa bem complexa devido ao alto número de definições, que devem ser atribuídas gerando, às vezes, famílias incompletas, que não cumprem o esperado e impossibilitam o uso de outras ferramentas do sistema, como as opções de análise de sistema para cálculo da tubulação, por exemplo, que são dependentes de parâmetros destas famílias, tornando a procura, pelo equipamento defeituoso em um sistema completo de tubulações, uma tarefa árdua e, possivelmente, pior do que fazer o dimensionamento no papel.

Por fim, durante o desenvolvimento do modelo, ocorreram alguns erros de sistema. Durante o traçado das tubulações de esgoto, as paredes perderam as propriedades gráficas no pavimento, desaparecendo da vista, mesmo que definidos os parâmetros de visibilidade para exibir as paredes.

Foi necessária a criação de um novo nível (ferramenta que gera as vistas em planta) em cima do antigo. Também ocorreram alguns erros que fecharam o programa, mas sempre foi possível salvar o arquivo antes de fechar.

## 5. Referências

- [1] SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA - SEIL - PARANÁ. BIM no Mundo - PORTAL BIM PARANÁ. Disponível em: <<https://www.bim.pr.gov/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17>>. Acesso em: 4 ago. 2017.
- [2] Donya Mehran, Exploring the Adoption of BIM in the UAE Construction Industry for AEC Firms. Procedia Engineering, Vol. 145, 2016, Pages 1110-1118, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.144>.
- [3] MULLER, L. S. Utilização da tecnologia BIM (Building Information Modeling) Integrado a Planejamento 4D Na Construção Civil. p. 100, 2015.
- [4] LORIMER, J. Why do we need BIM? | NBS. Disponível em: <<https://www.thenbs.com/knowledge/Why-do-we-need-bim>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

- [5] BARONI, L. As vantagens da plataforma BIM incluem todo o ciclo de vida do edifício, desde os estudos de viabilidade até a demolição | aU - Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <<https://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/vale-a-pena-migrar-224372-1.aspx>>. Acesso em: 1 ago. 2017.
- [6] EASTMAN, C. et al. BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors Bookman, 2014.
- [7] Eastmans, C. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States™ | National BIM Standard - United States. Disponível em: <<https://www.nationalbimstandard.org/faqs#aq1>>. Acesso em: 1 ago. 2017.
- [8] ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, p. 602–613, 2009.
- [9] GRAPHISOFT. BIM with ARCHICAD - YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jZWYhCUy5-I>>. Acesso em: 1 ago. 2017.
- [10] BENTLEY SYSTEMS. Bentley Solutions for Architecture and Engineering. Disponível em: <<https://www.bentley.com/en/solutions/project-delivery/architecture-and-engineering>>. Acesso em: 2 ago. 2017
- [11] AUTODESK. Família Revit | Software BIM | Autodesk. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/overview>>. Acesso em: 2 ago. 2017.
- [12] TRIMBLE BUILDINGS. Tekla Structures Trimble Buildings. Disponível em: <<https://www.buildings.trimble.com/products/tekla-structures>>. Acesso em: 2 ago. 2017.
- [13] BRASIL, Decreto Nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm)
- [14] NABUCO, M. A utilização do Sistema BIM (Building Information Modeling) no Planejamento de Custos da Construção Civil. 2016.
- [15] RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X. DE; MORAIS, M. DE. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? Ambiente Construído, v. 13, n. 2, p. 151–165, 2013.
- [16]
- [17] Freitas, W.A., Estudo de projetos de instalações prediais em software building information modeling (bim). Projeto de Graduação Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1998.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

# Avaliação Preliminar e Gestão de Risco Integrada na Construção Civil: Um estudo de caso

*Isabela Pierone de Macedo, Laís Amaral Alves e Elaine Garrido Vazquez*

**A** competitividade do mercado atual da construção civil criou a necessidade de reduzir prazos e custos na execução das obras. Por causa dessa necessidade e a grande dificuldade para atendê-la, devido à falta de priorização do gerenciamento, as empresas de construção estão investindo cada vez mais tempo e dinheiro na implantação de sistemas de gestão, buscando atingir um planejamento físico-financeiro mais eficiente. O presente trabalho aborda a necessidade do gerenciamento e do planejamento no sucesso de um projeto. É aplicada a Análise Preliminar de Riscos (APR) em um estudo de caso para verificar os principais riscos e os graus de probabilidade e impacto, além do plano de ação sugerido. Esse trabalho visa demonstrar que a aplicação de técnicas de gerenciamento de riscos pode gerar uma possível redução dos prejuízos, aumentando a produtividade, a qualidade e melhorando a imagem das empresas.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, houve uma progressiva evolução na forma de construção. Essas mudanças foram motivadas, principalmente, pela mudança do conceito de habitabilidade, sustentabilidade, acessibilidade, qualidade, novos materiais, sistemas construtivos, racionalização do projeto e modernização dos equipamentos de apoio à construção.

Deficiências no planejamento e no gerenciamento estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor da construção civil, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos. O mercado da construção civil, devido à rapidez das transformações tecnológicas, associadas à competitividade cada vez mais acirrada e abrangente entre as empresas, exige profissionais cada vez mais capacitados.

As empresas e os contratantes exigem qualidade associada à produtividade e cronogramas cada vez mais apertados. A satisfação do cliente tornou-se prioridade, e é preciso se adaptar a um novo processo de execução de projeto e obra. A produção e o planejamento, portanto, devem ser elaborados dentro desta nova realidade.

A produtividade está relacionada com a qualidade e desempenho, com a eliminação do desperdício de materiais, mão de obra e equipamentos, acompanhados da utilização de técnicas, tecnologias e normas que respeitem o meio ambiente.

Deve-se sempre estar em busca de boas soluções com qualidade e custos compatíveis de execução, associando ações que elevem o processo produtivo, aproveitando os novos conceitos de planejamento, gerenciamento e de execução de obras.

Precisa-se considerar o projeto do empreendimento, definindo e especificando a maior quantidade de informações e detalhes possíveis para que se tenha uma execução mais racional e simplificada. Uma obra de qualidade, realizada dentro do prazo e custo previstos, é resultado de um bom projeto aliado a um planejamento e gerenciamento.

Este trabalho tem como objetivo analisar o processo de gerenciamento, com ênfase a Gestão de Riscos, na construção civil e sua influência na melhoria do custo e do prazo das obras. Por meio de uma avaliação preliminar de riscos (APR) aplicada a um Estudo de Caso, pode-se observar os principais riscos e os graus de probabilidade e impacto, além do plano de ação sugerido. Esse trabalho visa

apresentar, pela aplicação de técnicas de gerenciamento de riscos, a possível redução dos prejuízos, aumentando a produtividade, a qualidade e melhorando a imagem das empresas.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Planejamento

Pode-se dizer que o planejamento é um método para definir qual a melhor sequência das ações que vão gerar valor. Devem-se conhecer os recursos financeiros disponíveis para cada empreendimento [1].

Para Ackoff [2], planejamento pode ser considerado “a definição de um futuro desejado e de meios eficazes de alcançá-lo”. De acordo com essa definição, nota-se que a tomada de decisão está intrinsecamente relacionada com o planejamento, pois é através do processo de decisão que as metas estabelecidas nos planos podem ser cumpridas.

Na construção civil, é constatada com grande frequência, a ausência ou a inadequação do planejamento das obras. Essa deficiência do planejamento resulta em consequências desastrosas para uma obra e para a empresa que a executa.

Encontram-se casos de não cumprimento de prazos, estouros de orçamento, atrasos injustificados, indisposição do construtor com o cliente e até de litígios judiciais para recuperação de perdas e danos [3].

A melhor maneira de minimizar esses impactos é produzir um planejamento lógico e racional. Assim, dispõe-se de um instrumento com critérios técnicos, de fácil manuseio e interpretação [3].

### 2.2 Riscos

Os riscos positivos e negativos são usualmente chamados de oportunidades e ameaças. O projeto pode ser aceito se os riscos estiverem dentro das tolerâncias e em equilíbrio com as recompensas que podem ser obtidas ao assumir os riscos. Riscos positivos que oferecem oportunidades dentro dos limites de tolerância podem ser adotados com objetivo de gerar valor aprimorado [4].

Para Schuyler [5], risco é o efeito acumulativo da probabilidade de incerteza que pode afetar de forma positiva ou negativa o projeto.

Segundo Modarres et.al [6], o risco pode ser definido

como o potenciador da perda, resultante da exposição ao perigo. O risco pode ser visto de forma qualitativa e quantitativa. Qualitativamente, quando há uma fonte de perigo sem que exista proteção face à exposição ao perigo, que pode possibilitar perda ou danos. Esta possibilidade é designada por risco. A análise quantitativa do risco envolve estimativas dos graus ou probabilidade de perdas.

## 2.3 Gestão de Riscos

As respostas aos riscos relemem o equilíbrio entre aceitar riscos e evitar riscos. Para ter êxito, a organização deve estar comprometida com uma postura proativa e consistente do gerenciamento dos riscos durante o projeto. É preciso fazer uma escolha consciente em todos os níveis da organização para identificar ativamente e buscar o gerenciamento eficiente dos riscos durante o ciclo de vida do projeto.

Os riscos do projeto podem existir quando o projeto é iniciado. Não é seguro avançar um projeto sem focar no gerenciamento dos riscos de forma proativa, pois é grande a chance do surgimento de problemas devido a ameaças não gerenciadas [4].

Para Tesfamariam et al. [7] a gestão de riscos é utilizada para garantir que o risco seja mantido dentro de um nível aceitável, evitando qualquer efeito grave ao público e ao ambiente.

De acordo com Verzuh [8], toda gestão de projeto é um gerenciamento de risco. Pode-se determinar que o gerenciamento dos riscos é o trabalho principal de uma gestão de projetos, considerando que as técnicas de gestão são também técnicas de prevenção de riscos. A identificação dos riscos associados aos projetos deve ser realizada desde a sua fase inicial.

Segundo Alencar e Schmitz [9], a gestão de risco de qualquer projeto é de modo simplificado o tratamento dos riscos próprios das atividades de um projeto. Investir e priorizar a análise de riscos como parte do gerenciamento é uma prática importante para diminuir as falhas em projetos [10].

## 3. Estudo de caso

A Empresa X, responsável pela incorporação e construção do empreendimento analisado, possui diversos procedimentos que padronizam todas as etapas de execução da obra, assim como as etapas complementares, incluindo a execução do orçamento e do planejamento da obra. O

estudo de caso analisado compreende um terreno de área de aproximadamente 1.769,41 m<sup>2</sup>, localizado no bairro da Tijuca, cidade do Rio de Janeiro. A empresa em estudo é do ramo de construção civil e atua nos setores residenciais e comerciais.

O terreno fica situado na Rua Haddock Lobo, rua de grande movimento. A imagem de satélite da região antes da execução da obra é apresentada na Figura 1.



Figura 1 – Imagem de satélite anterior a 2013 com a localização do empreendimento destacada.

Fonte: Google Maps [11]

O empreendimento é comercial, com área total construída de 10.829,46 m<sup>2</sup>, composto de um único bloco, com 215 salas e 5 lojas. Possui 1 subsolo de garagem, pavimento térreo onde ficam localizadas as lojas e vagas de garagem, pavimento jirau, composto pelo mezanino das lojas e estacionamento, um pavimento garagem, 9 andares tipo com 22 salas, 1 andar com 17 salas, dentre elas, 6 com terraços descobertos, e pavimento telhado.

Para a definição e categorização e da matriz de Probabilidade x Impacto, foi elaborada a planilha de identificação de riscos, apresentadas no ANEXO A. Os graus foram definidos através de uma análise paramétrica e são apresentados na Tabela 1 e na Tabela 1 com a descrição de impacto. A Tabela 2 apresenta o grau de risco, multiplicando o grau de Probabilidade e o grau de Impacto e os respectivos planos de ação. Através dos valores obtidos como grau de risco foi possível trabalhar com uma hierarquização para o plano de ação sugerido. Na seção 4, são apresentados os riscos classificados como de planejamento e contratual.

## 4. Análise dos principais riscos levantados

### 4.1 Atraso no prazo de execução da obra

O gasto pessoal permanente, que é referente aos funcionários da Empresa X que atuaram na obra, foi calculado baseado no prazo determinado inicialmente.

A obra atrasou, e, devido a isso, houve aumento na quantidade de meses previsto para alguns cargos, porém, o gasto previsto teve uma redução em reais. Isso se deve ao fato de que, no decorrer da obra, houve variações em relação aos funcionários que formavam a equipe inicial.

### 4.2 Falha na sondagem do terreno devido a pequena quantidade de pontos verificados

Foram feitos 10 pontos de sondagem distribuídos pelo terreno. O projeto de fundação inicial, era composto de 12 estacas raiz, 5 blocos, 130 perfis metálicos e 46 sapatas. Durante a cravação dos perfis, foram encontradas interferências que não haviam sido identificadas na execução dos pontos de sondagem realizados. Inicialmente, foram encontrados matacões espalhados por vários pontos do terreno, como pode ser verificado na Figura 2.



Figura 2 – Retirada de matacões junto ao muro dos fundos  
Fonte: Autores

A partir de então, foi investigada a possibilidade de outras interferências. Foram encontradas, além de matacões em diversos pontos, fundação vizinha invadindo o terreno da obra e laje construída anteriormente.

Devido às interferências encontradas e o consequente atraso no início da execução do projeto, foi decidido pela alteração do cronograma inicial, que tinha como início da obra Fevereiro de 2013, e passou a ter início em abril de 2013. Foi

feita uma nova análise do planejamento inicial, e, apesar da alteração na data de início do cronograma, devido a ajustes no tempo de execução dos serviços, não houve inicialmente alteração na data de conclusão da obra.

As interferências encontradas criaram a necessidade de ser feita uma investigação na fundação e estrutura do prédio vizinho para que fosse analisada a tomada de decisão necessária para resolver a situação. O prédio investigado é uma construção muito antiga, e apresentou uma fundação formada por pedras. As paredes foram descascadas cerca de 30 m e não foi encontrado nenhum pilar ou viga ou sinal de estrutura aparente, somente pedras e tijolos maciços.

Após análise, foi concluído que a fundação que invadia o terreno não poderia ser removida devido a sua fragilidade. Sendo assim, foi necessário um deslocamento no projeto e substituição dos perfis iniciais por perfis duplos em alguns pontos. Foi verificado que os pontos de sondagem foram realizados fora dos locais onde se encontraram as interferências, por isso elas não foram identificadas antes da elaboração do projeto.

### 4.3 Contratação de empreiteiro de baixa qualidade

O orçamento foi realizado com uma proposta para a execução do serviço de esquadria de alumínio junto a uma empresa, no valor de R\$ 1.109.326,99. Porém, após o início da obra, foi decidido que o serviço seria realizado por outra empresa, mais bem cotada no mercado devido ao baixo desempenho que a empresa contratada havia apresentado em outras obras.

Apesar da escolha ser vantajosa pela garantia da qualidade do serviço e diminuição do risco de atraso na execução do mesmo, o fechamento junto à nova empresa ficou em R\$ 2.177.590,00, o que acarretou num aumento de R\$ 1.068.263,01, um valor considerável se tratando de um único serviço e um aumento de 96% em relação à contratação inicial.

### 4.4 Contratação de empreiteiro de baixa qualidade

Inicialmente, o revestimento interno das paredes do prédio seria de gesso, como definido em projeto. Porém antes do início da execução do serviço, a premissa foi alterada, sendo decidido pela substituição do revestimento de gesso pelo emboço, como mostrado na Figura 3, ocasionando um distrato da empresa contratada inicialmente. Foi realizada

uma contratação no valor total de R\$ 385.902,87, referente à execução do emboço interno, o que ocasionou um considerável aumento custo.



Figura 3 – Emboço sendo executado nas paredes internas do empreendimento  
Fonte: Autores

#### **4.5. Alteração na contratação de empreiteiro previamente determinado**

Houve uma redução no custo dos serviços e materiais das instalações elétricas devido ao orçamento ter utilizado uma proposta de uma determinada empresa, realizada antes da liberação dos projetos executivos. A proposta que foi utilizada é de R\$ 2.284.750,00, porém, o serviço foi contratado com outra empresa, cujo valor de contrato foi R\$ 1.513.000,16. Sendo assim, houve uma redução de R\$ 771.749,84, referente a essa mudança de empresa contratada e ao fechamento da proposta inicial num período anterior à liberação dos projetos executivos, o que ocasiona prováveis e consideráveis mudanças de projeto.

### **5. Considerações Finais**

A realidade mundial, cada vez mais cercada por incertezas, mudanças de mercado, redefinições no papel das organizações, tem demandado um aumento do conhecimento da gestão de riscos.

Entretanto ainda podemos observar, durante a fase de implementação das obras, que a gestão e acompanhamento destes riscos são negligenciados, o que pode levar ao não cumprimento das metas de prazo e custo.

Um dos principais motivos das empresas darem pouco foco a esta área de conhecimento, é que no Brasil, de modo geral, existe uma aversão ao planejamento, por se tratar de um

tema intangível em primeiro momento, quando comparado a outros processos organizacionais que geram resultados mais imediatos.

A cultura brasileira está focada na resolução de questões que sejam visíveis, inclusive corrigindo problemas depois ou ainda disfarçando os problemas depois que eles acontecem.

A ideia de satisfação das organizações de se dar por satisfeita em conseguir controlar diariamente apenas o seu sistema produtivo está ultrapassada. Deve fazer parte da cultura organizacional, que não ter aversão ao risco é uma forma das empresas se manterem com vantagem competitiva e, assim, operando por longo prazo e com um aumento sensível nas possibilidades de sucesso.

Dessa forma sugere-se que o risco é uma escolha, envolvendo uma tomada de decisão, possuindo consequências que podem ser boas ou ruins para o futuro das instituições. Dada a importância dessas consequências, tal decisão deve ser baseada em critérios coerentes com a realidade de cada organização, determinando a necessidade de medir e gerenciar o risco.

O gerenciamento de riscos, apesar de ser uma atividade cada vez mais complexa devido ao grande número de incertezas existentes, se torna cada vez mais necessário. A identificação, análise, monitoramento e controle dos riscos em todo e qualquer projeto, deve ser um trabalho constante durante todas as suas fases.

No trabalho, pode-se observar riscos de origem contratual e de planejamento, obtidos através de uma análise paramétrica da Empresa X. Com a análise dos riscos apresentados, é possível afirmar que a atuação na prevenção pode gerar uma possível redução dos prejuízos, aumentando a produtividade, a qualidade e melhorando a imagem das empresas. Conclui-se que administrar riscos é atividade crítica e essencial para qualquer empresa.

## 6. Referências

- [1] XAVIER, Ivan. Orçamento, Planejamento E Custos De Obra. São Paulo: Apostila da Fupam – Fundação Para A Pesquisa Ambiental, 2008.
- [2] ACKOFF, R.L. Planejamento empresarial. Rio de Janeiro: LTC, 1976.
- [3] MATTOS, Aldo Dórea. Planejamento e controle de obras. São Paulo: Editora Pini, 2010.
- [4] PMI - Project Management Institute, Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®), 6ª edição ed. Pennsylvania, 2017.
- [5] SCHUYKER, J. R. Risk and decision analysis in projects. 2ed. Newton Square: PMI, 2001.
- [6] MODARRES, M., KAMINSKIY, M. & KRIVTSOV V. Reliability engineering and risk analysis. Quality and reliability. Nova York: Basel, 1999.
- [7] TEFAMARIAM S.; SADIQ R.; NAJJARAN H. Decision Making Under Uncertainty-An Example for Seismic Risk Management. Risk Analysis, vol. 30, 2010.
- [8] VERZUH, E. MBA Compacto em gestão de Projetos, Rio de Janeiro: Editora Campos, 2011.
- [9] ALENCAR, A. J., & SCHMITZ, E.A. Análise de risco em gerência de projetos. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasport, 2009.
- [10] MANNINI, Paulo, PRADO, Edmir P. Vasques. Técnicas para Análise de Risco: Uma Avaliação da Literatura sobre Gerenciamento de Projetos de SI. São Paulo: VI SINGEP, 2017.
- [11] [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com) Acesso em: 28 nov. 2018.



**GESTÃO E  
GERENCIAMENTO  
DE PROJETOS** *360h*

**Pós-Graduação  
na POLI/UFRJ**

Formação de gerentes, executivos e  
gestores líderes em projetos

**Para maiores informações  
[inscricao.nppg@poli.ufrj.br](mailto:inscricao.nppg@poli.ufrj.br)**

# Aplicação da modelagem da informação da construção (BIM) no projeto do canteiro de obras

*Nathan Santos, Luiz Antonio Sarti e Sheila Mara Batista*

***Na*** construção civil, as atividades de fluxo físico ou transporte ainda representam uma parcela considerável do total de atividades necessárias para o desenvolvimento dos empreendimentos. Nesse contexto, estudos sobre a melhoria do arranjo físico do canteiro de obras se fazem cada vez mais necessários. Neste estudo, utilizou-se a tecnologia Building Information Modeling (BIM) associada com o método Systematic Layout Planning (SLP) simplificado para a concepção do projeto do canteiro de obras. Para isso, o método de pesquisa foi o de estudo de caso, fazendo uma abordagem comparativa da realidade do canteiro em estudo com um modelo proposto com o uso do BIM durante a fase de execução da vedação e revestimentos. Dessa forma, por meio da modelagem BIM-4D do canteiro em estudo, foi realizada uma avaliação dos resultados. Verificou-se que, ganhos qualitativos relacionados à facilidade de visualização do modelo pelos diferentes agentes envolvidos foram obtidos. Além disso, obteve-se maior facilidade para alteração do projeto de acordo com o planejamento e maior interoperabilidade com outros softwares de projeto. Em relação aos ganhos quantitativos, obteve-se uma mensuração do espaço de armazenamento necessário e redução de 48 % na distância percorrida para transporte de blocos e 27 % para transporte de argamassas e grautes. projeto de acordo com o planejamento e maior interoperabilidade com outros softwares de projeto. Em relação aos ganhos quantitativos, obteve-se uma mensuração do espaço de armazenamento necessário e redução de 48 % na distância percorrida para transporte de blocos e 27 % para transporte de argamassas e grautes.

## 1. Introdução

Devido à crescente demanda por projetos mais sustentáveis, torna-se cada vez mais necessária uma boa gestão dos recursos disponíveis e o uso de ferramentas que ajudem na organização do ambiente de trabalho. Nesse sentido, a busca por modelos eficientes mostra-se cada vez mais presente nos meios acadêmicos e científicos [1].

Uma estratégia tem sido o conceito de agregar valor às obras na construção civil brasileira, mesmo que essa se apresente tradicionalmente com níveis de produtividade mais baixos que outras indústrias, como a automobilística [2].

A construção é reconhecida como um setor com elevados níveis de desperdícios devido à baixa industrialização do sistema construtivo e ausência de projetos complementares, principalmente projetos para produção [3].

Para Ciampa [4], as atividades que geram valor ao produto dentro de um canteiro de obras são muitas vezes relacionadas aos processos de operação e podem ser medidas de forma a identificar oportunidades de melhoria. Assim, são necessários estudos que diminuam o percentual de atividades de fluxos, que não agregam valor, pois estas, apesar de indispensáveis, podem representar tempo e recursos além do necessário. Para uma melhor análise, pode-se utilizar dos princípios da construção enxuta [4].

Outra contribuição é a inclusão da tecnologia de modelagem da informação da construção (BIM - Building Information Modeling, na língua inglesa), que pode ser uma alternativa para a concepção prévia do projeto de canteiro, devido à possibilidade de interoperabilidade entre os projetos existentes, visualização mais acessível e integração com o planejamento da obra. Além disso, a utilização de modelos BIM-3D e BIM-4D pode se tornar importante para o processo de tomada de decisão.

Alguns autores como Eastman et al. [5] e Koo e Fischer [6] definem a modelagem 4D como um processo de associação entre um modelo 3D do produto da construção com um plano de atividades distribuídos no tempo.

Durante o processo de projeto do empreendimento é possível tomar decisões de grande impacto no tempo e custo da obra de maneira mais eficaz. Fabricio e Melhado [7] afirmam que, assim como em outras indústrias, o processo de projeto (layout) na construção de edifícios é uma etapa

importante para a obtenção de um produto de maior qualidade. Podem ser criados projetos complementares voltados para o desenvolvimento e organização do processo de produção, no caso da construção civil, os canteiros de obras.

Segundo Bargstädt [8], as atividades inerentes ao canteiro de obras necessitam de um conjunto de informações, as quais devem possuir alto nível de confiabilidade e devem ser fornecidas no momento oportuno. Para a gestão, somente as informações geométricas não são suficientes [8], sendo necessário contar com informações, como as especificações sobre o tipo material a ser utilizado e parâmetros como resistência e desempenho.

Tommelein [9] afirma que a modelagem 4D pode ser utilizada para diversos propósitos, tais como, visualização durante a concepção, construção e marketing; estudo de alternativas e definição do sequenciamento de montagem.

Observa-se que, pesquisas têm sido realizadas em busca de métodos de gestão de canteiros de obras, tais como, o gerenciamento do canteiro de obras por meio de projetos repetitivos [10], gerenciamento do canteiro de obras de sistemas industrializados [11] e planejamento de layout dinâmico [12]. Outros pesquisadores atuam em pesquisas com foco no desenvolvimento de modelos 4D para o gerenciamento de canteiros de obras [13, 14].

No Brasil, a grande maioria dos canteiros de obras não são padronizados e possuem estruturas variáveis ao longo da construção. Cada fase do empreendimento possui necessidades e elementos específicos, sendo necessários estudos logísticos integrados. Assim, torna-se necessário o uso de técnicas e ferramentas para projetar e gerenciar o espaço físico com eficiência e segurança.

Nesse contexto, o presente estudo propõe um procedimento para elaboração do projeto do canteiro de obras com base nos conceitos sistemáticos de organização dos arranjos físicos e no BIM-4D.

## 2. Revisão Bibliográfica

Para Eastman et al. [5], a tecnologia associada ao BIM, pode ser vista como “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Dessa forma, o modelo BIM pode ser munido de informações como a representação espacial do modelo, quantificação dos componentes, bem

como informações particulares de cada elemento, como densidade, resistência, cor, dentre outros.

Essa capacidade multidimensional do BIM pode ser definida como modelagem 'nD', de forma a tornar possível gerar modelos com vários tipos de informações [5]. Os modelos se iniciam com o 3D, que representam a modelagem das três dimensões do objeto de forma espacial, podendo conter parâmetros ou informações relacionadas ao tipo de elemento a ser construído.

Outra possibilidade que tradicionalmente se apresenta como a dimensão 4D, consiste na incorporação do tempo ou do cronograma do empreendimento aos elementos do modelo representado em 3D [15]. Ao incorporar a estimativa de custos no modelo, obtêm-se a dimensão 5D, possibilitando ver a evolução dos custos ao longo do desenvolvimento da construção [15]. O uso considerado como 6D é o que avalia aspectos de sustentabilidade, fazendo-se análise energética, além de ser possível verificar a escolha de instalações de acordo com a eficiência energética [15]. Por fim, com o uso da dimensão 7D é realizado a gestão de uso e manutenção da construção, levando-se em consideração todo seu ciclo de vida [15].

Posteriormente, com o avanço dos estudos da tecnologia BIM, foi introduzido o conceito da dimensão 8D, na qual é incorporado a previsão de riscos durante a construção e operação, adicionando elementos de segurança e prevenção de acidentes [16]. Na Figura 1 são representadas as dimensões que o BIM contempla.

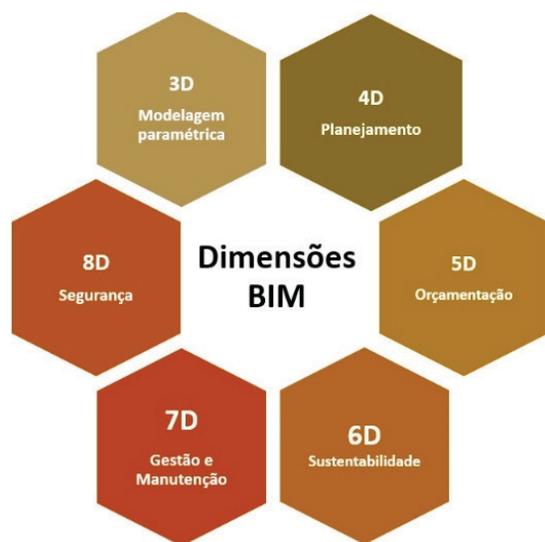


Figura 1 – Dimensões do BIM  
Fonte: Adaptado de Sienge [16].

Na construção civil, por muitos anos, o desenvolvimento de projetos de engenharia esteve culturalmente atrelado a representações em 2D, por meio da planificação do empreendimento. Entretanto, tal método já se mostrou suscetível a erros, seja por falha de compatibilização entre diferentes áreas de projeto, ou pelo simples equívoco na interpretação das representações 2D [17].

Segundo Fouquet e Serra [18], a introdução de informações direcionadas nos modelos 3D, permite a maior compressão do projeto por todos os intervenientes. Também, permite a utilização da detecção de conflitos (clash detection) possibilitada por alguns softwares como Revit ou Navisworks, por meio da resolução de problemas de compatibilização espacial de maneira mais simples, se comparado ao processo tradicional de sobrepor os desenhos 2D.

A utilização da tecnologia BIM como uma ferramenta de simulação do layout do canteiro de obras, em suas diferentes etapas possibilita a sua melhor gestão do canteiro [19]. Com isso, é possível atrelar o uso da modelagem 4D para dimensionamento do layout do canteiro ao longo das diferentes etapas da construção, a partir do planejamento e projetos do produto [20].

## 2.1 Canteiro de Obras

A Norma Regulamentadora NR-18 [21] define o canteiro de obras como área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução à construção, demolição ou reparo de uma obra. A Norma Brasileira NBR 12.284 [22] define que o canteiro de obras pode ser visto como a área destinada à execução e apoio dos trabalhos da indústria da construção, dividindo-se em áreas operacionais e áreas de vivência. Desta forma, a principal função do canteiro e obras é propiciar infraestrutura para produção do edifício, sendo que sua eficiência depende do projeto do produto e da produção, e da forma como é gerido [23].

O canteiro de obras pode ser definido também como uma estrutura dinâmica e mutável com o desenvolvimento da obra, devendo assim se munir de informações relacionadas ao cronograma da obra [24].

Segundo Tommelein e Zouein [25], o layout das instalações temporárias, nos canteiros de obras, pode mudar em função do avanço da obra. Dessa forma, percebe-se que a grande maioria das mudanças que ocorrem no layout estão atreladas ao cronograma de construção. Para descrever uma sequência de layouts, que abrangem toda as fases de construção de um

projeto, usualmente utiliza-se o termo layout dinâmico [12].

Ferreira e Franco [23] afirmam que o projeto do canteiro deve atender aos requisitos para produção conforme os processos construtivos definidos, utilizando-se da organização e correta disposição dentro do canteiro. Para isso, é necessário englobar todos os serviços e seus respectivos fluxos físicos e ciclos, considerando o atendimento dos processos inter-relacionados.

Cesar et al. [24] mencionam que existem condicionantes do projeto do canteiro que podem alterar uma tomada de decisão, como: a disponibilidade de espaço no canteiro, a frequência de abastecimento, a velocidade de utilização dos estoques e as programações físicas dos serviços a serem executados.

Segundo Borba [26], para definir um arranjo físico (layout) é necessário “planejar e integrar os caminhos dos componentes de um produto ou serviço”. Tal condição é fundamental na elaboração do layout para a indústria da construção civil que deve integrar e inter-relacionar os fluxos físicos existentes dentro de um canteiro.

Independentemente do tipo de obra sabe-se que existem dinâmicas e configurações diferentes dependentes da etapa de execução para a concepção do projeto do canteiro.

Essa característica temporal do canteiro, visando um bom desenvolvimento da construção, ressalta a importância de o planejamento da execução estar em sinergia com o projeto do canteiro [27].

## 2.2 Fluxos Físicos

Mourão [28] afirma que, para começar o trabalho de organização dentro de um canteiro, é necessário fazer uma análise com base na racionalização dos fluxos físicos. Além disso, o autor observa que as dificuldades de localização das instalações no canteiro, bem como de locomoção são um dos maiores responsáveis pela perda de produtividade na obra.

Para Cesar et al. [24], a sinalização e organização adequada do canteiro contribui para o desenvolvimento dos fluxos físicos. Com a definição do local de armazenagem de cada insumo, evita-se que materiais sejam alocados em locais incorretos, gerando fluxos desnecessários.

Para Alves [29], o uso de ferramentas da qualidade, como o diagrama de processo e o mapofluxograma, podem ser

utilizadas para documentar como o processo desenvolve-se por meio do uso de gráficos e símbolos, o que pode facilitar na compreensão e visualização dos processos e identificação de possíveis falhas. Essas duas ferramentas se complementam, pois enquanto o Diagrama de Processo representa a sequência das atividades que fazem parte do processo, o mapofluxograma registra também o local onde cada uma dessas atividades será desenvolvida, por meio de símbolos alocados em planta de acordo com a atividade executada naquele espaço.

O Mapofluxograma é uma ferramenta visual que pode auxiliar no processo de decisão no planejamento do empreendimento. Além disso, por meio de tal ferramenta é possível realizar diferentes simulações, visando a melhor realização dos trabalhos no canteiro e reduzindo perdas e se baseando em dados e fatos [13].

## 2.3 Systematic Layout Planning

Proposto por Muther [30], o Planejamento de Layout Sistemático (SLP - Systematic Layout Planning, na língua inglesa), é uma sistematização de etapas para a realização de projetos de arranjo físico. Tal sistema baseia-se na estruturação de fases, nas quais aplicam-se procedimentos para identificar, avaliar e visualizar as áreas que compõem o planejamento. Embora não tenha sido desenvolvido especificamente para construção civil, o modelo mostra potencial para aplicação em projetos de canteiro [31].

As inter-relações, o espaço e o ajuste são conceitos fundamentais para o planejamento de qualquer arranjo físico, pois determinam, respectivamente, o nível de dependência entre as atividades; a forma, tipo e quantidade dos componentes; e a melhor forma possível para o arranjo das áreas [30].

Para o levantamento dos dados de entrada, é necessária a realização de uma análise das informações acerca do produto, da quantidade e dos serviços que darão o suporte e o tempo de realização de cada tarefa. Tais tarefas precisam ser levantadas, mostrando os insumos necessários e as relações de dependência entre elas. O fluxo dos materiais necessários à realização das tarefas pode ser determinante para o arranjo, devendo ser determinada a melhor sequência de movimentação dos materiais, bem como a intensidade e frequência dessas movimentações [30].

Integrando os resultados das necessidades, os quais

são obtidos por meio do balanceamento das atividades e espaços necessários, ao diagrama de inter-relações, obtêm-se o diagrama de inter-relações de espaços [30].

Para dar continuidade no arranjo físico, é necessário considerar possíveis mudanças e limitações práticas, como segurança, custo e legislação vigente. Tendo sido feitas essas considerações, podem surgir diversos planos exequíveis, sendo necessário, por fim, a escolha do melhor plano segundo algum critério. Esses critérios podem ter com base as vantagens e desvantagens, ponderação dos fatores ou a comparação de custos de cada alternativa. Após escolhido e aprovado o arranjo físico, este pode ser detalhado por meio do projeto do canteiro, no caso da construção civil [30].

## 2.4 Lean Construction

Após o conceito de Lean Production ou Lean Thinking estarem bem difundidos, foi apresentada uma derivação aplicada à indústria da construção civil, denominada posteriormente de Lean Construction, fazendo as adaptações adequadas à realidade desse setor. Nesse sentido, Koskela [32] elencou os onze princípios da construção enxuta, visando otimizar o processo de construção, reduzindo desperdícios e custos, aumentando a qualidade do produto e melhorando o cumprimento de prazos, sendo os seguintes:

- (1) reduzir a parcela das atividades que não geram valor;
- (2) aumentar o valor do produto por meio da consideração das necessidades do cliente;
- (3) reduzir a variabilidade;
- (4) reduzir o tempo de ciclo;
- (5) simplificar o processo via redução do número de passos ou partes;
- (6) aumentar a flexibilidade a flexibilidade na execução do produto;
- (7) aumentar a transparência no processo;
- (8) focar o controle no processo global;
- (9) Introduzir melhoria contínua no processo;
- (10) manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões e
- (11) referências de ponta (benchmarking).

Para Reis [33], a boa organização do layout do canteiro proporcionada pelo projeto de canteiro contribui para a implantação da Construção Enxuta ao mesmo tempo que pode reduzir significativamente o esforço investido em atividades que não agregam valor ao produto. Além disso, durante a concepção antecipada do layout do canteiro, é possível identificar erros e corrigi-los, colaborando com o

princípio de transparência do processo [32].

## 3. Método de Pesquisa

O método de pesquisa adotado para o presente trabalho foi o de Estudo de Caso complementado por uma intervenção ou proposta de melhoria para o projeto estudado. Para tal, foi realizado contato com instituição pública que tivesse obra na fase de construção considerada crítica, com grande volume de materiais e alto número de funcionários presentes no canteiro de obras. O critério de escolha foi embasado na premissa de facilidade de acesso às informações e documentos do empreendimento, como projetos, orçamento e planejamento, além do acesso físico ao local da obra.

A construção possui 221,13 m<sup>2</sup> de área construída, sendo composta inicialmente por quatro salas de pesquisa, hall de entrada, uma copa, uma área de serviço e dois sanitários.

O edifício possui apenas um pavimento, construído em alvenaria estrutural, que pode ser caracterizado como um sistema racionalizado de construção. A cobertura foi realizada em telhas metálicas. Posteriormente, a construção sofreu um acréscimo de cerca de 70 m<sup>2</sup> por meio de um aditivo de contrato. Tal ampliação fez parte da presente análise.

Um levantamento reunindo as informações acerca das documentações e condições do entorno da obra foi realizado.

As seguintes fontes foram identificadas: projeto das instalações provisórias para o canteiro, cronograma físico-financeiro da obra, planejamento operacional das atividades e registros fotográficos.

### 3.1 Modelagem da proposta de melhoria

Após a avaliação do projeto das instalações provisórias propostas, foi realizada a criação de um modelo em 3D, comparando com o observado no canteiro real. Foram realizadas visitas no canteiro com o objetivo de identificar os locais de armazenamento e as estratégias de entrega de materiais. De posse dos dados, foi dado início à modelagem da proposta de melhoria do projeto do canteiro existente, com foco na aplicação dos conceitos de construção enxuta, com auxílio de softwares BIM, Autodesk Revit 2019 (para modelagem 3D) e Autodesk Navisworks 2020 (para integração com o cronograma da obra 4D).

A escolha de tais softwares partiram das seguintes premissas: disponibilidade de licenças gratuitas para

utilização (estudantis), semelhança entre os comandos com o Autodesk AutoCAD e facilidade de interoperabilidade entre os softwares. Portanto, a criação do modelo 4D norteou-se pela concepção do canteiro tendo como base o método SLP, o cronograma físico e os fluxos físicos programados.

### 3.1 Análise dos Resultados

Após a modelagem da solução proposta, foram realizadas análises, a fim de verificar os ganhos e dificuldades devido a introdução da tecnologia BIM na concepção do canteiro. Para isso, foi determinado o espaço necessário para armazenamento de materiais e componentes e os percursos percorridos dentro do canteiro, além da facilidade de visualização e entendimento do projeto. Em seguida, realizou-se a análise comparativa do modelo proposto e do canteiro de estudo, com foco na resolução dos pontos de atenção encontrados no canteiro real.

Além disso, avaliou-se o uso das ferramentas BIM em sua utilização independente e em conjunto, verificando a interoperabilidade entre elas.

De posse das análises, realizou-se uma comparação dos resultados para então determinar como o modelo proposto colaborou para a melhoria do projeto de fato.

## 4. Resultados

### 4.1 Layout atual do canteiro

Durante a visita, observou-se que a obra estava em fase de execução da estrutura e vedação, e as principais instalações eram a área de vivência confeccionado em madeira com chapas compensadas (Figura 2), almoxarifado em contêiner metálico, área para disposição de agregados, local para betoneira, estoque de blocos, estoque de escoras e caçamba, conforme Figura 3.



Figura 2 – Área de vivência e Administrativa.  
Fonte: Autores.



Figura 3a – Depósito de Agregados.  
Fonte: Autores.



Figura 3b – Depósito de Blocos.  
Fonte: Autores.

Com o posicionamento da central da betoneira e do estoque de blocos, foi possível calcular a distância até o ponto de aplicação, possibilitando a comparação entre as distâncias e consequente verificação da redução da atividade de fluxo de transporte para o transporte de argamassa. Nesse sentido, apresenta-se na Tabela 1 uma comparação das distâncias calculadas. Para o serviço de alvenaria, a Figura 4 (a) apresenta o layout real e na Figura 4 (b) o layout com as melhorias propostas.

Insumo	Distância atual (m)	Distância Proposta(m)	Redução
Bloco	33,6 (BC)	17,5 (B'C')	48 %
Argamassa/ Graute	27,3 (AC)	20,0 (A'C')	27%

Tabela 1- Comparação de distâncias para transporte de blocos, argamassa e graute  
Fonte: Autores

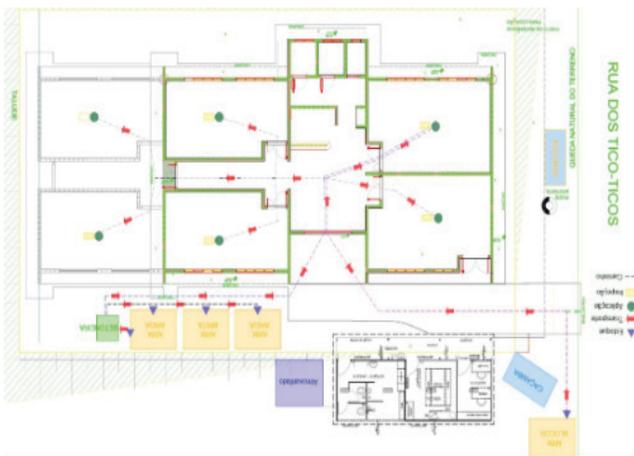


Figura 4a – Proposta de melhoria no layout do canteiro de obras situação real.  
Fonte: Autores.

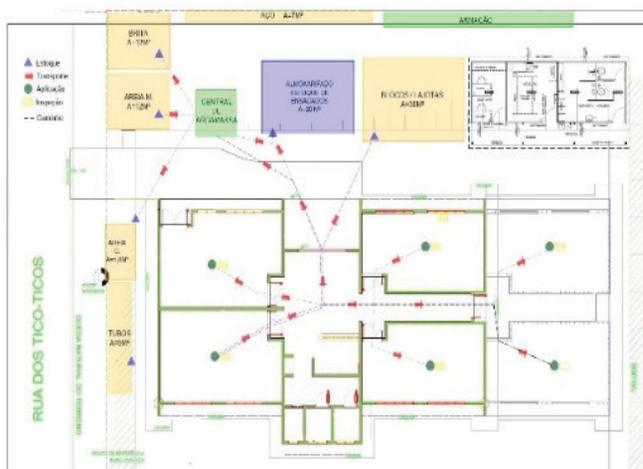


Figura 4b – Proposta de melhoria no layout do canteiro de obras, projeto proposto.  
Fonte: Autores.

Analisando-se a Tabela 1, verificou-se uma redução de 48 % de distância para os blocos comparando os canteiros reais (trecho BC) e proposto (trecho B'C'), bem como uma redução de 27 % para o transporte de argamassa de assentamento e graute.

#### 4.2 Modelagem proposta de melhoria

Para elaboração da proposta de melhoria, iniciou-se por meio da modelagem 3D da construção que será executada, tomando como base os projetos fornecidos pelo contratante. Na Figura 5 (a) apresenta-se a planta baixa inicial (sem o aditivo), utilizada como base para o modelo 3D, enquanto na Figura 5 (b) a fundação e na Figura 5 (c) o modelo 3D.

Após ter sido realizada a modelagem dos elementos

de canteiro, realizou-se a distribuição espacial dos espaços necessários dentro do espaço disponível para o canteiro. Para isso, utilizou-se a metodologia SLP simplificada [34] buscando-se posicionar as áreas de processamento e de estoques relacionados, procurando-se reservar uma posição privilegiada a esses elementos devido à constante utilização. Com isso, buscou-se a diminuição das atividades de transporte, consideradas improdutivas, conforme os princípios da construção enxuta.

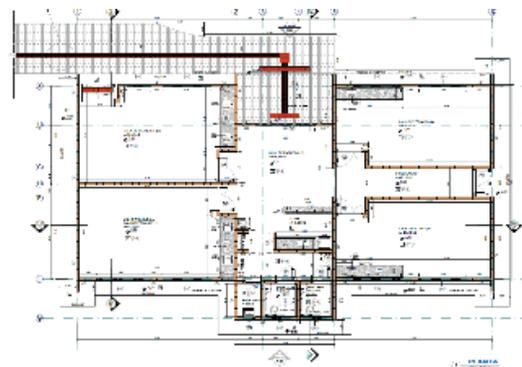


Figura 5a – Modelagem 3D.  
Fonte: Autores.

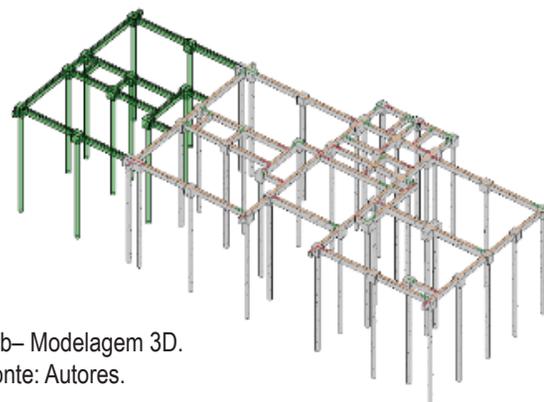


Figura 5b– Modelagem 3D.  
Fonte: Autores.

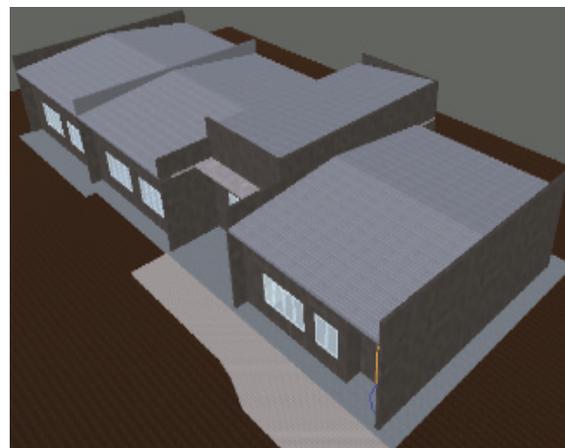


Figura 5c – Modelagem 3D.  
Fonte: Autores.

Para encaixar os elementos dentro da área disponível, verificou-se que seria necessário recuar o tapume cerca de 2 metros na direção norte do canteiro, liberando mais espaço para as central de processamento do aço em canteiro e para as baias de agregados.

Essa mudança tornou possível, por exemplo, a instalação de duas das três baias de agregados lado a lado, na parte frontal, facilitando a descarga deste material que se caracteriza pelo peso e condições de armazenagem específicas. A instalação da área de montagem e armazenamento de aço foi colocada próxima e viabilizada por essa alteração. A área de vivência do canteiro real que ocupava a parte de entrada ao terreno, foi deslocada para uma região mais distante da entrada da obra e do acesso principal à edificação.

A Figura 6 (a) apresenta uma vista superior do canteiro modelado e na Figura 6 (b) apresenta-se uma visão do canteiro em perspectiva.



Figura 6a – Canteiro de Obra Modelado 3D  
Fonte: Autores



Figura 6b – Canteiro de Obra Modelado 3D  
Fonte: Autores

Para a realização da integração do modelo 3D da construção ao planejamento, foi necessário a adaptação do cronograma de entregas de materiais com base no observado no canteiro.

Para isso, utilizou-se como base o cronograma físico-financeiro fornecido, analisando criticamente a sequência executiva da obra. Para a elaboração do cronograma, utilizou-se o programa MS Project, da Microsoft, devido a compatibilidade com o Navisworks, programa onde foram vinculadas as informações de planejamento e modelo 3D, gerando um modelo 4D da construção.

Seguindo as orientações do método SLP simplificado, elaborou-se a carta de interligações preferenciais. Com essa carta, é possível determinar qual tipo de relação existente entre os elementos do canteiro. Para elaboração e validação da carta, buscou-se auxílio de um mestre de obras, com mais de 20 anos de experiência e que atualmente trabalha com empreendimentos residenciais de grande porte com ampla experiência.

Para simplificar a utilização do SLP, foram utilizadas apenas quatro divisões na carta de interligações preferenciais, sendo elas: absolutamente importantes (A), importantes (I), desprezíveis (U) e indesejáveis (X). Além disso, foram determinados os motivos ou justificativas para tais classificações. Os motivos foram representados por números no diagrama, conforme experiência do mestre de obras. No Quadro 1, apresenta-se um recorte do diagrama, onde é possível identificar a existência de condicionantes no posicionamento dos elementos.

Neste caso, conforme Quadro 1, é possível notar que a relação de proximidade das centrais de aço e de argamassa é classificada como indiferente. Verifica-se também que é importante que o estoque de aço esteja próximo da central de aço por dois motivos: (1) proporcionar otimização do fluxo de material, sem interferências e (2) pelo uso de pessoal em comum nos dois locais.

Áreas	Centrais		Estoques		
	Aço	Argamassa	Formas	Aço	Agregados
Central de aço	-				
Central de argamassa	U	-			
Estoque de formas	U	U	-		
Estoque de aço	A,1,2	U	U	-	
Estoque de agregados	U	A,1,2	U	U	-
Estoque de Ensacados	U	A1,2	U	U	U
Estoque de tubos	U	U	U	U	U
Estoque de blocos	U	U	U	U	U
Almoxarifado	I,1	U	U	U	U

Quadro 01 - Recorte da adaptação da carta de interligações preferenciais na forma de planilha  
Fonte: Autores

De posse dos modelos 3D, canteiro e edificação, e do cronograma do projeto realizou-se a simulação 4D. Para isso, foi realizada a importação do modelo criado no Revit para o ambiente do Navisworks. Após a importação, deu-se início ao processo de criação de sets, conjuntos de elementos, agrupando os elementos do modelo conforme a finalidade da seleção, neste caso, corresponder às atividades do cronograma.

Nessa etapa, buscou-se nomear esses sets de acordo com o nome da tarefa correspondente no MS Project para tornar possível o uso da ferramenta Auto-Attach Using Rules do Navisworks no qual, entre outras funções, possibilita a associação dos sets às tarefas de maneira automática, reduzindo o esforço e prevenindo eventuais erros de vinculação.

Após ajustes na configuração, foi possível dar início à simulação, sendo possível pausá-la e alterar as configurações a qualquer momento. Na Figura 7 é possível observar algumas capturas de tela da simulação 4D da edificação e do canteiro. Após os ajustes na simulação e verificação das falhas, foi possível conceber uma proposta de canteiro mais consistente com o cenário idealizado.

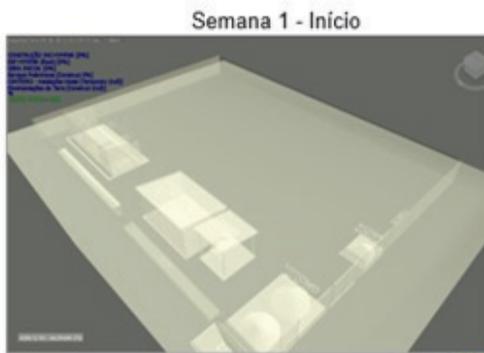


Figura 7a- Modelagem 4D: Semana 1 – início.  
Fonte: Autores

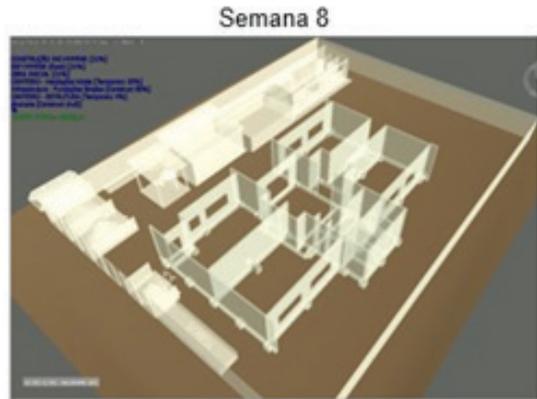


Figura 7b - Modelagem 4D: Semana 8  
Fonte: Autores



Figura 7c - Modelagem 4D: Semana 16  
Fonte: Autores



Figura 7d - Modelagem 4D: Semana 34 – término  
Fonte: Autores

## 5. Conclusões

Uma análise propondo melhorias no layout do canteiro de obras com utilização da tecnologia BIM. Além disso, as ferramentas de diagrama do processo e de mapofluxograma e o método SLP foram utilizadas.

Nesse sentido, verificou-se que o planejamento, das instalações provisórias, juntamente com o dimensionamento quando proporciona arranjos físicos mais eficientes e seguros.

Corroborando com o estudo de Wang et al. [35] na qual afirmam que, o planejamento logístico do espaço ao longo do tempo são peças chaves para um projeto de construção eficiente.

O objetivo do presente estudo foi alcançado, uma vez que foi possível analisar o canteiro real e verificar suas ineficiências, bem como, propor melhorias por meio do projeto de canteiro gerado com o auxílio do BIM e de outras ferramentas.

Nos resultados obtidos, foram observadas reduções de 48 % na distância percorrida para transporte de blocos e de 27 % para argamassas e graute. Assim como nos estudos de Zoueiri e Tommelein [36], por meio deste estudo percebeu-se que, a elaboração do projeto do canteiro juntamente com a logística da obra indica reduções nas distâncias de transporte, conseqüentemente, obtenção de melhorias no desempenho, na segurança e na produtividade.

Além disso, foi possível observar reduções nas interferências entre fluxos físicos e maior facilidade de visualização prévia do projeto do canteiro, confirmando a hipótese de que se trata de uma ferramenta de grande valia na concepção do layout. Os principais resultados obtidos corroboram com os conceitos de construção enxuta elencados por Koskela [32], mostrando a atualidade e relevância do pensamento Lean na concepção do produto na construção civil.

Verificou-se que o processo de desenvolvimento do projeto do canteiro de obras necessita de várias informações prévias para aumentar sua eficiência, podendo ser considerado trabalhoso, principalmente no caso de obras públicas. Porém, o seu uso frequente e sistemático auxiliará na definição antecipada de um layout onde se possa aplicar princípios de organização do arranjo físico e de segurança do ambiente de trabalho na indústria da construção.

## 6. Referências

- [1] H. Markowitz. *Portfolio Selection*. Journal of Finance, Vol.7, Nº 1. American Finance Association. (1952).
- [2] M. Barros. **Gerenciamento de Projetos Baseado em Cenários: uma Abordagem de Modelagem Dinâmica e Simulação**. COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. UFRJ. (2001).
- [3] M. Cardoso & T. Yoneyama. **Otimização Multicritério de Carteira de Investimentos**. 14º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. (2008).
- [4] J. Castro. **Otimização da Performance de um Portfólio de Ativos e Opções Reais Utilizando a Medida Ômega**. PUC-RIO – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. (2008).
- [5] PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos** (Guia PMBoK®). 6ª ed. Newtown Square, Pennsylvania: PMI, (2017).
- [6] D. Fernandes. **Uma Visão Sobre a Análise da Matriz SWOT como Ferramenta para Elaboração da Estratégia**. UNOPAR - Científica Ciências Jurídicas e Empresariais. (2012).
- [7] D. Pickton & S. Wright. **What's SWOT in Strategic Analysis?**. Strategic Change, Vol 7. School of Business – De Montfort University. Leicester – UK. (1998).
- [8] A. Manole & M. G. Anghel. **Significant Aspects Concerning the SWOT Analysis of the Capital Market**. Revista Română de Statistică Trim. III. University of Bucharest. (2013).
- [9] G. Andrade. **Os Impactos da Crise Econômica de 2014-2017 nas Empresas de Construção Civil**. Escola Politécnica da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2018).
- [10] M. Al-Zoubi. **The Impact of Intellectual Capital on SWOT Analysis among Jordanian Banking Industry "Empirical Study"**. International Journal of Business and Social Science, Vol. 4, Nº 2. Center for Promoting Ideas (CPI). United States of America. (2013).
- [11] NASDAQ. **SWOT Analysis: A Practical Guide to Analyzing Companies**. Available in: <https://www.nasdaq.com/article/swot-analysis-a-practical-guide-to-analyzing-companies-cm94505>. Published on: 08 September 2011. (2011).
- [12] G. Oldfield & A. Santomero. **Risk Management in Financial Institutions**. MIT Sloan Management Review, Magazine Fall 1997. Massachusetts Institute of Technology. (1997).
- [13] A. M. Duarte. **Risco: Definições, Tipos, Medição e Recomendações para seu Gerenciamento**. Resenha BM&F, v.114, p.25-33. São Paulo. (1996).
- [14] P. Christoffersen. **Elements of Financial Risk Management**. Academic Press in an imprint of Elsevier. (2012).
- [15] CFA Institute. **Fundamentals of Credit Analysis**. Available in: <https://www.cfainstitute.org/membership/professional-development/refresher-readings/2019/fundamentals-credit-analysis>. Accessed 18 January 2019. (2019).
- [16] D. Striscek. **Fundamentals of Assessing and Controlling Bank Lending Risk**. SEACEN Financial Stability Journal, Vol. 8. (2017).
- [17] R. Oshiro. **Análise de Riscos na Logística de Movimentação de Derivados de Petróleo**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RIO. Rio de Janeiro. (2008).
- [18] V. Dumbravă & V. Iacob. **Using Probability – Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects**. Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology. (2013).
- [19] P. Curtis & M. Carey. **Risk Assessment in Practice**. Deloitte & Touche LLP. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). (2012).
- [20] N. Nóbrega. **Um Estudo Teórico de Avaliações de Riscos em Projetos de Investimento em Organizações**. UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora. (2007).
- [21] L. Gaio. **Gestão de riscos no mercado financeiro internacional: Uma análise comparativa entre modelos de volatilidade para estimação do Value-at-Risk**. USP – Universidade de São Paulo – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. (2009).
- [22] P. Jorion. **Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk**. McGraw-Hill Companies – Third Edition. (2006).
- [23] AMF. **The Use of Stress Tests as Part of Risk Management**. Guide For Asset Management Companies. AMF – Autorité de Marchés Financiers. (2017).
- [24] D. Alencastro & M. A. Martins. **Interpretando o Índice Sharpe**. Disponível em: <http://gilsonrossato.livejournal.com/6060.html>. Acessado em: 22 janeiro 2019. (2019).
- [25] W. Sharpe. **Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk**. The Journal of Finance, Vol. XIX, No. 3. (1964).
- [26] F. Reilly & K. Brown. **Investment Analysis & Portfolio Management** – 10th Edition. South-Western, Cengage Learning. (2012).
- [27] N. Brito. **A relevância geral do Índice de Sharpe**. Revista Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 30, n. 3. Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro. (2000).
- [28] G. Varga. **Índice de Sharpe e outros Indicadores de Performance Aplicados a Fundos de Ações Brasileiros**. RAC - Revista de Administração Contemporânea, vol. 5, no. 3. (2001).
- [29] The Wall Street Journal. **A Decade on, the Fate of Madoff's Mansions**. Available in: <https://www.wsj.com/articles/a-decade-on-the-fate-of-madoffs-mansions-1529591898>. Published on 21 June 2018. (2018).

# Estudio Computacional Del Comportamiento Térmico de Una Vivienda Social Con PCM En La Envolverte Térmica

*Felipe Peña Muñoz e Diego Calle Vasco*

**ES**te trabajo consiste en el análisis térmico computacional de una vivienda social, la cual cuenta con una superficie de 56 [m<sup>2</sup>], bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Santiago de Chile. Se proponen tres diseños en base a la implementación del heptadecano como material de cambio de fase (PCM); una vivienda básica, otra incorporando PCM en todos sus muros y particiones y una en la cual el PCM es incorporado según las temperaturas superficiales de las paredes de la vivienda. Adicionalmente, se realizó una simulación considerando un sistema de aire acondicionado (HVAC) en los tres tipos de vivienda. El análisis computacional realizado predice una disminución de las oscilaciones de la temperatura interior media de las viviendas con PCM incorporado, se obtiene como máximo una disminución del 36.5% en las oscilaciones de temperatura respecto a la vivienda básica. Respecto a los costos monetarios del sistema HVAC se observa una disminución del 6% en la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones, mientras que la vivienda con PCM optimizado muestra una disminución del 4.6% en los costos monetarios respecto a la misma vivienda básica.

## 1. Introdução

Actualmente, el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) son una de las mayores preocupaciones a nivel mundial. En Chile las emisiones de GEI totales fueron de 116677.5 kt CO<sub>2</sub>eq, según los datos aportados por el Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático [1], lo cual significa un aumento del 114.7% desde el año 1990 hasta el 2016.

Según el mismo informe el sector dedicado a la generación de energía del país representa una gran parte de las emisiones de GEI, con un 31.98% del total de emisiones.

Por este motivo, surge el interés de investigar alternativas para reducir el consumo energético a nivel de las viviendas, específicamente mejorar el diseño pasivo. Los materiales de cambio de fase (PCM) tiene un gran potencial para alcanzar este objetivo, debido a su capacidad de almacenar y liberar calor durante el proceso de cambio de fase.

Otro factor destacable en el consumo energético de la vivienda es el uso de los sistemas de aire acondicionado (HVAC), el cual se espera que se triplique su demanda para el año 2050 [2]. Por este motivo surge aún más el interés de lograr diseñar un sistema pasivo, considerando la implementación de PCM, que sea capaz de disminuir de manera considerable el consumo energético de estos aparatos, y en el mejor de los casos no depender de estos para lograr climatizar las viviendas.

## 2. Conceptos y estrategias para el diseño óptimo de una vivienda social

En el diseño de una vivienda social hay una fuerte relación entre su arquitectura y la climatología del lugar donde está ubicada. Esto se debe principalmente a que, dependiendo del diseño de la obra arquitectónica, las condiciones de confort de la vivienda se ven fuertemente influenciadas por el clima circundante.

Considerando la geografía de Chile, no es posible establecer condiciones óptimas de diseño para todo el país, por lo que se establecieron normas constructivas (NCh 1079:2008 [1]) según la zona climática en la que se quiera realizar la obra.

## 2.1 Confort térmico

El confort térmico se entiende como un estado de equilibrio térmico del cuerpo humano y el entorno. Sin embargo, el cuerpo humano es capaz de utilizar mecanismos para lograr este estado de equilibrio, como lo es la transpiración. Debido a esto, hay diferentes factores, además de la temperatura, que influyen en el confort térmico como lo son; humedad del aire, vientos, nubosidad, radiación solar y asoleamientos.

Hay diferentes métodos para cuantificar el confort térmico, el utilizado en este trabajo es el método de Fanger [2]. Este método calcula el confort térmico considerando factores como la humedad relativa, temperatura exterior, temperatura operativa, velocidad del aire, tipo de vestimenta y el tipo de actividad realizada. El método de Fanger cuantifica el confort térmico con un índice denominado Predicted Mean Vote (PMV), el cual indica la sensación térmica en una escala de 9 niveles, comenzando en -4 hasta +4.

## 2.2 Eficiencia energética de una vivienda

La eficiencia energética de una vivienda se refiere al uso óptimo de la energía disponible para motivos de calefacción, refrigeración, iluminación y ventilación. Para lograr esto, se han propuesto diferentes diseños que se pueden clasificar en dos categorías: diseño de sistema pasivo y diseño de sistema activo.

### 2.2.1 Diseño de sistema pasivo

El objetivo de este tipo de sistema es minimizar los gastos energéticos de los sistemas de calefacción y refrigeración; aprovechando los recursos climáticos, el asoleamiento del edificio y la ventilación natural. Considerando todos los factores mencionados anteriormente, se puede decir que los edificios diseñados bajo un sistema pasivo se ven claramente influenciados por el correcto uso de las condiciones climáticas, esto quiere decir que la orientación del edificio, la ubicación de este y las aberturas van a ser factores determinantes a la hora de realizar este tipo de diseño.

### 2.2.2 Diseño de sistema activo

Los sistemas activos se enfocan en utilizar sistemas mecánicos con el objetivo de lograr el confort térmico y mantener la calidad del aire. Como estos sistemas utilizan una gran cantidad de energía lo más conveniente es combinarlo con un buen diseño de sistema pasivo.

### 2.2.3 Materiales de cambio de fase (PCM)

Los materiales de cambio de fase, en inglés Phase Change Materials (PCM), son materiales con la capacidad de almacenar calor en forma de calor latente, lo que significa que al cambiar de fase son capaces de almacenar o liberar una gran cantidad de energía térmica. La cualidad de estos materiales es que en el proceso de cambio de fase la temperatura del material permanece casi constante, por lo que se ha puesto interés en diferentes aplicaciones referente al control de temperatura entorno a la temperatura de cambio de fase.

En el ámbito de la eficiencia energética de las viviendas, los PCM son implementados para disminuir el consumo de energía relacionado con la calefacción y refrigeración, haciendo que las oscilaciones de temperatura disminuyan y estas sean lo más cercanas posibles a la temperatura de confort (entre 21 [°C] a 26 [°C] con 50% de humedad relativa [3]). Esto se logra con un PCM que tenga una temperatura de cambio de fase lo más cercana posible a la temperatura de confort. Cabe mencionar que se suele utilizar materiales en donde el cambio de estado sea de sólido a líquido y viceversa, debido a que los cambios volumétricos son despreciables.

El PCM de interés para este trabajo investigativo es el heptadecano el cual es una parafina, su fórmula molecular es  $C_{17}H_{36}$  y su peso molecular es de 240.48 g/mol. Esta elección se hizo en base a las ventajas de los PCM orgánicos en los elementos constructivos y su temperatura de cambio de fase, la cual es cercana a la temperatura de confort térmico.

Han surgido diferentes estrategias para incorporar PCM en diferentes tipos de construcciones. M. Koschenz y B. Lehmann [4] muestran la incorporación de PCM en paneles ubicados en el techo de un proyecto arquitectónico. Considerando que la capacidad de almacenamiento térmico del PCM es de 300 [Wh/m<sup>2</sup> día], esto permite que el grosor de los paneles no supere los 5 [cm]. Otra cualidad de este sistema es que propone un control activo del almacenamiento térmico mediante agua contenida en tubos capilares.

Kondo e Ibamoto [5] incorporaron tablas de lana de roca mejoradas con un PCM en un techo falso con el objetivo de reducir las cargas térmicas por refrigeración. Según los autores, la carga térmica máxima se logró reducir en un 9.4% respecto al mismo sistema sin la incorporación de PCM.

También se ha buscado implementar los PCM en pisos

radiantes. Ansuni, et al. [6] implementaron un PCM granulado en base de parafina, además de incluir tubos de 8 [mm] de diámetro en el piso radiante. Para el periodo de verano en un cuarto de 16 [m<sup>2</sup>] de superficie se obtuvo un ahorro del 25% del agua utilizada para refrigeración.

También se ha investigado la incorporación de PCM en un muro Trombe. Castellón, et al. [7] realizaron el análisis experimental de un cubículo de concreto incorporado un PCM y un muro de Trombe. El PCM utilizado tiene un punto de fusión de 26 [°C] y una entalpía de cambio de fase igual a 110 [kJ/kg]. Se llegó a la conclusión que se obtiene un buen desempeño del muro de Trombe incorporando el PCM durante periodos cálidos. Sin embargo, cuando la temperatura exterior llega a valores cercanos a 40 [°C], no se observan diferencias significativas de la temperatura interior.

## 3. Simulación computacional de una vivienda social tipo

### 3.1 Presentación del problema

La evaluación del proceso de carga y descarga del heptadecano (PCM) se realiza analizando la envolvente térmica de una vivienda social, la cual está ubicada en la ciudad Santiago de Chile. Se utiliza el software DesignBuilder [1], el cual utiliza EnergyPlus [2] como motor de cálculo.

Se proponen tres tipos de vivienda para evaluar el PCM; una vivienda sin PCM incorporado, una vivienda en donde los muros y particiones internas tienen PCM y una tercera donde el PCM está optimizado, es decir, se incorpora PCM en los muros y/o particiones que tengan una temperatura superficial cercana a la temperatura de cambio de fase del PCM. Después de analizar los tres tipos de vivienda se implementa a cada una un sistema HVAC (COP = 1).

Estas simulaciones se realizan tres veces, modificando la orientación de la vivienda; sur, oeste y norte. El objetivo es observar como la trayectoria solar influye en las ganancias y pérdidas solares de acuerdo a la ubicación de las ventanas de la vivienda. Los periodos de simulación son dos; uno llamado periodo de invierno, el cual abarca desde el día 15 de julio hasta el 15 de agosto y el segundo es llamado periodo de verano, el cual abarca desde el día 30 de noviembre hasta el 31 de diciembre.

## 3.2 Reglamentación térmica

El diseño de la techumbre, muros, pisos ventilados, ventanas y altura de la vivienda social ha sido realizado considerando la reglamentación descrita en el texto de la Ley General de Urbanismo y Construcciones [3]. Además de cumplir con las características, superficies, dimensiones y espacios mínimos indicado en el artículo 43 del Decreto Supremo N°49, el cual aprueba el reglamento del Programa Habitacional Fondo Solidario de Elección de Vivienda [4].

De acuerdo con lo anterior, la vivienda social tiene un área construida de 56 [m<sup>2</sup>], una superficie vidriada de 11.68% y una transmitancia térmica (tabla 3.1) que cumple con la reglamentación estipulada.

Tabela 3.1 - Resumen de transmitancia térmica para cada complejo constructivo.

Complejo constructivo	Transmitancia térmica [W/m <sup>2</sup> K]
Muros exteriores	0,531
Particiones	1,639
Techos semi-expuesto	0,310
Cubiertas inclinadas	0,450
Pisos ventilados	0,250

## 3.3 Diseño de la vivienda social

La distribución y dimensión de las zonas de la vivienda social se muestran en la figura 3.1.



Figura 3.1 Plano de planta de la vivienda social.  
Fuente: Autores

### 3.3.1 Muros exteriores

Se considera muro exterior como el conjunto de elementos verticales que están en contacto con el aire exterior. Para la vivienda básica se utiliza madera OSB 22 [mm], lana de vidrio 60 [mm], asfalto de 0.2 [mm], poliestireno expandido 0.2 [mm] y una capa de yeso de 0.015 [m].

### 3.3.2 Particiones

Se considera partición como el conjunto de elementos constructivos verticales que actúan como elemento divisor de cada zona; ya sea cocina, baño, dormitorio o sala de estar. Para el caso de estudio se han utilizado dos placas de yeso-cartón de 25 [mm] separadas por 10 [mm] de aire.

### 3.3.3 Techos semi-expuestos

Se considera techo semi-expuesto a los techos que separan zonas acondicionadas de zonas no acondicionadas, por ejemplo, un ático. Para la vivienda básica se ha considerado un techo semi-expuesto de tres capas, la cual está compuesta de tablas de fibra de vidrio de 77.7 [mm], tablas de 101.6 [mm] de espesor y una placa de yeso de 15.9 [mm].

### 3.3.4 Cubiertas inclinadas

Se considera cubierta inclinada a las techumbres que tienen ángulo de pendiente. La cubierta inclinada de la vivienda social consta de 5 capas, las cuales son; tejas de 25 [mm], fieltro para techos 5 [mm], madera de pino 25 [mm], poliestireno expandido 50 [mm] y capa de yeso cartón 25 [mm].

### 3.3.5 Pisos ventilados

El suelo de la vivienda está compuesto por cuatro capas las cuales son: piso de madera de 30 [mm], revestimiento de hormigón (solera) de 70 [mm], concreto de 100 [mm], un adhesivo (urea formaldehído) de 132.7 [mm] y una cámara de aire de 10[mm] con una resistencia térmica de 0.15 [m<sup>2</sup>K/W].

## 3.4 Implementación del heptadecano

Para simular el comportamiento del heptadecano mediante EnergyPlus se debió crear un material nuevo, ya que este no se encuentra en la biblioteca del software. Lo primero fue establecer las propiedades termofísicas a 20°C, estas propiedades se obtuvieron de un trabajo investigativo previo [5], las cuales se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propiedades termofísicas del heptadecano a 20°C.

Conductividad [W/m-K]	0.4850
Calor específico [J/kg-K]	6168.9300
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	786.1000

Los valores de entalpía se calcularon mediante la ecuación (3.1):

$$H = h + \beta h_{LS} \text{ [kJ/kg]} \quad (3.1)$$

Donde H es la entalpía, h es la entalpía sensible y h<sub>LS</sub> es el calor latente. Para este caso el valor del calor latente utilizado, según la literatura actual [6], es de 240 [kJ/kg].

El término  $\beta$  es la fracción líquida. Si se encuentra en fase líquida adquiere un valor de  $\beta=1$ , en cambio si se encuentra en fase sólida adquiere un valor de  $\beta=0$  y si se encuentra en la zona pastosa se define en base a la ecuación (3.2):

$$\beta = \frac{T - T_{Solidus}}{T_{Liquidus} - T_{Solidus}} \quad (3.2)$$

La entalpía sensible (h) está dada por la ecuación (3.3):

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T C_p dT \text{ [kJ/kg]} \quad (3.3)$$

Los valores de referencia, entalpía (h<sub>ref</sub>) y temperatura (T<sub>ref</sub>), fueron obtenidos de la plataforma Knovel [7], los cuales son 167.004 [kJ/kg] y 21.980 [°C] respectivamente.

Considerando que el PCM tiene propiedades termofísicas variables según su temperatura se utilizó el método de diferencias finitas [8] para simular el proceso de conducción.

$$C_p \rho \Delta x \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left( k_W \frac{T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} + k_E \frac{T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1}}{\Delta x} \right) + \frac{1}{2} \left( k_W \frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{\Delta x} + k_E \frac{T_{i-1}^j - T_i^j}{\Delta x} \right) \quad (3.4)$$

Donde:

$\Delta t$  = Paso de tiempo.

$\Delta x$  = Tamaño de la discretización.

$C_p$  = Calor específico del material.

$k_w$  = Conductividad térmica del material entre el nodo i y el nodo i+1.

$k_E$  = Conductividad térmica del material entre el nodo i y el nodo i-1.

$\rho$  = Densidad del material.

T = Nodo de la temperatura

Subíndices:

i = Nodo que está siendo modelado.

i+1 = Nodo adyacente interior.

i-1 = Nodo adyacente exterior.

j+1 = Paso de tiempo siguiente.

j = Paso de tiempo previo.

La inclusión de los términos KE y KW son para determinar una conductividad térmica variable, cada término se calcula realizando una interpolación lineal del nodo actual y su adyacente.

Considerando que las entalpías se actualizan para cada iteración, el  $C_p$  es variable y esto permite simular el comportamiento del PCM. El calor específico se calcula mediante la ecuación (3.5):

$$C_p = \frac{h_{i,new} - h_{i,old}}{T_{i,new} - T_{i,old}} \text{ [kJ/kg K]} \quad (3.5)$$

La figura 3.2 muestra la ubicación del PCM en el muro exterior, se establece un espesor del heptadecano equivalente a 15 [mm], este espesor se escoge con la finalidad de aumentar su eficiencia [9].



Figura 3.2 - Configuración del muro exterior con heptadecano.

La Figura 3.3 muestra la ubicación del PCM en las particiones de la vivienda. El heptadecano se agrega adyacente a cada capa de yeso, esto se hace con el objetivo

de que la distribución del heptadecano sea uniforme para ambas habitaciones.



Figura 3.3 Configuración de la partición con heptadecano.

### 3.5 Optimización del heptadecano

La optimización del PCM incorporado en la vivienda social se hizo bajo la consigna de utilizar el PCM en la envolvente térmica, donde la temperatura de la envolvente térmica esté lo más cercana a la temperatura de cambio de fase. Para esto se analizó las temperaturas superficiales promedio de cada muro y partición en un periodo anual, en base a esto se incorpora el PCM en todos los muros y particiones que cumplan con el criterio mencionado.

## 4. Resultados y análisis

Cabe mencionar que todo el análisis térmico, energético y económico de los tres tipos de vivienda es realizado en la sala Estar-Comedor, por lo que todos los valores obtenidos a través de la simulación, ya sea temperatura, PMV y cargas térmicas corresponden a la zona mencionada y no a un promedio de todas las zonas de la vivienda.

### 4.1 Análisis térmico

Al analizar las tres orientaciones de la vivienda básica se puede ver que en promedio las temperaturas interiores son bastante similares. La tabla 4.1 muestra la temperatura interior promedio de la vivienda básica en el periodo de invierno y verano. Para el periodo de invierno la mayor diferencia de temperatura se observa entre la vivienda con orientación sur y la vivienda con orientación norte, con un valor de 0.27 [°C]. Mientras que para el periodo de verano la mayor diferencia también se obtiene entre las viviendas en orientación sur y norte, con un valor de 0.27 [°C].

Orientación de la vivienda	Temperatura interior promedio en el periodo de invierno [°C]	Temperatura interior promedio en el periodo de verano [°C]
Sur	15.35	28.44
Oeste	15.21	28.94
Norte	15.62	28.71

Tabla 4.1 Temperatura interior promedio de la vivienda básica en sus tres orientaciones.

Considerando que no se obtuvieron diferencias significativas en la temperatura interior media de la vivienda para sus tres orientaciones se procede a analizar la vivienda en orientación norte, considerando que esta tiene una mayor exposición solar.

La figura 4.1 muestra el comportamiento de la temperatura interior media de los tres tipos de vivienda para el periodo de invierno. En promedio, la vivienda básica tiene una temperatura interior de 15.62 [°C], la vivienda con PCM en todos sus muros y particiones tiene una temperatura interior media de 15.58 [°C] y la vivienda con PCM optimizado tiene una temperatura interior media de 15.61 [°C].

En cuanto a las oscilaciones de la temperatura interior media de los tres tipos de vivienda, la vivienda con PCM incorporado muestra una disminución de un 34.7% respecto a la vivienda básica, mientras que la vivienda con PCM optimizado se observa una disminución de las oscilaciones de temperatura interior en un 24.7% respecto a la vivienda básica.

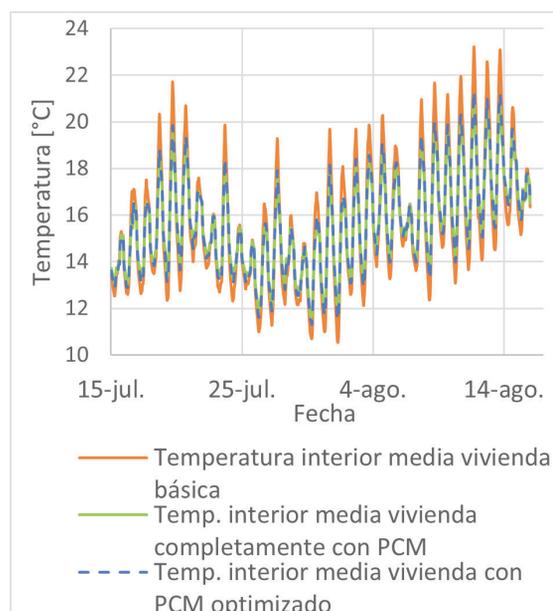


Figura 4.1 Comparativo de la temperatura interior media de los tres tipos de vivienda en orientación norte para el periodo de invierno.

La figura 4.2 muestra el comportamiento térmico en la sala Estar-Comedor de los tres tipos de vivienda en el periodo de verano. La vivienda básica tiene una temperatura interior promedio de 28.71 [°C], la vivienda con PCM en todos sus muros y particiones presenta una temperatura interior promedio de 28.49 [°C] y la temperatura con PCM optimizado tiene una temperatura interior promedio de 28.70 [°C]. Estos valores indican que los tres tipos de vivienda tuvieron un desempeño térmico similar.

En donde se aprecia una mayor diferencia es en la disminución de las oscilaciones de temperatura interior; la vivienda con PCM en todos sus muros y particiones presenta una disminución en las oscilaciones de temperatura interior media de un 36.5%, mientras que la vivienda con PCM optimizado presenta una disminución de las oscilaciones de temperatura interior media de un 27%.

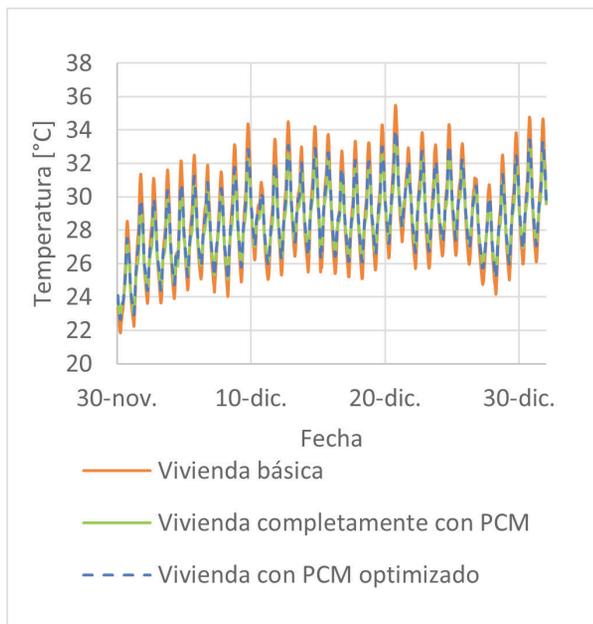


Figura 4.2 Comparativo de la temperatura interior media de los tres tipos de vivienda en orientación norte para el periodo de verano.

La figura 4.3 muestra el índice de confort térmico (PMV) para las primeras 48 horas de simulación del periodo de invierno (1:00 AM del 15 de julio hasta las 1:00 AM del 17 de julio). Se observa que tanto para la vivienda básica como la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones se obtienen valores bajos de PMV, los cuales para las primeras 24 horas de simulación no se supera el valor de -2.5.

Para las últimas 24 horas de simulación el PMV supera los -2.5, sin embargo, la vivienda básica es la que obtiene los

valores más cercanos a un PMV óptimo.

Este comportamiento se debe básicamente a que la temperatura interior media de la vivienda en la tarde es mayor con respecto a las viviendas con PCM incorporado, y al no tener heptadecano incorporado no hay un efecto amortiguador que detenga el incremento del PMV.

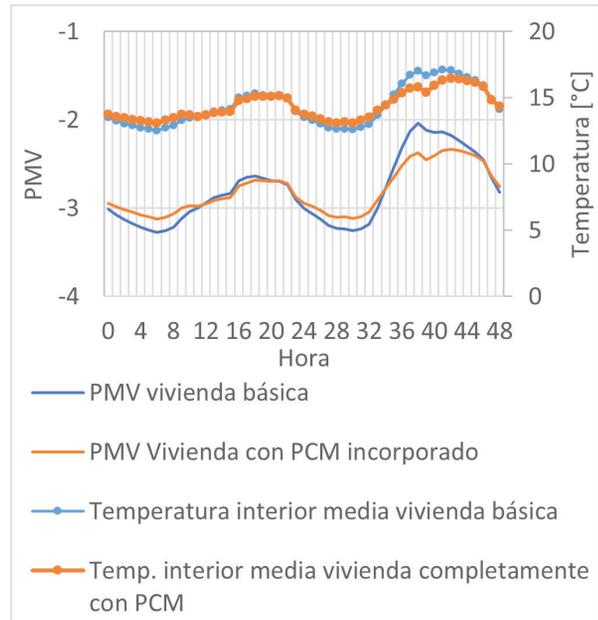


Figura 4.3 Comparativo del PMV y la temperatura interior media de la vivienda para el periodo de invierno (48 horas de simulación).

La figura 4.4 muestra el PMV de los tres tipos de vivienda para las primeras 48 horas de simulación correspondientes al periodo de verano, es decir, desde las 1:00 AM del 30 de noviembre hasta las 1:00 AM del 2 de diciembre.

Se observa el efecto de la temperatura exterior sobre el confort térmico de la vivienda, para las primeras 24 horas de simulación el PMV máximo se registra a las 18:00 PM con un valor de 0.6 para la vivienda básica y una temperatura exterior de 20.29 [°C], mientras que en las últimas 24 horas de simulación el PMV máximo alcanzado en la vivienda básica es de 1.65 en el mismo horario, pero con una temperatura exterior de 28 [°C].

Respecto a la implementación de PCM se ve una mejora del confort térmico, el máximo alcanzado en las últimas 24 horas de simulación de la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones es de 0.77, mientras que la vivienda con PCM optimizado tiene un PMV máximo de 1.02.

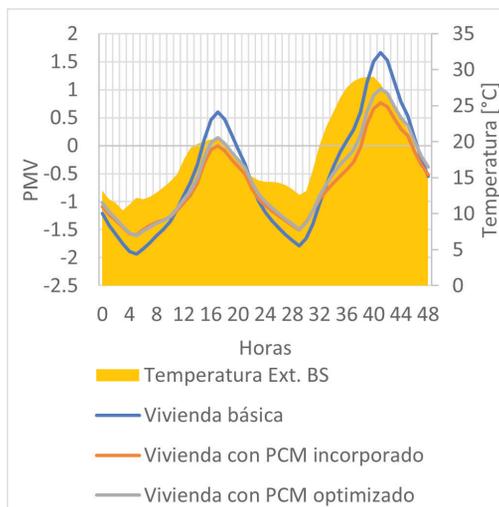


Figura 4.4 Comparativo del PMV y la temperatura exterior para el periodo de verano (48 horas de simulación).

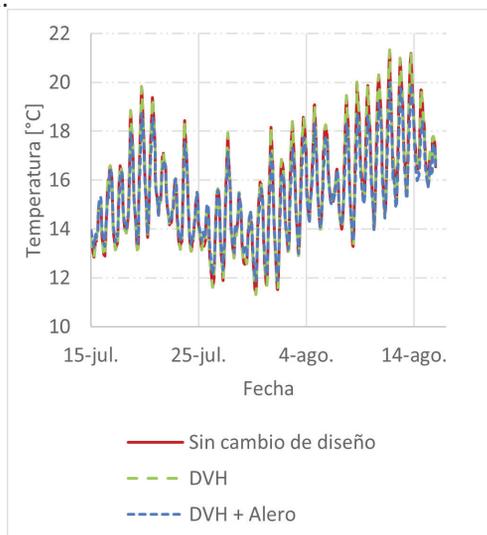
## 4.2 Análisis energético

La figura 4.5 muestra las cargas sensibles de refrigeración y calefacción para la sala Estar-Comedor, la cual cuenta con un área de superficie de 24.75 [m<sup>2</sup>].

Para el periodo de un año, la vivienda básica necesita 13.13 [kWh/m<sup>2</sup>] para calefaccionar el complejo Estar-Comedor, mientras que en la vivienda con PCM incorporado se requieren 16.08 [kWh/m<sup>2</sup>] y la vivienda con PCM optimizado necesita 15.11 [kWh/m<sup>2</sup>] para calefaccionar la misma zona.

Porcentualmente, la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones tiene un aumento de las cargas energéticas para calefaccionar la zona Estar-Comedor de un 18.3% respecto a la vivienda básica, mientras que la vivienda con PCM optimizado tiene un aumento del 13.1% respecto a la vivienda básica.

Figura 4.5 Comparativo de cargas térmicas de climatización para los tres tipos de vivienda.



A comparación con las cargas sensibles de calefacción, las cargas sensibles de refrigeración son considerablemente mayores. La vivienda básica presenta un consumo anual de 41.53 [kWh/m<sup>2</sup>], la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones presenta un consumo anual de 33.95 [kWh/m<sup>2</sup>] y en la vivienda con PCM incorporado se observa un consumo anual de 36.2 [kWh/m<sup>2</sup>]. Estos valores muestran una disminución de las cargas sensibles de refrigeración en función de la incorporación de PCM, porcentualmente la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones tiene una disminución del 22.3% de las cargas sensibles de refrigeración anual respecto a la vivienda básica, mientras que la vivienda con PCM optimizado presenta una disminución del consumo energético anual equivalente al 15.3% respecto a la vivienda básica.

La tabla 4.2 muestra el costo monetario (CLP) para el equipo HVAC incorporado en la sala Estar-Comedor, para lo cual se considera un costo anual de mantenimiento equivalente a \$59.990 [10] y un consumo equivalente a 107 [\$ /kWh]. Porcentualmente, la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones presenta un ahorro anual del 6% respecto a la vivienda básica, mientras que la vivienda con PCM optimizado presenta un ahorro anual del 4.6% respecto a la vivienda básica.

## 5. Conclusiones

A pesar de cambiar la orientación de la vivienda, la temperatura interior de esta no se ve afectada de manera significativa. En el periodo de invierno, la vivienda en orientación norte alcanzó la mayor temperatura interior promedio con un valor de 15.62 [°C], sin embargo, esto no se repite para el periodo de verano donde la orientación oeste alcanza la mayor temperatura interior promedio con un valor de 28.94 [°C]. Este comportamiento se debe a la trayectoria solar, en el periodo de invierno la elevación solar es menor por lo que tiene una mayor incidencia en la zona norte de la vivienda, en cambio para el periodo de verano la elevación solar es mayor por lo que la zona este y oeste de la casa tienen mayores ganancias por radiación que la zona norte de la vivienda.

Las oscilaciones de temperatura interior de las viviendas con PCM respecto a las viviendas sin PCM incorporado fueron menores para las tres orientaciones propuestas. Las tres orientaciones muestran un comportamiento similar, el caso más notorio es en la vivienda en orientación norte para el periodo de verano (figura 4.2), donde la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones tiene una

disminución de las oscilaciones diarias del 36.5% respecto a la vivienda básica.

Vivienda básica	\$204737
Vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones	\$192486
Vivienda con PCM optimizado	\$195402

Tabla 4.2 Costo monetario anual (CLP) del sistema HVAC incorporado.

En el periodo de invierno, el heptadecano contribuyó de manera negativa sobre el índice de confort térmico. En la figura 4.3 se observa que el índice de confort térmico es bajo para ambos casos, sin embargo la vivienda básica al tener unas oscilaciones de temperatura interior media mayores que la vivienda con PCM logra los mayores índices de confort térmico en la tarde, mientras que en la madrugada alcanza el PMV más bajo.

En los periodos más cálidos, el PCM tiene un desempeño satisfactorio referente al confort térmico, si bien las diferencias de temperatura interior promedio de la vivienda básica y las viviendas incorporadas con PCM no son significativas, la disminución de las oscilaciones de la temperatura interior media contribuye a una temperatura interior promedio más uniforme, lo que a su vez significó un índice de confort térmico más estable.

La vivienda con PCM optimizado presenta valores de temperatura interior similares a la vivienda con PCM en todos sus muros y particiones. La vivienda con PCM optimizado presenta un aumento de las oscilaciones de temperatura interior de un 8.02% respecto a la vivienda en el periodo de verano y 7.52% para el periodo de invierno. Lo anterior indica que es posible utilizar el PCM en puntos estratégicos de la vivienda sin perder el potencial de este, con el objetivo de disminuir la cantidad de material usado.

A pesar de que se obtiene un balance positivo en los ahorros monetarios por la incorporación del sistema HVAC estos son bajos, los cuales equivalen a un ahorro anual de 12,251 [\$/año] de la vivienda con PCM incorporado en todos sus muros y particiones respecto a la vivienda básica, en cuanto a la vivienda con PCM optimizado se obtiene un ahorro equivalente a 9,356 [\$/año] respecto a la vivienda básica.

## 6. Referências

- [1] MINISTERIO DEL MEDIOAMBIENTE. Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. Santiago. 2018. (ISBN: 978-956-7204-55-7).
- [2] IEA. The Future of Cooling. Paris: [s.n.], 2018.
- [3] NCH1079. Arquitectura y construcción □ Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. [S.l.]: [s.n.], 2008.
- [4] FANGER, P. O. Calculation of thermal comfort—Introduction of a basic comfort equation. [S.l.]: [s.n.], 1967.
- [5] ASHRAE. Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: [s.n.], 1992.
- [6] KOSCHENZ, M.; LEHMANN, B. Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings. [S.l.]: [s.n.], 2004.
- [7] KONDO, T.; IBAMOTO, T. Research on thermal storage using rock wool phase-change material ceiling board. [S.l.]: [s.n.], 2006.
- [8] ANSUNI, R. et al. Radiant floors integrated with PCM for indoor temperature contro. [S.l.]: Energy and Buildings, 2001.
- [9] CASTELLÓN, C. et al. Use of Microencapsulated Phase Change Materials in Building Applications. [S.l.]: [s.n.], 2007.
- [10] DESIGNBUILDER. DesignBuilder. Disponible en: <<https://www.designbuilder-lat.com/>>. Acceso el: 10 mar. 2020.
- [11] ENERGYPLUS. EnergyPlus. Disponible en: <<https://energyplus.net/>>. Acceso em: 10 mar. 2020.
- [12] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. Texto de la ordenanza general de la ley general de urbanismo y construcciones. [S.l.]: [s.n.].
- [13] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. REGLAMENTO DEL PROGRAMA FONDO SOLIDARIO DE ELECCIÓN DE VIVIENDA. Santiago: [s.n.], 2011.
- [14] BELLO ROMÁN, E. Evaluación de modelos termofísicos de materiales de cambio de fase en una aplicación de almacenamiento de energía térmica. Santiago: [s.n.], 2015.
- [15] VEERAKUMAR, C.; SREEKKUMAR, A. Phase change material based cold thermal energy storage: materials, techniques and applications. [S.l.]: [s.n.].
- [16] YAWS; CARL, L. Yaws' Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds. [S.l.]: [s.n.], 2003.
- [17] DAVISON, E. J. A high-order Crank–Nicholson technique for solving differential equations. [S.l.]: The Computer Journal, v. 10, 1967. 195-197 p.
- [18] QIAN WANG, C. Y. Z. Parametric Investigations of Using a PCM Curtain for Energy Efficient Buildings. Shanghai: [s.n.], 2015.
- [19] ENEL CHILE S.A. enel.cl, 4 Junio 2020. Disponible en: <<https://www.enel.cl/>>.

# Retrofit Luminotécnico e das Instalações Elétricas em Edifício Histórico através da Tecnologia BIM

*Paulo Eduardo Darski Rocha, Claudia Baima Mesquita, Beatriz Se Keng Moon, Pâmela de Oliveira Lopes, Filipe Graciano Neves*

**As** tipicidades de um projeto de instalações elétricas de edificações históricas e de monumentos tombados nem sempre são totalmente atendidas pelas normas atuais da ABNT. As NBRs 5410 e 13570 aplicam-se a construções novas e não englobam todos os aspectos necessários para restaurações, especialmente porque, em muitos casos, não existiam instalações prediais quando concebidas. Muitas vezes, nessas edificações, a inserção ou adaptação das instalações foram realizadas ao longo do tempo sem nenhuma fiscalização e/ou plano de manutenção preventiva. As obras mais recentes apresentam, em sua maioria, sérios problemas de segurança devido ao estado precário dos componentes elétricos, além disso, não respeitam os princípios da intervenção mínima e da reversibilidade dos materiais empregados em sua concepção original. Consequentemente, são comuns em construções históricas cabos elétricos aparentes, instalação inadequada de luminárias e sobrecarga de energia. Nosso objeto de estudo é a Casa do Barão do Rio Branco, localizada na cidade de Petrópolis, tombada pelo INEPAC em 1998. Foi onde o Barão do Rio Branco assinou o Tratado de Petrópolis, que anexou o território do Acre ao Brasil. O imóvel foi adquirido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em março de 2014, com a finalidade de abrigar o recente curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Entretanto, devido às condições estruturais, a casa encontra-se interdita e sem uso, aguardando processo de restauração. Este trabalho tem como objetivo a realização de um retrofit luminotécnico e de um projeto de instalações elétricas, utilizando como ferramenta computacional a tecnologia BIM (Building Information Modeling), através do software REVIT, visando atender às demandas contemporâneas para um novo uso da edificação, dentro dos preceitos conceituais e teóricos de um projeto de restauração, sem que se alterem suas condições originais.

## 1. Introdução

O presente trabalho consiste numa proposta de reabilitação da Casa do Barão do Rio Branco, baseada em projeto elaborado pelos alunos do sétimo período de graduação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DAU/UERJ).

Carregada de passado, sem que se tenha, entretanto, conseguido determinar a data de sua construção, serão adotados três marcos na sua cronologia.

Considera-se como primeiro marco a assinatura do Tratado de Petrópolis pelo então locatário Barão do Rio Branco, quando prevalece o uso do monumento como espaço residencial, datada no período de 1902 a 1912. Em segundo marco, a casa torna-se residência e atelier da escultora surrealista Maria Martins. Não se tem conhecimento da data de chegada e do tempo de permanência de Maria Martins na Casa, mas deduz-se que ambos se insiram no período entre seu retorno ao Brasil da vida no exterior, no final de 1949, e sua morte, em 1963. Em 1991 a Casa passa a ser alugada para a prefeitura de Petrópolis pela família de Luiz Philipe Martins.

Quando destinada ao serviço público, registra-se o terceiro marco histórico, pois é nesse momento que muitas reportagens passaram a retratar o estado de degradação do imóvel, posteriormente tombado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Cultural (INEPAC), processo: E- 03/17.007/1981. E em 1985, um sobretombo pela prefeitura municipal de Petrópolis, processo no 308/85.

Em 2014 a casa é comprada pela UERJ, a fim de abrigar o início do curso de Arquitetura e Urbanismo, ocorrido em 2016. Em 2017 a utilização da casa é interdita devido a questões estruturais.

É difícil precisar as diversas adaptações na casa e os momentos em que foram feitas, mas após levantamentos iconográficos, arquitetônicos e históricos, fica evidente que a casa passou por um grande processo de sobreposições estéticas. Não é possível definir com exatidão estilo, técnica e período de tais intervenções, tornando-se inviável uma restauração, que sequer chegaria a ser tipológica, e sim cegamente feita por analogia, comprometendo a autenticidade da obra, ferindo os princípios do restauro, definidos por Camilo Boito (1836-1915) e Cesare Brandi (1906-1988).

A base teórica da proposta resulta da prevalência do histórico sobre o estético, condicionando o ato de restauração:

“A restauração constitui o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplice polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro” (BRANDI, 2004, p.30).

Amatéria, depois de decorrido todo esse tempo, encontra-se em avançado estado de degradação, impedindo o uso efetivo dos espaços. É, portanto, o estado de conservação da obra, no momento da restauração que condiciona e limita a ação restauradora dessa intervenção, associada à falta de registros técnicos e históricos precisos. Devido a esta falta de dados, os alunos fizeram o levantamento métrico de toda a casa, Figura 1.

Fica evidente, ao longo do tempo, a prevalência do uso residencial. Pretende-se respeitar tal aspecto, propondo para a nova destinação a flexibilização do uso dos espaços. Os alunos propõem como novo uso da edificação a implantação de cursos de pós-graduação em arquitetura do DAU/UERJ.

A implantação de infraestruturas lógica, elétrica e hidráulica, a partir do momento em que se fazem necessárias à função prevista do edifício, será feita concomitantemente com o restauro das estruturas internas. A intervenção deverá atender aos princípios da reversibilidade e da intervenção mínima, seguindo os princípios de Brandi, associada ao bom senso, recorrendo a escolhas técnicas seguras, com vistas a conservar não só a matéria, mas também o funcionamento estrutural original, conciliando valores de segurança e conservação.

O projeto compreende diversas ações, desde a consolidação estrutural, do telhado à fundação, a partir de análise estratigráfica, visando não só à conservação do edifício bem como sua preservação e compatibilização com as expectativas funcionais atuais.

Neste trabalho, será focado apenas no estudo de implementação do sistema elétrico, pois a precariedade das instalações elétricas atuais não estão adequadas para atender ao contexto do novo uso da edificação, estando agora destinada a abrigar as atividades de ensino e pesquisa do curso de pós graduação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).



Figura 1 – Fachada da Casa do Barão com os alunos fazendo o levantamento métrico da casa.  
Fonte: Autores



Figura 2 –térreo Planta Baixa do pavimento com a proposta de novo uso  
Fonte: Autores 2019)

## 2. Programa de Necessidades

As definições projetuais mostram que cada caso tem particularidades que não podem ser atendidas somente com o conhecimento da teoria do restauro, mas requerem também conhecimento profundo da preexistência, de seu uso atual, do que se pretende e bom-senso. Para a elaboração do projeto de reabilitação.

Na distribuição proposta para as diferentes áreas, os alunos consideraram as atividades pedagógicas, administrativas, de serviço e a necessidade de espaços de convivência.

No térreo, Figura 2, fica o setor pedagógico, consistindo em três salas de aula, um amplo ateliê de projeto, biblioteca, sala multiuso, laboratório de informática, copiadora e o espaço de vivência composto de três áreas: varanda, recepção/vivência e hall. No pavimento superior, Figura 3, fica o setor administrativo, distribuído entre sala dos professores, secretaria, almoxarifado, duas coordenações, sala de reuniões e copa. O setor de serviços concentra-se onde originalmente seria a extensão de serviços do casarão, abrigando copiadora, copa e depósito. Foi também contemplada a questão da acessibilidade para pessoas com deficiência, respeitando as prescrições da NBR-9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (ABNT, 2015).



Figura 3 – Planta Baixa do pavimento superior para o novo uso.  
Fonte: Autores (2019)

## 3. Metodologia

Neste trabalho, após contextualização do cenário de estudo e de sua importância, os alunos realizaram um levantamento de dados necessários a modelagem computacional do bem tombado. Nesta etapa, foram realizados processos de triangulação, medições com trena de fita e uma trena laser para alcance de até 30m, modelo TLM100 STHT77410 da marca Stanley, precisão de  $\pm 32\text{mm}$ , no intuito de obter maior precisão nas medidas.

A modelagem da edificação foi realizada diretamente na plataforma BIM (Building Information Modeling), através da versão estudante do software REVIT, disponível no website da Autodesk. Esta opção possibilitou representação da arquitetura tanto em formato 2D quanto em 3D, além de agilizar o detalhamento de cortes, elementos estruturais e elementos das instalações prediais.

Portanto, a prévia visualização dos condutos e caixas do sistema elétrico proposto, através da sua representação 3D dinâmica, possibilitou a verificação de sua interferência no cenário do patrimônio histórico, sendo possível analisar diversas possibilidades de traçado e arranjos das tubulações, e prever o seu impacto visual nas características originais da edificação.

De acordo com o manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural, os projetos complementares relativos às instalações elétricas, deve compreender: “o conjunto de peças gráficas (desenhos), memoriais, especificações e relatórios, que visam definir e disciplinar a instalação de sistemas de recebimento, distribuição e utilização de energia elétrica em edificações” (BRASIL, 2005, p.56). Este contexto de estudo é um grande desafio ao projetista, pois a rede deve ser imperceptível, removível, suprir os pontos de utilização de energia elétrica necessários ao novo uso e atender as prescrições das NBRs 5410/2004 - Instalações elétricas de baixa tensão e 13570/1996 - Instalações elétricas em locais de afluência de público - Requisitos específicos (ABNT, 2004; ABNT, 1996).

As orientações da NBR13570 foram propostas neste trabalho, pois trata-se de uma unidade de ensino com capacidade para afluência de público acima de 100 pessoas.

Devido a nova condição como unidade de ensino, a iluminação dos ambientes deve atender aos requisitos normativos previstos na NBR 8995/2013 – Iluminação de ambientes de trabalho (ABNT, 2013) para a atividade fim. O estudo de retrofit luminotécnico foi desenvolvido do software Dialux. Em sua vasta biblioteca, foi possível selecionar uma luminária do tipo pendente para lâmpada tubular e detalhar o projeto considerando as interferências de pessoas e mobiliários na quantificação e arranjo de luminárias. Não consideramos a influência de luz natural neste projeto, pois, de forma conservadora, projetamos a iluminação para um cenário crítico noturno.

Atualmente, as salas possuem um nível de iluminância abaixo do permitido por norma. Com utilização de um luxímetro, verificamos que as salas de aula possuem em média de 200lux no plano de tarefas. Desta forma, o retrofit em ambiente simulado previu um nível de 500lux para salas de aula. Os demais ambientes sofreram esta mesma intervenção e tiveram, em seus projetos, as iluminâncias de plano de trabalho atendendo ao novo uso, em conformidade normativa.

## 4. Desenvolvimento do Projeto

### 4.1. Estudo de carga e planejamento da instalação elétrica

O planejamento de carga das instalações elétricas de uma edificação leva em consideração a demanda de cada ambiente, estando diretamente relacionadas com a atividade proposta. Neste trabalho o estudo de carga teve como ponto de partida o levantamento das cargas de iluminação, com base nos estudos de retrofit luminotécnico. Na área externa foram previstos refletores de iluminação de fachada e arandelas.

Na Figura 4 temos como exemplo o estudo da iluminação da sala do mestrado, onde podemos observar que a iluminância no plano de trabalho está em conformidade com a NBR8995, a área de tarefa é equivalente a área da sala, pois consideramos a possibilidade da movimentação de carteiras, ou seja, sem pontos fixos de trabalho, trabalhando a distribuição luminosa homogênea em todo espaço.



Figura 4 – Estudo de retrofit luminotécnico da sala de mestrado.  
Fonte: Autores

As tomadas de uso específico (TUE) foram quantificadas para atender as cargas de aquecimento de água, ar condicionado e motores elétricos. No Quadro 1 é apresentado o quadro de previsão por setor, onde verificamos a totalização das cargas por tipo: Iluminação, Tomada de Uso Geral (TUG) e TUE.

Quadro 1 – Quadro de previsão de cargas.  
Fonte: Autores

Setor	Iluminação (VA)				TUG (VA)			TUE (VA)
	25	2x16	2x32	100	100	200	600	
Administrativo	4	26	0	0	2	17	2	0
Pedagógico	1	68	3	0	2	37	3	10520
Vivência	17	12	0	9	15	0	0	1520
Serviço	1	4	0	0	1	5	3	0
<b>TOTAL INSTALADO</b>	<b>35,87kVA</b>							

## 4. Projeto de rede de condutos

Na distribuição de circuitos os pontos de iluminação e TUG foram alocados em circuitos distintos. Desta forma, temos como proposta a separação da rede em dois níveis: piso e forro. O plano superior, com condutos sobre o forro, foi totalmente destinado a distribuição dos circuitos de iluminação, enquanto o plano inferior, com condutos sob o piso de madeira, acomodou as tubulações exclusivas de circuitos de tomada e força e alimentador.

Na Figura 5 é apresentada uma perspectiva isométrica de um trecho da rede de condutos do pavimento térreo, onde a separação em sistemas distintos pode ser mais bem observada. Os circuitos terminais têm sua origem no quadro de luz e força.

A distribuição dos circuitos de iluminação é feita através eletrocalha superior percorrendo longitudinalmente a circulação principal, com derivações para alimentação das luminárias das salas através de redes de eletrodutos metálicos rígidos. A conexão elétrica com cada equipamento será realizada a partir de derivação em condulettes, localizados imediatamente cima de cada luminária. Facilitando manutenções e intervenções futuras.

A distribuição dos circuitos de tomada e força é feita através de canaleta de piso, fixada abaixo do barrote de madeira, percorrendo toda extensão da circulação principal, com derivações em rede de eletrodutos para alimentação das TUGs nos ambientes. As caixas para fixação das tomadas de corrente serão aparentes (condulettes), mas de fácil reversibilidade.

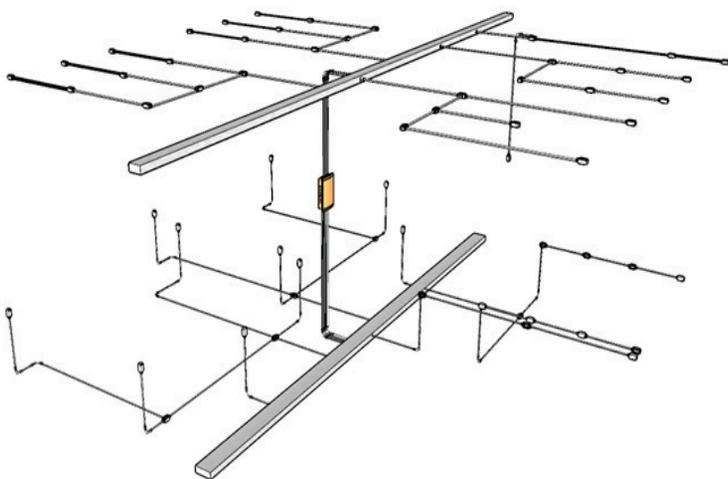


Figura 5 – Perspectiva isométrica parcial da rede de condutos.  
Fonte: Autor

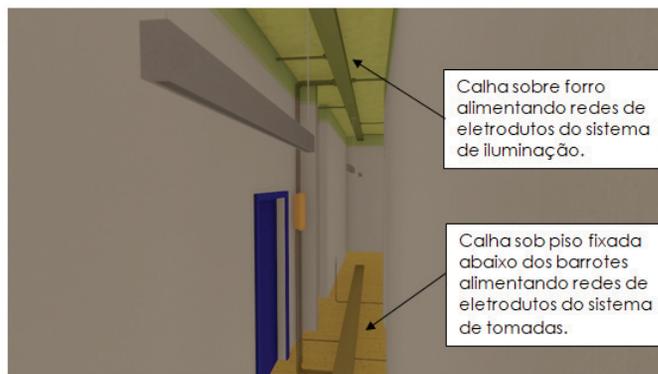


Figura 6 – Perspectiva renderizada da distribuição em calhas  
Fonte: Autor

Na Figura 6 é apresentada uma perspectiva renderizada da distribuição em calhas na circulação principal. As superfícies do forro e do piso ganharam aspecto de transparência para visualização dos condutos. Conforme esta previsão de cenário a intervenção da rede de condutos interfere minimamente no aspecto original, ficando visível apenas o quadro geral aparente. Esta análise foi realizada nos demais ambientes, onde também foi possível alimentar os pontos de utilização sem impacto visual significativo.

## 5. Conclusões

Como complementação à proposta de reabilitação da Casa do Barão do Rio Branco, o projeto de retrofit luminotécnico e das instalações elétricas procurou contemplar as necessidades específicas inerentes ao uso que se propõe para o imóvel, sem perder de vista os critérios que regem as intervenções de restauração de edificações de valor histórico, bem como o atendimento às normas técnicas e de segurança.

Após análises realizadas no ambiente BIM, verificamos que o traçado da rede de condutos e alocação das caixas de passagem e derivação não interferiram de forma significativa, pois foi projetada em grande parte sobre forro e sob piso, estando visíveis apenas pequenos trechos de tubulação para conexão nos condulettes destinados às TUGs e TUEs. Os materiais selecionados proporcionam uma reversibilidade da instalação, pois os elementos da rede e as luminárias são facilmente removíveis. Desta forma, atendendo à preocupação da mínima intervenção possível no sistema construtivo da casa, respeitando as técnicas originais da edificação (Brandi, 2004).

Será uma oportunidade para a modernização das instalações, em termos de materiais, equipamentos e tecnologias que proporcionam maior rendimento, no sentido de melhor atender à crescente demanda de energia elétrica em todas as atividades contemporâneas inerentes da atividade proposta.

## 6. Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. ABNT NBR5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [2] \_\_\_\_\_. ABNT NBR13570. Instalações Elétricas em Locais de Afluência de Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [3] \_\_\_\_\_. ABNT NBR8995. Iluminação em ambientes de trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [4] \_\_\_\_\_. ABNT NBR9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos: ABNT, 2015.
- [5] BRANDI, Cesare. Teoria da Restauração. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2004.
- [6] BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do Programa Monumenta. Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural / Elaboração. José Hailon Gomide, Patrícia Reis da Silva, Sylvia Maria Nelo Braga. Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005.
- [7] FILHO, MAMEDE, João. Instalações Elétricas Industriais, 9ª edição. LTC, 03/2017.

# Plataforma de Gestão do Ciclo de Vida do Edifício - ECOSTLY

*Maria Fernanda Rodrigues, Paulo Alexandre Soares, Raquel Valente de Pinho Matos, Hugo Filipe Pinheiro.*

**A** avaliação e gestão do ciclo de vida das construções é atualmente uma preocupação dos respetivos intervenientes, especialmente no que concerne às intervenções de reabilitação e de manutenção. Considera-se que a informação relativa à análise do tempo de vida útil é crucial para a tomada de decisões para intervir e para a prévia adequação dos planos de manutenção, determinados pelas condições locais de utilização e o custo do ciclo de vida. Assim, este trabalho, teve como principais objetivos calcular a vida útil dos materiais e elementos construtivos de um edifício objeto de reabilitação e, de modo a facilitar este cálculo, desenvolver uma plataforma web de cálculo automático da respetiva vida útil estimada, baseado no método fatorial, para a aplicação em planos de manutenção e avaliação do custo da manutenção ao longo do ciclo de vida das construções. Para o desenvolvimento desta plataforma, foi considerado um caso de estudo e cada elemento fonte de manutenção identificado, tendo por base os dados recolhidos sobre as ações de manutenção preventiva e reativa desenvolvidas ao longo do tempo, em edifícios da empresa a quem pertence o caso de estudo. a realização de um retrofit luminotécnico e de um projeto de instalações elétricas, utilizando como ferramenta computacional a tecnologia BIM (Building Information Modeling), através do software REVIT, visando atender às demandas contemporâneas para um novo uso da edificação, dentro dos preceitos conceituais e teóricos de um projeto de restauração, sem que se alterem suas condições originais.

## 1. Introdução

Após um período de significativa contração do mercado, o sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) evidencia uma recuperação desde 2017. Ainda assim, de acordo com o Jornal da Construção, o crescimento no sector em 2018 em Portugal era de 3.5 %, enquanto que em Países da Europa de Leste verificava-se um crescimento mais acentuado, como é o caso da Hungria com um crescimento de 24,7 % (EFCFA, 2018).

Dado o estado de degradação de mais de um milhão de edifícios (INE, 2017), ainda que o processo de reabilitação urbana em Portugal esteja em evolução, existe urgência na requalificação dos centros urbanos com um compromisso entre a manutenção e a sua monitorização (INE, 2017). Ainda assim, existe uma grande preocupação na aplicação da reabilitação e manutenção pela falta de informação sobre o ciclo de vida dos materiais, o que leva a que estes processos sejam complexos e onerosos (Rodrigues et al., 2019).

A manutenção dos edifícios durante décadas consistiu essencialmente em ações reativas, baseadas em critérios subjetivos, que comprometiam, em determinadas situações, a segurança dos utilizadores. O planeamento de estratégias de manutenção requer o desenvolvimento de uma ferramenta rigorosa que ajude os técnicos nas tomadas de decisão sobre como e quando intervir (Silva et al., 2019).

Portanto, o principal objetivo deste trabalho é propor uma ferramenta web-based de cálculo automático da vida útil estimada de elementos construtivos fonte de manutenção e, ainda, validar esta ferramenta para a obtenção de planos de manutenção e na avaliação dos respetivos custos de ciclo de vida (CCV). Assim, neste trabalho foi desenvolvida a seguinte metodologia de trabalho:

1. Estudo comparativo entre os custos reais recolhidos de ações de manutenção preventiva e reativa.
2. Validação do pressuposto de que a manutenção preventiva prolonga a vida útil dos edifícios e diminui o seu custo do ciclo de vida.
3. Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à estimativa da vida útil – eCOSTly.

Na próxima secção, são abordados alguns conceitos fundamentais para se perceber a metodologia aplicada, tais como o Building Life Cycle Management, reabilitação, renovação, manutenção e gestão da manutenção.

## 2. Revisão

Manutenção, Reabilitação, Renovação e Reconstrução - Primeiramente é importante distinguir conceitos como a reabilitação, renovação e reconstrução de edifícios e, tendo em conta a inexistência de ações de manutenção ao longo dos anos que levaram a um estado de degradação generalizado (Teixeira, 2011) é também essencial abordar o conceito de manutenção.

A manutenção é a ação de intervir regularmente no edifício com tarefas de reparação e de manutenção, com a intenção de manter o desempenho do edifício ao longo do seu ciclo de vida (Cho et al., 2016). A reabilitação tem como objetivo estender a vida útil do edifício e dos seus componentes sem que este seja sujeito a alterações relativamente às suas características originais. A renovação é muito similar à reabilitação, no entanto, envolve mudanças nas características originais do edifício, e a substituição de partes ou sistemas inteiros para otimizar o desempenho do edifício. Por sua vez, reconstrução consiste na construção de um novo edifício após o original ter sido completa ou parcialmente demolido (Cho, 2016).

Nas últimas décadas, a manutenção dos edifícios tem sido globalmente reconhecida como um assunto de larga importância devido ao crescente número de edifícios degradados (Rodrigues-b et al., 2018). A diminuição do nível de desempenho dos edifícios devido à sua degradação generalizada afeta a qualidade de vida dos habitantes, o que resulta num gasto excessivo quer em termos de custos quer em termos de esforço para os reabilitar (Kwon et al., 2020).

Gestão do Ciclo de Vida do Edifício/Building Life Cycle Management (BLCM) – A gestão de um projeto de construção/reabilitação consiste no planeamento de todas as suas fases e avaliar os impactos e custos a curto e a longo prazo, possibilitando antecipar decisões que garantam a sua execução (Marteinson, 2005). Surge assim, o conceito do BLCM, como sendo uma metodologia constituída pelo planeamento, construção, operação e manutenção do edifício durante o seu ciclo de vida e que usa as novas tecnologias e meios de digitalização para criar, gerir e partilhar informação sobre o edifício (Rodrigues-a et al., 2018). Consiste também, em relacionar a avaliação do ciclo de vida e do custo do ciclo de vida, de forma a que os técnicos comparem soluções e adotem uma solução ótima, isto é, mais sustentável e menos gravosa economicamente (Saaksvuori, 2008) (Dixon, 2012).

Avaliação do ciclo de vida do edifício (ACV) e Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) - Enquanto que o sector da construção tradicional era guiado fundamentalmente pelos custos das intervenções, hoje em dia, devido aos efeitos das alterações climáticas, é importante incluir também a avaliação seu impacte no meio ambiente (Yu et al., 2020). Globalmente, a construção é responsável por cerca de 30-40% da emissão dos gases de efeito de estufa, sendo que, aproximadamente 70-80% são produzidos essencialmente na fase de construção e de manutenção dos edifícios. (Cho et al., 2016).

A ACV é uma metodologia que permite investigar e avaliar os impactes de um material, produto, processo ou serviço ao longo da sua vida útil (Salgado, et al., 2020; Cosola et al., 2020) e pode ser aplicada para melhorar o respetivo desempenho ambiental (Cabeza et al., 2014). Embora se enalteça a importância da ACV e esta seja um constituinte crucial do conceito BLCM, o grande foco deste trabalho recai sobre o CCV, como se descreve nas próximas secções. O CCV é o custo de um ativo, ou de uma parte deste, durante a sua vida útil, enquanto este cumprir os requisitos de desempenho, e calcula-se através da equação (1) (SULB, 2005; ISO15686-1, 2000; Rodrigues-a et al., 2018).

$$CCV = C + VAL_{\text{recorrente}} - VAL_{\text{valor residual}} \quad (1)$$

Onde:

- CCV é o custo do ciclo de vida;

- C é o custo de construção no ano 0 (custos indiretos e diretos)

-  $VAL_{\text{recorrente}}$  é o valor atual líquido de todos os custos recorrentes (de utilização, manutenção, substituição, serviços, etc.).

-  $VAL_{\text{valor residual}}$  é o valor atual líquido do valor residual do edifício em estudo (é recomendado ser 0).

Estas ferramentas auxiliam na tomada de decisão, no entanto é de salientar, que os edifícios necessitam de ações de inspeção e manutenção ao longo da sua vida útil que proporcionem o seu adequado desempenho (Teixeira, 2011; Rodrigues-b et al., 2018) e, tendo em conta o vasto leque de materiais e ações de manutenção surge a necessidade de elaboração de planos de manutenção.

Método fatorial – Trata-se de uma abordagem determinística apresentada pela (ISO15686-1, 2000) para a determinação da vida útil estimada (VUE) dos elementos fontes de manutenção. Consiste na multiplicação da

vida útil de referência (VUR) do componente pelos vários fatores que refletem as condições a que os materiais estão expostos após a sua aplicação. A vida útil estimada pode ser calculada pela expressão (2) e o significado dos respetivos fatores são apresentados na Quadro 1:

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times F \quad (2)$$

Quadro 1 – Fatores modificadores dos materiais e componentes

Fatores Modificadores		Referências
Fator A	Qualidade do produto de Construção	(Jernberg, et al., 2004)
Fator B	Nível de qualidade do projeto	(Lopes, 2010)
Fator C	Nível de qualidade de execução	(Souza, 2014; Lopes, 2010)
Fator D	Características do ambiente interior	(Jernberg, et al., 2004)
Fator E	Características do ambiente exterior	(Souza, 2014; Lopes, 2010)
Fator F	Características do uso	(Souza, 2014; Lopes, 2010)
Fator G	Nível da manutenção	(Souza, 2014; Lopes, 2010)

Fonte: (Riberinho, 2019)

Durante a aplicação deste método encontraram-se dificuldades devido à falta de bases de dados para a atribuição de valores aos fatores modificadores dos diversos elementos fonte de manutenção em estudo, na qual, a maior dificuldade sentida foi a definição e a representação do comportamento dos níveis de desempenho ao longo da vida útil do edifício.

Plataforma de Gestão do Ciclo de Vida do Edifício- Devido à grande quantidade de informação gerada durante o ciclo de vida de um edifício e devido à desorganização existente, urge encontrar uma forma de armazenar, catalogar, analisar e se possível, melhorar o desempenho do edifício, com o objetivo de alcançar um edifício sustentável. Esta gestão passa pelo uso de ferramentas apropriadas, através de uma plataforma de comunicação que facilite o tratamento e a partilha desta mesma informação, uma plataforma de gestão do ciclo de vida do edifício (BLCMP), baseada na metodologia Building Information Modelling (BIM).

Trata-se da criação de uma base de dados do BIM (BIM database), que providencia o acesso a todos os participantes no projeto e na gestão do edifício, de forma a integrarem a informação produzida no decorrer das várias fases do ciclo de vida do edifício, podendo

ajudar os vários intervenientes nas tomadas de decisão, na implementação do projeto de construção e na gestão da respetiva manutenção, como representado na Figura 1.

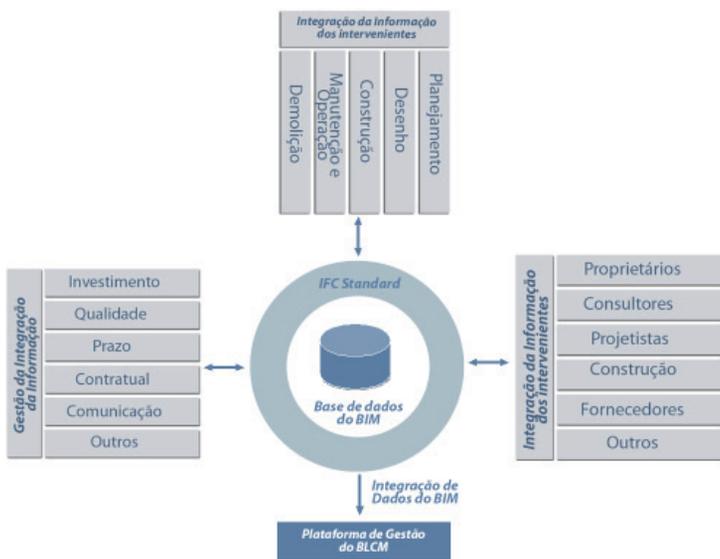


Figura 1 – Diagrama de funcionamento de uma plataforma BLCM  
Fonte: (Adaptado de Marty, 2014)

A aplicação desta plataforma, prevê e elimina potenciais pontos de conflito e agiliza o projeto, permitindo uma maior previsibilidade, produtividade, sustentabilidade, qualidade e compreensão do mesmo, bem como uma diminuição do desperdício, risco, custo, problemas durante o ciclo de vida e erros humanos (Marty, 2014).

### 3. Estudo de Caso

O estudo de caso desenvolvido refere-se aos edifícios utilizados para as caves de armazenamento de vinho do Porto, localizados no casco histórico da cidade de Vila Nova de Gaia, Portugal. Além da função de armazenamento de vinho do Porto, estas caves funcionam como centro de visitas associadas ao turismo vinícola em Gaia. As naves alvo de estudo são compostas por 3 coberturas de madeira de 2 águas cada, paredes resistentes exteriores e interiores em alvenaria de pedra, com alguns reforços em betão, constituídos por contrafortes a apoiar paredes interiores. As paredes apresentam a um nível superior cachorros de pedra e em betão com o objetivo de receberem as asnas de madeira de castanho, que constituem a estrutura da cobertura. O pavimento térreo das naves é constituído por gravilha superficial, lajeta de betão e revestimento em cubo de granito. As imagens da Figura 2 mostram o alçado e a estrutura interior do edifício e a Figura 3 a asna de madeira.

Figura 2 – Alçado e interior dos armazéns



Fonte: Taylor's, 2018.

Figura 3 – Asna de madeira



Fonte: Taylor's, 2018.

Para os armazéns objeto de estudo, existe um histórico das intervenções de manutenção preventiva e corretiva registadas ao longo dos últimos 12 anos através do sistema de manutenção SAP-ERP (SAP – Enterprise Resource Planning), permitindo proceder à criação de uma base de dados e à análise comparativa entre os dois tipos de intervenções no estudo do ciclo de vida dos materiais utilizados.

### 3.1 Metodologia

#### 3.1.1 Estudo comparativo entre os custos reais recolhidos para as manutenções preventivas e corretivas.

Para o desenvolvimento deste estudo comparativo, foi necessária a recolha de dados de custos de manutenção preventiva e corretiva, periodicidade, custo e descrição das intervenções realizadas registadas nos anos 2005 a 2016 no património imóvel da empresa Taylor's – The Fladgate Partnership. De referir que os anos de 2005, 2006 e 2016 não constam nas ações de manutenção preventiva por não ser possível diferenciar os valores referentes à mão de obra e materiais. Na Quadro 2 são apresentados os tipos de ações de manutenção realizadas nesse património.

Quadro 2 – Principais ações de manutenção

Fatores modificadores	Referências
preventiva e corretiva realizadas	
Ao nível exterior:	1. Retificações elétricas
1. Verificação e reabilitação de muros e paredes exteriores	2. Mudança de lâmpadas
2. Verificação e reabilitação de elementos enterrados	3. Substituição de ferro e barrote na cobertura
3. Impermeabilização e reabilitação de redes enterradas.	4. Retificação de pavimento
Ao nível dos armazéns:	5. Reparação de maciços
1. Verificação e limpeza de estruturas das coberturas	6. Reparação de rede de abastecimento de água
2. Verificação limpeza e reabilitação de caleiras e rufos de cobertura	7. Substituição de grades de proteção
3. Verificação limpeza e substituição/tratamento de telhas da cobertura	8. Reparação de portão e muros
	9. Reparação de pavimento e lavagem de paredes
	10. Colocação de kits de emergência nas lâmpadas
	11. Reparação de detetores de incêndio;
	12. Reparações na claraboia
	Entre outras reparações e substituições

Fonte: (Riberinho, 2019)

Verificou-se que com o decorrer do tempo as intervenções preventivas previstas são mais intrusivas, pois, para além da simples verificação e limpeza, obrigaram à substituição parcial de elementos e proteções dos mesmos, implicando, um acréscimo de custos.

Ao nível das ações corretivas, no período de 2005 a 2016, verifica-se que este tipo de ações de manutenção diminui em termos de frequência e custo ao longo do tempo, evidenciando que as intervenções iniciais, são as mais intrusivas e onerosas, decrescendo ao longo do tempo, limitando-se a intervenções pontuais, resolução de “avarias”, fortemente suplantadas pelas ações preventivas (Figura 4).

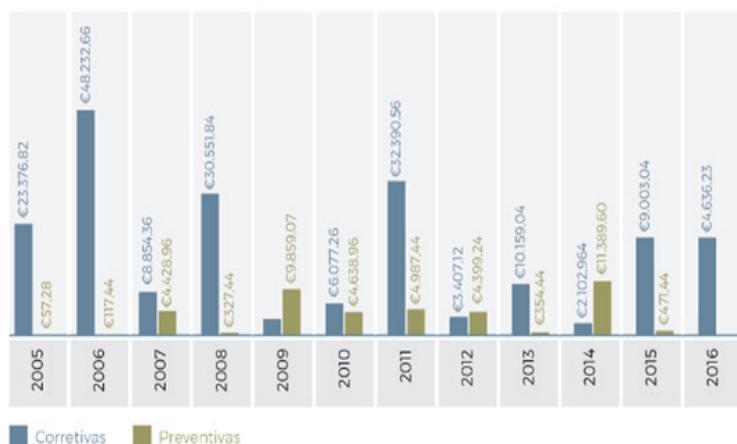


Figura 4 – Custos das Manutenções corretivas/preventivas  
Fonte: (Riberinho, 2019)

Através da análise do gráfico apresentado na Figura 4, verifica-se que os valores das intervenções corretivas excedem em muito o das intervenções com carácter preventivo, sendo mais onerosas no início do período considerado e diminuindo com o decorrer do tempo, enquanto que os valores das intervenções preventivas, mostram menor variação ao longo do período em análise. Estas assentam sobretudo em ações de inspeção e limpeza, dando origem a ações de correção, justificando assim, as diferenças de valores entre ambas.

### 3.1.2 Validação do pressuposto de que a manutenção preventiva prolonga a vida útil dos edifícios e diminui o seu custo do ciclo de vida.

Flores-Colen e Brito, (2001) reconhecem que a manutenção é a única maneira de aumentar o tempo de vida útil dos materiais, impedindo o seu envelhecimento precoce, sendo considerada um elemento chave na gestão dos edifícios e um fator importante no cálculo do CCV. Estas ações necessitam de ser planeadas na fase de projeto, através dos planos de manutenção, permitindo o controle do tempo e a minimização dos custos ao longo do ciclo de vida do edifício (adaptado de Flores-Colen e Brito, 2010).

Para o cálculo da VUE e do CCV foi necessário identificar os elementos fonte de manutenção (EFM) e as suas vidas úteis de referência. Em seguida, foi determinada a VUE dos materiais através do método fatorial. Para aplicar este método, foi necessário definir e caracterizar um conjunto de condições e fatores modificadores que têm implicações no desempenho ao longo do ciclo de vida do elemento.

Foi ainda efetuado o planeamento das ações de manutenção, a determinação dos seus custos e a sua programação, que permitem o cálculo do CCV atualizado. Neste caso de estudo, tomando como exemplo o EFM do material Flintkote (adotou-se o nome comercial para a designação da camada de impermeabilização cuja VUR é de 26 anos), calculou-se a VUE apresentada na Quadro 3.

O fator relacionado com a presença ou ausência de manutenção preventiva foi avaliado com o coef. 1.2 e 0.8 respetivamente. No cálculo do custo do ciclo de vida apresentado na Quadro 3, foi escolhido o indicador económico Valor Atual Líquido (VAL), uma vez que tem em conta a taxa de atualização que permite que o dinheiro gasto em momentos diferentes seja calculado para o seu valor atual. No cálculo para a determinação do CCV, considerou-se uma taxa de inflação constante de 0.2% (Rodrigues-a et

al., 2018), uma taxa de desmonte após o fim de vida útil de 5% e uma taxa de 63% para os custos totais de manutenção relativamente aos custos iniciais de acordo com a taxa refletida no estudo de (Wu and Clements-Croome, 2007).

Quadro 3 – Cálculo do custo do ciclo de vida do EFM Flintkote

Designação	Pinturas em elementos enterrados c/ manutenção	Pinturas em elementos enterrados s/ manutenção
Un	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Quantidade	210.40	210.40
Preço Unitário(€)	5,75€	5,75€
Preço Total (€)	1209.80€	1209.80€
VUE	31	16
Ação	Limpeza e Pintura	Limpeza e Pintura
Periodicidade (anos)	31	16

Designação	Pinturas em elementos enterrados c/ manutenção	Pinturas em elementos enterrados s/ manutenção
% Manutenção	0.63	0.05
Custo Unitário de Substituição	6.04€	6.04€
Custo Unitário de Manutenção	3.62€	0.28€
Custos Totais de Manutenção	761.72€	60.45€
Custos Totais de Substituição	1269.53€	1269.53€
VAL (50 anos)	2171.18€	2477.12€
CCV	3440.71€	3746.65€

Fonte: (Riberinho, 2019)

Ao analisar-se os resultados do cálculo do CCV, comparando a alternativa do ciclo de vida com manutenção preventiva e sem manutenção, o valor da VUE obtido para o EFM Flintkote foi de 31 e 16 anos respetivamente, tendo em conta uma vida útil de referência, indicada pelo fabricante de 26 anos.

Assim, de acordo com a Figura 5, para o EFM Flintkote, no cenário sem manutenção preventiva a vida útil decresce 93.75% e os custos aumentam 8.89%, re-

lativamente ao cenário com manutenção preventiva, justificando-se, plenamente as tarefas de manutenção preventiva, previstas para o cenário 1 (Riberinho, 2019).

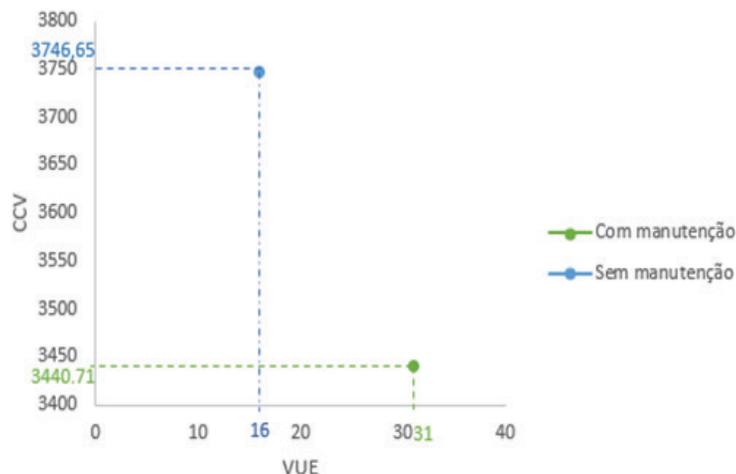


Figura 5 – Estudo comparativo entre CCV1 E CCV2 do Flintkote  
Fonte: (Riberinho, 2019)

### 3.1.3 ECOSTLY - Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à estimativa da vida útil

Durante o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte à inspeção dos elementos do edificado, Silva e Brito (2019), elaboraram um inquérito e segundo este, justifica-se a criação de uma ferramenta online, que permita a determinação do tempo de vida útil dos vários elementos constituintes dum edifício e o cálculo do CCV, permitindo a integração da informação obtida.

Assim, neste trabalho apresenta-se o resultado do desenvolvimento da página web-based eCOSTLY – evaluate Constructions Service Life for You (Figura 6), para o cálculo automático da vida útil estimada de materiais e de elementos construtivos, bem como da estimativa dos seus custos de manutenção ao longo de um tempo pré-determinado pelo utilizador, auxiliando assim na obtenção de planos de manutenção e na avaliação dos custos da vida útil do edifício.

A plataforma dispõe das funcionalidades de cálculo para utilizadores registados, permitindo que os mesmos acedam a uma zona pessoal e que os seus dados possam ser guardados, editados ou eliminados pelo utilizador. O eCOSTly apresenta uma vasta seleção de componentes que se subdividem em diferentes tipos e consequentemente em diferentes subtipos (Figura 6), desenvolvidos com base no trabalho desenvolvido no método fatorial, anteriormente mencionado. A plataforma permite a criação de novos subtipos e subfactores que, após classificados como relevantes para a comunidade em geral,

passam a estar disponíveis para todos os utilizadores.

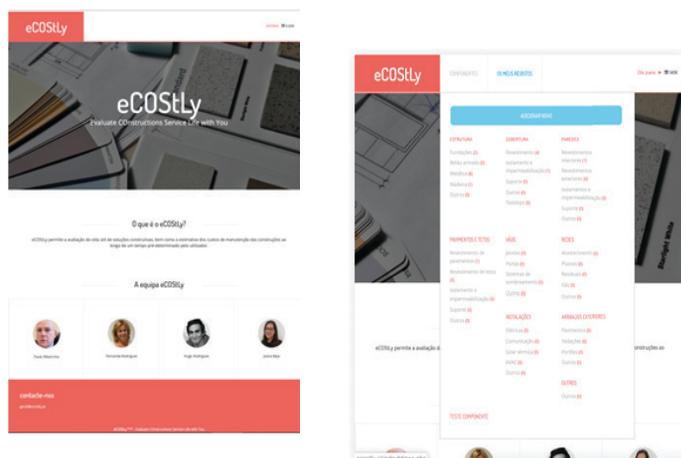


Figura 6 – Homepage e tipos e subtipos da plataforma eCOSTly.  
Fonte: (eCOSTly.pt, 2019)

Para cada subtipo de elemento construtivo selecionado, o utilizador poderá estimar a vida útil do elemento, tendo por base uma VUR ajustada, com base nos fatores modificadores considerados, de acordo com o método fatorial. O utilizador seleciona o tipo de situação a aplicar a cada um dos subfactores entre “má qualidade”, “situação corrente” e “boa qualidade”. A alteração destes subfactores irá atualizar automaticamente a VUE para o subtipo, permitindo avaliar o impacto de algumas escolhas na vida útil final. O utilizador tem ainda a possibilidade de personalizar valores como o preço unitário (em €/unid), o preço unitário de manutenção (em €/unid), a quantidade (em unid), a VUR e a periodicidade de manutenção (em anos). Estes dados são processados pelo sistema e posteriormente apresentados no formato de uma tabela que resume toda a informação selecionada pelo utilizador, conforme se exemplifica na Figura 7.

Vida Útil

K



Componente	Tipo	Subtipo	Quantidade	Preço unitário	Custo produto	VUR	VUE	Periodicidade (em anos)	Preço unitário de manutenção	Preço de manutenção	VAL
Pavimentos e Tetos	Isolamento e impermeabilização	Flintkote	210	5.75€	1207.5€	26	31.2	31	3.62€ /ano	24.52€ /ano	2204.16€
Pavimentos e Tetos	Isolamento e impermeabilização	Flintkote	210	5.75€	1207.5€	26	16.6	16	0.28€ /ano	3.68€ /ano	2680.9€

Figura 7 – Custos de manutenção do Flintkote para 50 anos  
Fonte: (eCOSTly.pt, 2019)

A ferramenta sintetiza os custos associados para cada um dos subtipos de elementos e apresenta também custos totais, permitindo que o utilizador tenha uma perceção global da sua solução construtiva, para um período de tempo por si definido.

De seguida, o sistema analisa automaticamente os dados da tabela apresentada na Figura 7, para apresentar uma nova tabela onde constam os custos associados, anualmente, para o período a estimar, incluindo não apenas a manutenção mas também a substituição do produto, de acordo com a sua VUE. Efetuou-se, através do eCOSTly, o cálculo da VUE do elemento Flintkote, bem como o cálculo do seu CCV, cujos resultados se aproximam dos resultados obtidos pelo cálculo manual (Quadro 3) que se obtiveram através da aplicação do método fatorial e do VAL. Esta ferramenta permite assim, de forma rápida, efetuar o cálculo do VUE e do CCV por EFM e obter os custos da referida manutenção ao longo da VUE

#### 4 Considerações Finais

A base de dados desenvolvida, possibilita através do software eCOSTly, estimar de forma rápida e automática a vida útil de soluções construtivas. Sendo a vida útil e a sua caracterização um elemento cada vez mais importante na análise económica dos investimentos e nos estudos de durabilidade das construções, foi necessário efetuar toda a recolha de dados e estimativas apresentadas, com o objetivo de sustentarem a conceção e desenvolvimento do eCOSTly.

A falta de bases de dados de suporte a estes estudos foi uma dificuldade, o que levou a que se procedesse à análise de dados de manutenção corretiva e preventiva na empresa proprietária dos edifícios analisados. Através da análise efetuada é possível concluir que a ausência de longos períodos de manutenção dos edifícios levou à necessidade de intervenções profundas de reabilitação no período considerado, entre 2005-2016, representando as ações corretivas 2/3 do total do investimento efetuado nesse período.

Este trabalho versa sobre um assunto de grande atualidade que além de aplicar o método fatorial para o cálculo do VUE e o método de cálculo do CCV a vários materiais e elementos construtivos de um edifício, desenvolveu uma ferramenta informática. Considera-se no entanto, importante validar os valores obtidos, através de um maior número de casos estudo, com dados mais rigorosos e detalhados, aproveitando a introdução de ferramentas como o BIM. Além disso, pretende-se o desenvolvimento e a otimização do eCOSTly, proporcionando aos técnicos do setor da construção, uma ferramenta mais completa, de fácil e rápida utilização para o cálculo da VUE, para o planeamento e determinação dos custos de manutenção dos edifícios existentes de qualquer tipologia e qualquer idade.

## 5. Referências

- [1] Cabeza, L., Rincón, L., Vilarino, V., Pérez, A. (2014) "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 29, pp. 394–416. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.037.
- [2] Cho, K. and Yoon, Y. (2016) "Decision Support Model for Determining Cost-Effective Renovation Time", *Journal of Management in Engineering*, 32(3), pp. 1–9. doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000418.
- [3] Cosola, V., Olivieri, F., García, L., Bacenetti, J. (2020) "An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems", *Journal of Environmental Management*. Elsevier Ltd, p. 109743. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109743.
- [4] Dixon, W. (2012) "What is Whole Life Cycle Costing, Life Cycle Analysis and Life Cycle Costing?" Editor: WD Re-Thinking Ltd.
- [5] EFCFA (2018) "Eastern European Construction Forecasting Association". disponível em: <http://eecfa.com/>.
- [6] Flores-Colen, I., Brito, J. (2001) "Manutenção em Edifícios Correntes - Estado Actual do Conhecimento", Conferência: Construção 2001, IST Lisboa.
- [7] Flores-Colen, I., Brito, J. (2010) "A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies", *Construction and Building Materials*, 24(9), pp. 1718–1729. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017.
- [8] INE (2017) "Estatísticas da Construção e Habitação 2017" Instituto Nacional de Estatística, 2017.
- [9] ISO15686-1 (2000) The International Standards Organisation-"ISO 15686-1 - Buildings and Constructed Assets - Service Life Planning Part 1:General Principles", 2000.
- [10] Jernberg, P., Sjostrom, C., Lacasse, M., Brandt, E., Siemes, T. (2004) "Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components", CIB W80/ RILEM TC 140 - Prediction of Service Life of Building Materials and Components, 2004.
- [11] Kwon, N., Song, K., Ahn, Y., Park, M., Jang, Y., (2020) "Maintenance cost prediction for aging residential buildings based on case-based reasoning and genetic algorithm", *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd, 28, (August 2019), p. 101006.

doi: 10.1016/j.jobe.2019.101006.

- [12] Lopes, C. (2010) "Durabilidade na Construção - Estimativa da vida útil de revestimentos cerâmicos de fachadas". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil -FEUP, 2010.
- [13] Marteinsson, B. (2005) "Service Life Estimation in the Design of Buildings. A development of the factor method" Dissertação para obtenção do grau de doutor. University of Gävle – Sweden, 2005.
- [14] Marty, R. (2014) "Building Life Cycle Management". Acedido a 20 de Outubro de 2018. disponível em: <http://perspectives.3ds.com/architecture-engineering-construction/what-is-building-lifecycle-management-blm/>, 2014.
- [15] Ribeiro, P., (2019) "Estimativa do custo do ciclo de vida no apoio à manutenção e reabilitação de edifícios" Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- [16] Rodrigues-a, F., Matos, R., Alves, A., Ribeiro, P., Rodrigues, H. (2018) "Building life cycle applied to refurbishment of a traditional building from Oporto, Portugal", *Journal of Building Engineering*, pp. 84–95. doi: 10.1016/j.jobe.2018.01.010, 2018.
- [17] Rodrigues-b, F., Matos, R., Di Prizio, M., Costa, A. (2018) "Conservation level of residential buildings: Methodology evolution", *Construction and Building Materials*. pp. 781–786. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.129, 2018.
- [18] Rodrigues, F., Teixeira, J., Matos, R., Rodrigues, H., (2019) "Development of a web application for historical building management through BIM technology", *Advances in Civil Engineering*, 2019. doi: 10.1155/2019/9872736, 2019.
- [19] Saaksvuori, A., Immonen, A., (2008) "Product Life Cycle Management", Springer, 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-78172-1, 2008.
- [20] Salgado, R., Apul, D. and Guner, S. (2020) "Life cycle assessment of seismic retrofit alternatives for reinforced concrete frame buildings", *Journal of Building Engineering*. pp. 2352-7102. doi: 10.1016/j.jobe.2019.101064, 2020.
- [21] Silva, A., Brito, J. (2019) "Do we need a buildings' inspection, diagnosis and service life prediction software?", *Journal of Building Engineering*. pp. 335–348. doi: 10.1016/j.jobe.2018.12.019, 2019.
- [22] Souza, H. (2014) "Avaliação do ciclo de vida e influência do tempo de vida útil dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica", Dissertação para obtenção de grau de mestre em meio ambiente, águas e saneamento.
- [23] SULB (2005) "Guidelines for Life Cycle Cost Analysis".- Stanford University Land and Buildings.
- [24] Teixeira, P. (2011) "Avaliação do risco no comportamento face à água de elementos construtivos em fachadas de edifícios correntes". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.
- [25] Wu, S. and Clements-Croome, D. (2007) "Ratio of operating and maintenance costs to initial costs of building services systems", *Cost Engineering*, 49(12), 2007.
- [26] Yu, M., Robati, M., Oldfield, P., Wiedmann, T., Crawford, R., Nezhad, A., Carmichael, D. (2020) "The impact of value engineering on embodied greenhouse gas emissions in the built environment: A hybrid life cycle assessment", *Building and Environment*. 168, p. 106452. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106452, 2020.

# Reabilitação Energética de Edifícios Baseada na Metodologia BIM

*Maria João Falcão Silva, Paula Couto, Fernando Pinho e Sara Silva.*

**A** reabilitação de edifícios tem crescido nos últimos anos, sendo uma das áreas com maior investimento do setor público e privado. O desafio na reabilitação de edifícios permite reduzir o uso de recursos, tentando reduzir o impacto ambiental e tornando o setor de construção mais eficiente. O principal objetivo da pesquisa desenvolvida é compreender como o uso de ferramentas digitais permite uma abordagem mais eficiente na reabilitação energética de um edifício. Desta forma, e considerando diferentes soluções de reabilitação, é possível realizar uma análise de alternativas, comparando-as com a solução base e assim sendo capaz de compreender quais são os ganhos energéticos, bem como a solução ótima. Os resultados serão apresentados possibilitando a comparação com medidas reais e os parâmetros de referência dos padrões para desempenho térmico. A possibilidade de editar as propriedades térmicas dos materiais de construção considerados, permite a realização de várias simulações com diversas combinações de possíveis melhorias. Os resultados obtidos podem ser parte integrante de uma análise de custo-benefício para apoiar a tomada de decisão.

## 1 Introdução

A reabilitação de edifícios, tem vindo a assumir, nos anos mais recentes, um papel cada vez mais importante no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) dado que, para além de resolver as anomalias visíveis e a degradação física do edificado, permite melhorar as condições de conforto e aumentar a eficiência energética e hídrica do edifício, reduzindo a poluição ao longo de todo o seu ciclo de vida (Dinis, 2010).

A fusão entre a reabilitação e a construção sustentável permite prolongar a vida útil de um edifício sem necessidade de construir um novo edifício de raiz, reduzindo desta forma os recursos naturais assim como a produção de resíduos necessários, incrementando soluções construtivas mais amigas do ambiente (Mota, 2013).

A preocupação com a sustentabilidade, baseada nos conceitos de projetos que considerem fatores sociais, económicos e ambientais nas suas estratégias tem crescido cada vez mais no setor AECO. Avaliar a sustentabilidade de um edifício implica uma análise integrada de muitas variáveis que requerem tempo no desenvolvimento de um projeto e da integração entre as diversas especialidades.

O Building Information Modeling (BIM) surge como uma metodologia inovadora que procura dar resposta a novas exigências do processo de conceção construção e manutenção de edifícios.

O BIM permite a representação digital de um objeto construído pelas suas características físicas e funcionais, envolvendo a aplicação, manipulação e manutenção de informação relativa a todo o ciclo de vida de um determinado edifício através de um modelo de dados, visual, completo e consistente (Alsayyar e Jrade, 2015) (Eastman et al., 2011). Considera-se que, atendendo ao facto de ser uma tecnologia inovadora, o BIM aplicada à reabilitação sustentável se concretiza como uma mais valia.

A utilização da dimensão BIM 6D permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, fazer medições e verificações durante a construção para que seja possível de uma forma mais eficiente eleger quais os processos mais adequados na tomada de decisão para um melhor desempenho energético do edifício (Silva et. al, 2018).

O presente artigo aborda a forma como a utilização de BIM permite uma abordagem mais eficiente na busca

de soluções de reabilitação energética de um edifício público. Apresentam-se diferentes análises do desempenho energético do edifício em estudo, testando várias soluções construtivas e analisando cada uma delas, o que permite confirmar a solução mais eficaz e qual a vantagem da utilização do BIM numa fase inicial de projeto.

A aplicação do BIM na reabilitação energética permite concluir sobre o desempenho das soluções alternativas.

## 2 Enquadramento

### 2.1 Reabilitação energética

A reabilitação pode ser definida como um conjunto de ações destinada à conservação e ao restauro das partes importantes, tanto a nível estético, histórico ou funcional conferindo a possibilidade de reutilização de um determinado edifício. Estas intervenções devem permitir satisfazer os níveis de desempenho e exigências funcionais contemporâneas, criando uma harmonia entre a identidade original e a atual (Appleton, 2010).

Alguns autores, defendem cada vez mais a reabilitação como a solução para voltar a atrair a população aos centros históricos, apresentando vantagens económicas e ambientais relevantes. Por isso, a reabilitação assume um papel cada vez mais importante na medida que pode atenuar os efeitos provocados pela crise no setor da construção (Martins, 2014).

A reabilitação energética de edifícios, pode ser encarada como uma vertente cada vez mais importante da reabilitação de edifícios. Esta assume particular relevo entre as intervenções deste tipo tentando integrar medidas de economia e de utilização racional da energia consumida. Para a realização da uma reabilitação energética de edifícios é necessária ter em consideração a reabilitação térmica da envolvente dos mesmos, realizada através do reforço do isolamento térmicos nas zonas opacas, reforço do isolamento térmico e controlo de ganhos energéticos a partir dos vãos envidraçados (Silva et. al, 2018).

Reabilitar do ponto de vista energético consiste também em otimizar a eficiência dos sistemas de iluminação e climatização de forma a reduzir o custo associado ao consumo de energia e, se possível, recorrer à introdução de dispositivos que permitam o aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis (Paiva et. al, 2006). Atendendo ao crescimento acentuado do consumo energético em Portugal, em parte devido às opções construtivas adot-

adas no passado, o papel da reabilitação energética de edifícios afigura-se ainda como tendo maior importância.

## 2.2 BIM

O Building Information Modelling (BIM) traduz um processo colaborativo em constante mudança e desenvolvimento, baseado num processo de partilha de informação entre todos os intervenientes, ao longo das fases do ciclo de vida de um empreendimento.

O BIM pode ser uma mais-valia oferecendo novas ferramentas para o setor através da colaboração digital e gestão eficiente da informação (Antonopoulou et al., 2017). No BIM desenvolve-se, em software específico, um modelo de informação digital tridimensional com dados relacionados com arquitetura, estruturas, redes prediais, informações ao nível da sustentabilidade da construção, planeamento ou o custo (Lino et. al, 2012) (Azevedo, .

O aparecimento dos softwares BIM que conseguem juntar a modelação com a realização de avaliações energéticas, por forma a estudar o comportamento térmico do edifício num só programa, permite ao projetista a tomada de decisões mais conscientes, precisas e informadas sobre o projeto em questão, permitindo fazer a escolha do tipo de materiais que podem ser utilizados, a escolha dos sistemas de energia renováveis mais eficientes, ou o tipo de vãos envidraçados mais adequados à exposição solar do edifício em causa e fazer o estudo da avaliação energética de forma relativamente rápida, fácil e económica, por forma a tentar fazer uma escolha acertada e quase personalizada consoante as necessidades do edificado em causa (Sara Silva, 2019).

## 2.3 Utilização de BIM na reabilitação energética

No setor da construção nova o BIM já mostrou os seus potenciais benefícios no que diz respeito ao planeamento, projeto, análise energética, construção e entregas de projetos de edifícios construídos de origem (Eastman et al., 2011). Os projetos de reabilitação contam com equipas multidisciplinares, que permitem que cada especialidade consiga trocar e interpretar informação e dados do ativo patrimonial para que, assim, se consiga informar sobre o seu valor e significado. A maioria dos softwares BIM inclui características que podem ser úteis em projetos de reabilitação, com a integração de um conjunto de dados como informações históricas, fotografias, valores patrimoniais associado a componentes específicos ou espaços, interoperabilidade, para partilha de dados e reutilização através de uma equipa multidisciplinar,

potencial para interagir com outros sistemas corporativos de bases de dados e arquivos (Antonopoulou e Bryan, 2017).

Avaliar a sustentabilidade de um edifício implica uma análise de muitas variáveis que requerem tempo no processo de desenvolvimento do produto e da atuação de várias especialidades. Com a utilização do BIM, é possível obter uma avaliação consistente, e fidedigna que permite a decisão em tempo real, preferencialmente na etapa de projeto. Deve-se considerar que, por ser uma tecnologia inovadora a modelação em BIM aplicada ao sector da reabilitação sustentável é uma mais-valia.

A utilização da dimensão BIM 6D permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, fazer medições e verificações durante a construção para que seja possível de uma forma mais eficiente eleger quais os processos mais adequados na tomada de decisão para um melhor desempenho energético do edifício (Eastman et al., 2011).

As ligações diretas entre o BIM e ferramentas de análise energética são por uma importante evolução tecnológica, permitindo a criação de análise que tenham uma relação entre si, permitindo uma melhor interligação de dados de forma coordenada e continua que economiza tempo, recursos e reduz o risco de possíveis erros (Attia, 2010).

A utilização de ferramentas apoiadas na metodologia BIM contribuirá para a sustentabilidade na elaboração de um projeto de uma obra quer seja esta uma construção nova ou de reabilitação, através da análise antecipada dos consumos de energia do projeto e os seus respetivos custos de utilização, facultando resultados credíveis e consistentes, possibilitando desta forma, fazer tomadas de decisão antecipadas e otimizar as análises de custo do ciclo de vida de um edifício (Santos e Couto, 2015).

## 3. BIM na Reabilitação Energética de um Edifício Público

### 3.1 Descrição do edifício

O edifício está localizado na Quinta do Marquês, Oeiras, sendo parte integrante do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) e concentra atualmente os diversos laboratórios dos organismos ligados a investigação em funcionamento, em diferentes locais de Lisboa (Figura 1). Foi construído no final dos anos 60, e é constituído por 3 pisos, designados, Cave, Piso 0, Piso 1, e tem também um sótão, que apenas é utilizado para a

maquinaria técnica, perfazendo uma área construída de aproximadamente 7370m<sup>2</sup>, não tendo sido contabilizada a aérea do anfiteatro. Este edifício é composto principalmente por salas de escritórios e laboratórios (Silva et.al, 2018).

Figura 1 – Edifício do INIAV



Fonte: Silva, 2019

### 3.2 Modelação do edifício

Para a modelação do edifício em estudo o software escolhido foi o ArchiCAD da Graphisoft, dado que para além da simples modelação geométrica de edifícios este incorpora uma funcionalidade que permite, caso necessário, fazer análises energéticas (Figura 2).

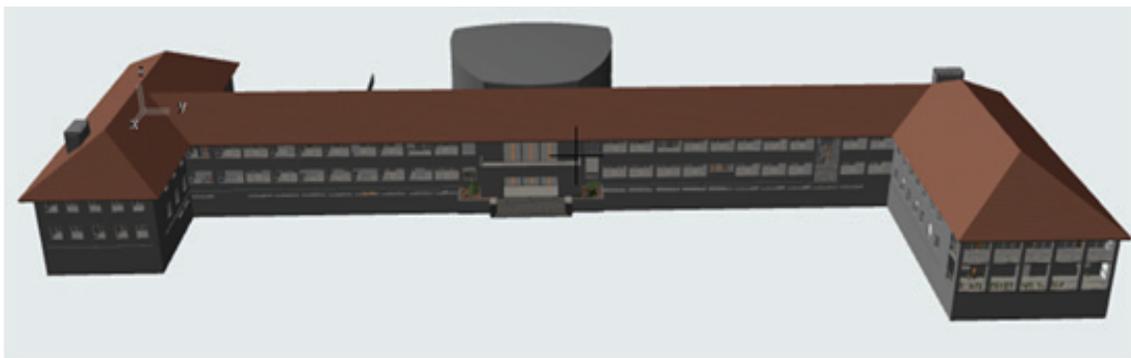


Figura 2: Modelo global tridimensional do edifício  
Fonte: Silva, 2019

A cada elemento do modelo foram atribuídas características geométricas e físicas, bem como definidos os tipos de materiais e as propriedades térmicas conforme as características do edifício existente. Para além da introdução dos elementos da construção do edifício, foi introduzido no programa também a sua localização, a sua orientação solar, para que na simulação estivessem aplicadas diretamente as condições onde o edificado está implantado (Silva et.al, 2018).

Ainda antes de serem realizadas as simulações energéticas, foram definidas configurações básicas de energia, representadas pelo tipo de construção, pela localização da edificação

pelo nível do terreno do projeto, pela definição do tipo de sistemas de aquecimento e arrefecimento do edifício, entre outros.

Acresce ainda que outro parâmetro importante definir para o desenvolvimento das análises corresponde à atribuição de zonas térmicas aos vários compartimentos do edifício. Estas zonas são unidades espaciais do projeto, que normalmente representam sectores de um edifício com determinadas áreas, volumes e tipo de ocupação atribuído (Silva, 2019).

Para a avaliação energética o software usado agrupa as zonas térmicas em blocos térmicos (Figura 3a) que correspondem ao conjunto de um ou mais compartimentos com características semelhantes em termos de requisitos de aquecimento ou arrefecimento (Figura 3b).

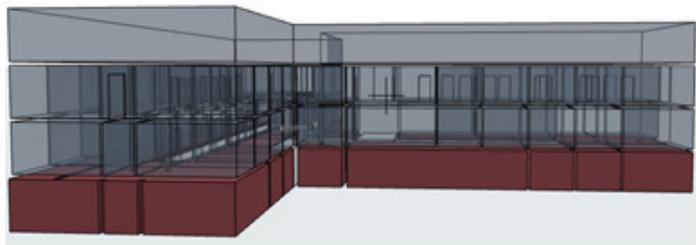


Figura 3a: Detalhe do modelo parcial do edifício: blocos térmicos  
Fonte: Silva, 2019

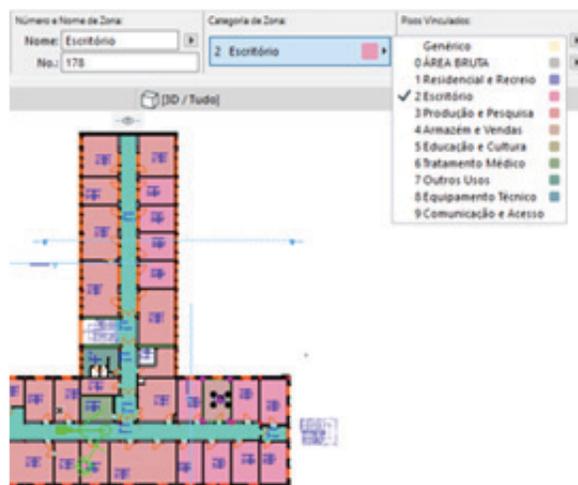


Figura 3b: Detalhe do modelo parcial do edifício: categorização das zonas térmicas  
Fonte: Silva, 2019

A simulação energética do edifício é feita com base nas suas características reais, para que os valores de consumo energético resultantes da simulação vão de encontro com os valores reais, podendo, no entanto, ser um pouco divergentes dos valores reais, por simplificações utilizadas no programa e por se tratar de um modelo aproximado, em vez do modelo exato do edifício. Mais se adianta que, nas simulações energéticas são contabilizados:

- i) os horários reais de funcionamento do edifício;
- ii) a taxa de ocupação do edifício;
- iii) as potências dos equipamentos instalados no interior;
- iv) as características dos elementos construtivos;
- v) dados climáticos.

A possibilidade de editar as propriedades térmicas dos materiais permite a realização de várias simulações com diversas combinações de possíveis melhorias a implementar, podendo através dos resultados obtidos ser fundamentados por análises custo-benefício.

### 3.3 Soluções de reabilitação energética

Foram estudadas duas soluções para melhoria do desempenho energético do edifício sem colocar em causa a sua identidade: i) Reforço do paramento exterior com isolamento térmico (sistema ETICS); ii) intervenção nos vãos envidraçados (introdução de vidros duplos com caixilhos de alumínio, mantendo o material da caixilharia existente). Complementarmente estudou-se ainda uma solução combinada incorporando i) e ii) simultaneamente.

Face ao exposto, na elaboração das simulações energéticas, foram analisadas quatro alternativas diferentes:

- i) Solução existente (S1) correspondente ao edifício após intervenção na cobertura (com colocação de painel sandwich com 8 cm de espessura na cobertura), sistema de ventilação, sistema de climatização e luminárias com sistema de LED;
- ii) Intervenção ao nível do paramento exterior do edifício (S2) com colocação de um sistema de isolamento térmico compósito exterior (ETICS) constituído por placas de poliestireno expandido (EPS) com 6cm de espessura e revestido por ligante sintético armado com rede de fibra de vidro;
- iii) intervenção ao nível da envolvente envidraçada do edifício (S3) com proposta de substituição dos vãos envidraçados existentes com caixilharia de alumínio e vidro simples, para uma

caixilharia de alumínio com alteração para vidros duplos, conferindo assim uma maior estanquicidade ao ar e conforto térmico;

- iv) intervenção total do edifício (S4) compreendendo a junção das duas soluções propostas (S2+S3).

## 4 Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

A avaliação energética obtida no programa é validada pela norma ANSI/ASHRAE 140-2007: Método Padrão de Testes para Avaliação de Programas Informáticos de Análise Energética de Edifícios. No desenvolvimento da análise são apresentados os blocos térmicos de aquecimento e arrefecimento, de iluminação e outros equipamentos do modelo analisado, para cada mês, sendo possível identificar os pontos críticos do projeto.

Os resultados da simulação da situação de referência (S1) e das várias soluções de intervenção (S2, S3 e S4) são apresentados sob a forma de gráfico ou de tabelas, contendo valores mensais precisos para perdas e ganhos da edificação, possibilitando a manipulação dos mesmos e a sua comparação com a medições reais e com parâmetros de referências de normas de desempenho térmico.

Atotalidade dos valores obtidos encontram-se presentes em relatórios fornecidos pelo programa (Figura 4), permitindo uma primeira análise rápida dos consumos energéticos (Silva, 2009).

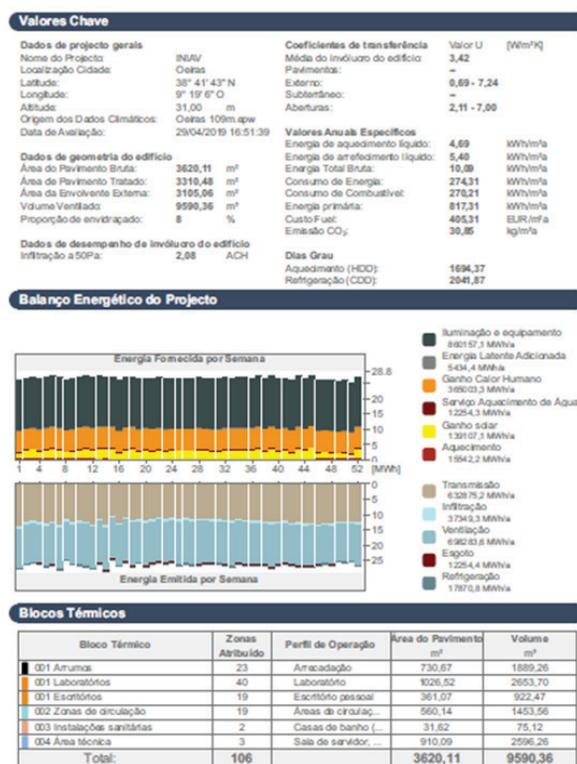


Figura 4: Exemplo de relatório de avaliação desempenho energético  
Fonte: Silva, 2019

Tendo por base os relatórios gerados nas avaliações energéticas, foram efetuadas análises dos valores mais relevantes, do ponto de vista da eficiência energética, com o intuito de perceber qual a melhor solução a adotar para o edifício em estudo, caso se pretenda intervir sob o ponto de vista da reabilitação energética (Figura 5 e Figura 6).



Figura 5a: Balanço energético das necessidades anuais de aquecimento do edifício;  
Fonte: Silva, 2019

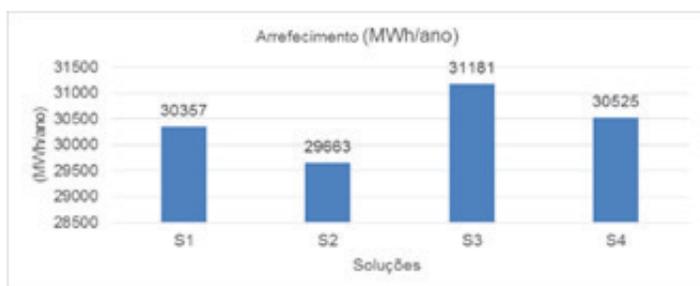


Figura 5b: Balanço energético das necessidades anuais de arrefecimento do edifício;  
Fonte: Silva, 2019

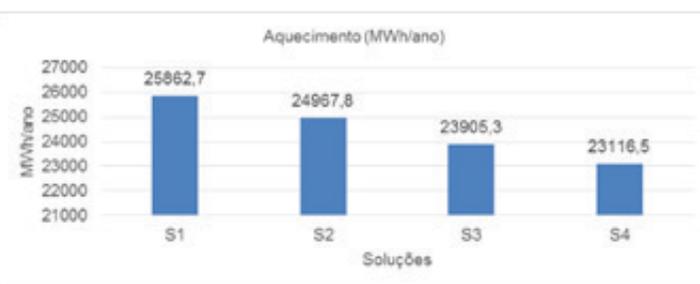


Figura 6a: Emissões de CO<sub>2</sub>;  
Fonte: Silva, 2019

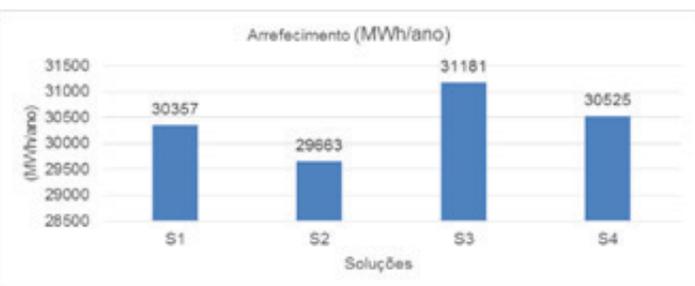


Figura 6b: Balanço energético das necessidades anuais de arrefecimento do edifício;  
Fonte: Silva, 2019

Ao analisar os gráficos relativos ao Balanço energético do edifício pertencentes às necessidades de aquecimento é visível que a melhor solução é a S4, no entanto, ao analisar os gráficos relativos às necessidades de arrefecimento verifica-se que a melhor solução é a S2.

Ao nível do consumo de emissão de CO<sub>2</sub> a solução S2 continua a ser aquela que apresenta um menor valor e aquela que apresenta menor custo de energia face às restantes soluções apresentadas. No que se refere a custos de energia pode-se afirmar que as soluções S2 e S4 se encontram bastante equiparadas.

Em termos globais pode-se concluir que, para as simulações feitas e tendo em conta as funcionalidades do programa e o facto de ser efetuada uma análise relativamente simplista ao nível das pontes térmicas, a solução S2 é aquela que apresenta valores mais consistentes para uma tomada de decisão sobre de que forma se deverá intervir no futuro no sentido de promover a reabilitação energética do edifício em estudo.

## 5 Conclusões

Com o trabalho desenvolvido apresentam-se os benefícios da utilização da metodologia BIM num processo de análise energética de um edifício alvo de reabilitação, mostrando as vantagens dessa utilização, comparando vários cenários de reabilitação, como é o caso das situações de intervenção propostas por forma a tentar chegar à solução mais vantajosa do ponto de vista energético.

Mais se adianta, que foi possível identificar as fases mais importantes para o desenvolvimento de avaliações energética, com base num software apoiado pela metodologia BIM. Foram discriminadas as soluções alternativas de intervenção para reabilitação do edifício com vista a melhorar a eficiência energética do edifício, sendo dado particular ênfase às suas características essenciais para incorporação no modelo.

A utilização de ferramentas de Análise Energética ajuda a fundamentar os processos de tomada de decisão permitindo optar por soluções mais eficientes, com vista a uma redução das necessidades energéticas e consequentemente a um aumento a eficiência energética do edifício. No âmbito do trabalho foram obtidos desempenhos energéticos fornecidos pelo software selecionado e utilizado na modelação, que foram analisados ao pormenor pelo programa, permitindo demonstrar a adequabilidade da utilização da Avaliação Energética no âmbito da metodologia BIM.

A aplicação de conceitos BIM a um cenário como o apresentado permite que sejam comparados de forma rápida e eficaz diferentes quadros de reabilitação através do acesso a informação prévia como os consumos, o balanço energético e o impacto ambiental. Esta informação permite que o projetista, o dono de obra e empreiteiro possam decidir de forma mais sustentada e harmoniosa as suas ações de forma a otimizar o todo projeto de reabilitação.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] ALSAYYAR, B., JRADE, A., Integrating Building Information Modeling (BIM) with sustainable universal design strategies to evaluate the costs and benefits of building projects.,” 5th Int. Constr. Spec. Conf. Vancouver - Br. Columbia 10 p., 2015.
- [2] ANTONOPOULOU, S., BRYAN, P. BIM for Heritage - Developing a Historic Building Information Model. Historic England, 2017.
- [3] APPLETON, J. Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção, Edições Orion. 2011.
- [4] ATTIA, S. Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey. Architecture, (January), 1–47, 2010
- [5] AZEVEDO, O. Metodologia BIM - Building Information Modeling na Direcção Técnica de Obras. 2009, Dissertação de Mestrado.
- [6] DINIS, R. ( 2010). Contributos para a reabilitação sustentável de edifícios de habitação. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- [7] EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and .c/p+onh bContractors, 2nd Edition. 2011.
- [8] LINO, J., AZENHA, M., LOURENÇO, P. Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. Encontro Nacional Betão Estrutural (BE2012), FEUP, 2012.
- [9] MARTINS, A. A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado. 2014, Dissertação de Mestrado, UFP.
- [10] MOTA, A. Consumo ecológico – Poupar o ambiente e a carteira. Lisboa, 2013.
- [11] PAIVA, J., AGUIAR, J., PINHO, A., Guia Técnico de Reabilitação Habitacional. Edições LNEC, 2006.
- [12] SILVA, S. Aplicação do BIM à Reabilitação Energética de um Edifício Público, 2019, Dissertação de Mestrado, FCT-UNL, Costa da Caparica, Portugal.
- [13] SILVA, S., FALCÃO SILVA, M.J., COUTO, P., PINHO, F. Reabilitação de um edifício público utilizando metodologias BIM, CONSTRUÇÃO 2018, FEUP, Porto, 2018
- [14] SANTOS, L., COUTO, J., Ferramentas e processos BIM de avaliação e otimização energética em edifícios. BIM Tools and Procedures for Energy Evaluation and Optimization in Buildings ISSN Para ISBN, 174–178, 2015.

### Recomendações para Submissão de Artigos e Matérias Técnicas na revista “Gestão & Gerenciamento”

Para enviar seu material para a revista, cadastre-se em nossa plataforma online: <http://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento>

#### Condições Básicas:

- O artigo deve ser original e inédito em publicações e exclusivo da Gestão & Gerenciamento;
- O texto obedecerá a padrões e requisitos bibliográficos, conforme o arquivo modelo, disponível no site <http://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento> ;
- Na submissão, a identificação dos autores deve ser removida do artigo (em Word), inclusive na opção de propriedades, visando não ser possível identificar os autores, e garantindo a avaliação por “pares cegos”;
- Os direitos autorais pertencem aos autores, mas estes devem aceitar que a publicação se dará através da revista Gestão & Gerenciamento, em primeira publicação;
- Os autores devem indicar no material enviado a seção mais adequada para a sua avaliação e publicação.



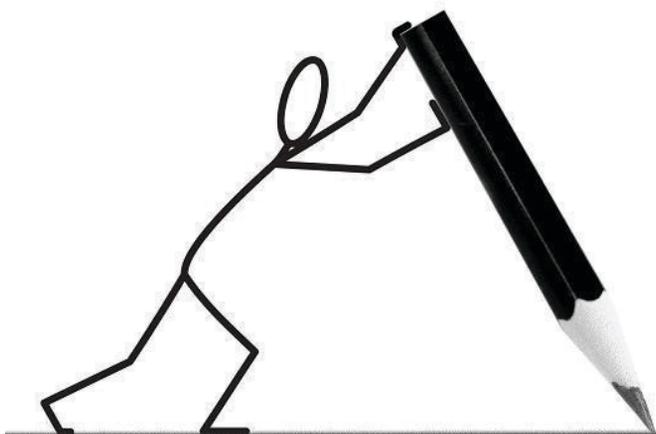
#### Linhas de Publicação:

##### Gestão

- Gestão da Sustentabilidade;
- Gestão de Resíduos;
- Gestão da Produtividade e da Inovação;
- Gestão de Riscos;
- Reabilitação do Ambiente Construído.

##### Gerência

- Análise dos Cenários Econômicos em Projetos;
- Estratégia Empresarial;
- Tópicos em Maturidade no Gerenciamento de Projetos;
- Gerência de Empreendimentos



# PÓS-GRADUAÇÃO NA POLI/UFRJ



## CERTIFICADO EMITIDO PELA UFRJ.

Preparação de profissionais para gestão em diferentes áreas da Construção Civil: novas Construções, Manutenção, Reabilitação e Restauração Predial.

---

PARA MAIS INFORMAÇÕES ENTRE EM CONTATO CONOSCO  
INSCRICAO.NPPG@POLI.UFRJ.BR

## PLANEJAMENTO, GESTÃO E CONTROLE DE OBRAS CIVIS