

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Recomendações para o Uso de BIM 4D na Gestão de  
Empreendimentos Habitacionais de *Retrofit***

**Fernanda Justin Chaves**

Porto Alegre  
2015

FERNANDA JUSTIN CHAVES

**RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE BIM 4D NA GESTÃO  
DE EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE *RETROFIT***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Porto Alegre  
2015

### CIP - Catalogação na Publicação

Chaves, Fernanda Justin  
Recomendações para o Uso de BIM 4D na Gestão de  
Empreendimentos Habitacionais de Retrofit / Fernanda  
Justin Chaves. -- 2015.  
171 f.

Orientador: Carlos Torres Formoso.  
Coorientadora: Patrícia Tzortzopoulos-Fazenda.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-  
RS, 2015.

1. BIM 4D. 2. Planejamento. 3. Habitação. 4.  
Perturbações. 5. Retrofit. I. Formoso, Carlos Torres,  
orient. II. Tzortzopoulos-Fazenda, Patricia,  
coorient. III. Título.

**FERNANDA JUSTIN CHAVES**

**RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE BIM 4D NA GESTÃO  
DE EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE *RETROFIT***

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 13 de novembro de 2015

Prof. Carlos Torres Formoso  
Ph.D. pela University of Salford / UK  
Orientador

Profa. Patrícia Tzortzopoulos-Fazenda  
Ph.D. pela University of Salford / UK  
Co-orientadora

Prof. Carlos Torres Formoso  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Cecília Gravina da Rocha (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Luciana Inês Gomes Miron (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Dayana Bastos Costa (UFBA)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico esta dissertação ao meu marido Diego, meu porto  
seguro.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força interior para superar as dificuldades e me mostrar o caminho nas horas incertas.

Ao Diego, meu maior incentivador, que sempre acreditou no resultado final deste trabalho, apoiando-me com seu amor, carinho e paciência.

Aos meus pais Enodir e Dileti, às minhas irmãs Débora e Camila, à minha tia Janete e ao meu cunhado Fabiano, pelo carinho, compreensão e apoio. Aos meus avós Ilda e Hermes, por todo o afeto e dedicação desde a graduação. Ao Albino e à Vera, pelo incentivo.

Ao Professor Carlos Torres Formoso, pela oportunidade de ser sua orientanda e pelo aprendizado durante este trabalho. À minha co-orientadora, Professora Patrícia Tzortzopoulos, pelas considerações e pela confiança no desenvolvimento desta pesquisa.

Às minhas amigas, Tatiana Andrade, Fabrícia Grando, Mariana Lixinski, Tatiana Rheinheimer, Renata Teixeira, Karen Barbosa, Renata e Letícia Lauten, pela amizade e por aliviar a tensão pessoalmente ou pelas redes sociais.

Aos amigos Flávia Souza, Jéferson Shigaki, Talita Gandara e Leonardo Delai, aos queridos vizinhos Sérgio e Vanessa Kemmer, que proporcionaram momentos de descontração, tornando os anos em Manchester muito mais agradáveis.

À Rafaela Bortolini, por sua amizade inigualável. Um presente que o mestrado me trouxe e que levarei por toda a minha vida.

A todos os amigos que fiz no NORIE, desde a época em que eu era bolsista de IC até o final do mestrado, por compartilharem suas experiências e amizade. À Cecília Rocha, por sua amizade e pelas contribuições nesta pesquisa. Agradeço especialmente à Luciana Miron, pela sua amizade, companhia e acolhimento em Manchester e em Porto Alegre. Ao João Soliman Júnior e Danilo Gomes, que colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os envolvidos no projeto S-IMPLER, pela oportunidade e colaboração neste trabalho.

À CAPES e ao CNPq, pela bolsa de estudos.

À UFRGS e à University of Huddersfield, pelo provimento do estudo e instalações.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; se não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar.”

*Chico Xavier*

## RESUMO

CHAVES, F.J. **Recomendações para o Uso de BIM 4D na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Retrofit**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Os empreendimentos de *retrofit* vem ganhando destaque dentro do segmento de construção habitacional, dado o aumento de idade do estoque existente. A gestão de empreendimentos de *retrofit* apresenta muitos desafios, principalmente quando a execução da obra ocorre em edificações ocupadas. Em geral, há muitos desafios ligados às perturbações causadas aos usuários destas edificações. Alguns estudos realizados indicam que o *Building Information Modeling* (BIM) tem contribuído para a gestão da produção de empreendimentos novos. Entretanto, no âmbito de *retrofit*, o BIM tem sido pouco explorado, principalmente quanto ao uso de modelagem 4D no processo de produção. O objetivo desta dissertação consiste em propor recomendações para o uso de BIM 4D na gestão da produção de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Tais recomendações tem como propósito auxiliar tomadores de decisão envolvidos na gestão deste tipo de empreendimento, particularmente no que se refere à identificação e minimização de perturbações que afetam os usuários finais durante a obra. A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi a *Design Science Research*, na qual se buscou o desenvolvimento de um conjunto de prescrições para um problema real. Considerando o caráter exploratório desta pesquisa e algumas limitações no estudo empírico, a fase de compreensão do problema teve maior destaque do que a fase de implementação da solução. O estudo empírico foi realizado em uma obra na Irlanda do Norte, sendo que diferentes cenários de execução foram propostos para a execução da obra, utilizando BIM 4D para a identificação e redução das perturbações para os usuários finais. Entre as principais contribuições do trabalho, pode-se destacar a caracterização das perturbações causadas durante as obras de *retrofit* quando ocupadas pelos usuários, assim como o uso de cenários simulados com o uso de BIM 4D, na análise de planos alternativos nas etapas de projeto e produção.

Palavras-chave: BIM 4D, Planejamento, Habitação, Perturbações, *Retrofit*.



## ABSTRACT

CHAVES, F.J. **Recomendações para o Uso de BIM 4D na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Retrofit**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

There has been a growing interest in retrofit projects in the house building sector, given the increasing age of the existing building stock. In general, retrofit projects bring a number of challenges, especially when works are carried out in occupied buildings. Much of these challenges are related to disruptions caused to occupiers. Previous studies have indicated that *Building Information Modeling* (BIM) has contributed substantially in production management for new projects. However, the application of BIM in retrofit has not been much explored, especially concerning the use of 4D modelling to simulate production processes. The objective of this dissertation is to propose a set of guidelines for using 4D BIM for managing production in housing retrofit projects. Such recommendations were devised to support decision makers involved in the management of this type of project, particularly regarding the identification and minimization of disruptions that affect final users during the construction stage. Design Science Research was the research approach adopted in this investigation, in which a set of prescriptions were proposed for the solution of real problems. In the present study, the solution is a set of guidelines to be adopted by managers. Considering the exploratory character of this research work, and some limitations in the empirical study, the understanding the problem was the more emphasized than the implementation of the solution. The empirical study was developed in a construction project carried out in Northern Ireland, in which different scenarios for the construction phase were developed using 4D BIM models, in order to identify and reduce disruptions to the end users. The main contributions of this investigation were related to the characterization of different types of disruption, and the use of scenarios simulated in BIM models developed for analyzing alternative plans during the design and production stages.

Key-words: BIM 4D, Housing, Planning, Disruption, Retrofit.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sequência das fases da estratégia de pesquisa DSR (Fonte: adaptado de Rocha, 2011).....	61
Figura 2: Delineamento da pesquisa.....	64
Figura 3: Cronologia das Etapas do Método de Pesquisa. ....	64
Figura 4: Tipologias contempladas pelo projeto S-IMPLER. ....	71
Figura 5: Sequência de execução do <i>retrofit</i> (Fonte: adaptado do documento de proposta do projeto S-IMPLER). ....	71
Figura 6: Fontes de evidências da Etapa Inicial. ....	73
Figura 7: Modelos 3D das tipologias contempladas no projeto S-IMPLER. ....	77
Figura 8: Estrutura de nomenclatura para os modelos 3D e 4D desenvolvidos no trabalho. ....	77
Figura 9: Extrato do primeiro plano de execução das atividades para as Fases 1A e 1B.....	78
Figura 10: Modelos 3D desenvolvidos na Etapa Inicial.....	79
Figura 11: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Inicial.....	80
Figura 12: Fontes de evidências da Etapa Intermediária. ....	82
Figura 13: Opções de respostas ao gráfico criado para medir as determinadas perturbações que afetam o usuário final. ....	83
Figura 14: Modelos 3D desenvolvidos na Etapa Intermediária. ....	84
Figura 15: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Intermediária. ....	84
Figura 16: Fontes de evidências da Etapa Final. ....	86
Figura 17: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Final.....	87
Figura 18: Avaliação do conjunto de recomendações segundo os constructos de utilidade e facilidade de uso. ....	88
Figura 19: Representação do modelo MOD_3D_1_A_1. ....	89
Figura 20: Representação do modelo MOD_3D_1_A_2. ....	90
Figura 21: Materiais utilizados no isolamento térmico de paredes externas.....	91
Figura 22: Legenda das simulações desenvolvidas na Fase 1A. ....	92
Figura 23: Parte da simulação 4D MOD_4D_1_A_1. ....	94
Figura 24: Observação realizada na visita 4 – interrupção de atividade por falta de material. ....	96
Figura 25: Representação do painel de imagens da simulação MOD_4D_1_A_3. ....	98
Figura 26: Observações realizadas na visita à obra em 04/03/2015 (visita 6). ....	99
Figura 27: Painel com plano de atividades para as semanas restantes da fase 1A, a partir de 01/04/2015.....	100

Figura 28: Comparação entre as simulações 4D inicial e final da Fase 1A. ....	101
Figura 29: Retirada dos tubos condutores de água, comuns às habitações 5 e 6, para execução do isolamento das paredes externas.....	103
Figura 30: Uso de transparência e cores para representar a execução das atividades internas de <i>retrofit</i> .....	104
Figura 31: Lista de categorias de perturbações, segundo a literatura.....	107
Figura 32: Plano de execução das atividades sugerido para a Fase 1B.....	108
Figura 33: Imagens extraídas da simulação MOD_4D_2_B_1.....	110
Figura 34: Perturbações percebidas pelos usuários (RC = representante do cliente; GP = gerente do projeto; F1 = fornecedor 1; F2 = fornecedor 2; S = sim; N = não; N/A = não se aplica). ....	112
Figura 35: Perfil dos respondentes sobre perturbações. ....	115
Figura 36: Imagens extraídas da simulação MOD_4D_2_B_2.....	117
Figura 37: Estrutura dos cenários. ....	119
Figura 38: Legenda das simulações desenvolvidas para S1.....	121
Figura 39: Representação da relação entre a legenda e a atividade de isolamento térmico com placas dinâmicas. ....	122
Figura 40: Detalhe esquemático para a solução técnica S1 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor). ....	124
Figura 41: Detalhe esquemático a solução técnica S2 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor).....	125
Figura 42: Detalhe esquemático para a solução técnica S3 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor). ....	126
Figura 43: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S1_parte 1. ....	127
Figura 44: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S1_parte 2. ....	128
Figura 45: Legenda das simulações desenvolvidas para S2.....	129
Figura 46: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S2_parte 1. ....	129
Figura 47: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S2_parte 2. ....	130
Figura 48: Legenda das simulações desenvolvidas para S3.....	131
Figura 49: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S3_parte 1. ....	131
Figura 50: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S3_parte 2. ....	132
Figura 51: Matriz de cenários preenchidas com os dados dos cenários 1 e 2. ....	133
Figura 52: Análise das perturbações encontradas nos cenários 1 e 2.....	135

Figura 53: Conjunto de recomendações para utilizar BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*..... 137

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AIA - *American Institute of Architects*
- BBA – *British Board of Agrément*
- BIM – *Building Information Modeling*
- BRE - *Building Research Establishment*
- CAD – *Computer Aided Design*
- CIOB - *Chartered Institute of Building*
- CIRIA – *Construction Industry Research and Information Association*
- DECC – *Department of Energy & Climate Change*
- DEFRA – *Department for Environment, Food and Rural Affairs*
- FGV - Fundação Getúlio Vargas
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFC - *Industry Foundation Classes*
- GSA - *General Services Administration*
- LoD - *Level of Detail*
- LOD - *Level of Development*
- NORIE – Núcleo Orientado para Inovação da Edificação
- PAR - Programa de Arrendamento Residencial
- RIBA - *Royal Institute of British Architects*
- WP – *Work Package*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>PROBLEMA DE PESQUISA.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>QUESTÕES DE PESQUISA .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4</b>	<b>OBJETIVOS DA PESQUISA.....</b>	<b>24</b>
<b>1.5</b>	<b>DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.6</b>	<b>ESTRUTURA.....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b><i>RETROFIT</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>CONCEITO DE <i>RETROFIT</i>.....</b>	<b>27</b>
2.1.1	A Prática de <i>Retrofit</i> .....	29
2.1.2	Características e Desafios do <i>Retrofit</i> .....	32
2.1.3	<i>Retrofit</i> em Empreendimentos Habitacionais .....	35
<b>2.2</b>	<b>PERTURBAÇÕES DOS USUÁRIOS FINAIS DURANTE A EXECUÇÃO DE OBRAS DE <i>RETROFIT</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b><i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>CONCEITO DE BIM.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>BENEFÍCIOS E BARREIRAS NA ADOÇÃO DE BIM .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>O USO DE BIM NA GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4</b>	<b>MODELAGEM E SIMULAÇÃO BIM .....</b>	<b>47</b>
3.4.1	Modelagem BIM.....	47
3.4.2	Nível de Desenvolvimento (LOD).....	49
3.4.3	Modelagem e Simulação 4D.....	51
3.4.4	Cenários do tipo <i>what-if</i> .....	56
<b>3.5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>

<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>DELINEAMENTO DA PESQUISA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3</b>	<b>FONTES DE EVIDÊNCIA UTILIZADAS NA PESQUISA .....</b>	<b>67</b>
4.3.1	Entrevistas.....	67
4.3.2	Análise de Documentos .....	67
4.3.3	Observação e Registro fotográfico .....	68
<b>4.4</b>	<b>DESCRIÇÃO DETALHADA DAS Etapas DA Pesquisa .....</b>	<b>69</b>
4.4.1	Etapa Inicial .....	69
4.4.2	Etapa Intermediária.....	81
4.4.3	Etapa Final .....	85
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>ETAPA INICIAL.....</b>	<b>89</b>
5.1.1	Considerações finais .....	102
<b>5.2</b>	<b>ETAPA INTERMEDIÁRIA .....</b>	<b>106</b>
5.2.1	Caracterização das perturbações e modelagem 4D para a Fase 1B.....	106
5.2.2	Estruturação dos cenários .....	118
5.2.3	Considerações finais .....	120
<b>5.3</b>	<b>ETAPA FINAL .....</b>	<b>123</b>
5.3.1	Criação dos cenários .....	123
5.3.2	Conjunto de recomendações para o uso de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de <i>retrofit</i> .....	136
5.3.3	Considerações finais .....	144
5.3.4	Avaliação teórico-prática da solução proposta.....	145
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>148</b>

<b>6.1</b>	<b>ATINGIMENTO DOS OBJETIVOS .....</b>	<b>148</b>
<b>6.2</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO .....</b>	<b>151</b>
<b>6.3</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>153</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo está dividido em seis seções e apresenta o contexto e justificativa do trabalho, o problema de pesquisa, as questões de pesquisa, os objetivos propostos, as delimitações da pesquisa e uma breve descrição de como este trabalho está estruturado ao longo dos capítulos.

## 1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil representa um papel socioeconômico importante em diversos países do mundo. Um dos segmentos desta indústria que vem ganhando grande destaque, principalmente no cenário europeu, é a reforma de edificações (ITARD *et al.*, 2008; RAVETZ, 2008; EUROPEAN COMMISSION, 2013). Entretanto, no Brasil o desenvolvimento deste segmento tem acontecido de forma mais lenta (MARQUES DE JESUS; BARROS, 2011).

Egbu (1994, p.64) define a palavra reforma para abranger diferentes tipos de trabalhos que ocorrem em edificações existentes, tais como melhoria, adaptação, modernização, readequação, reabilitação, renovação, *retrofit* e reparo. No entanto, esta definição exclui obras de manutenção realizadas de forma rotineira, tais como limpeza, pintura, decoração e trabalhos de manutenção de emergência. O mesmo autor também afirma que os tipos de reforma variam de acordo com o escopo necessário a ser realizado e dependem, de forma direta, da informação fornecida sobre a situação da habitação. Considerando o contexto em que a investigação está inserida, bem como a definição utilizada pela norma brasileira, este trabalho adota a nomenclatura estrangeira *retrofit*<sup>1</sup>. A ABNT NBR 15.575 (2013, pg. 9) define *retrofit* como:

“Remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética”.

Alguns estudos apontam que a taxa de crescimento de reforma de edificações existentes é maior do que a taxa anual de construção de novas edificações e de demolições, quando

---

<sup>1</sup> O trabalho utilizará a palavra em inglês por esta já ser bastante utilizada por profissionais das áreas de arquitetura, engenharia e construção. E também, por considerar esta palavra mais adequada ao contexto das obras, as quais está inserido este trabalho.

observado o parque imobiliário europeu nos últimos anos: 1,5% ano para reforma, 1% ano para a construção de novas edificações e 0,5% ano para a demolição (ITARD *et al.*, 2008; RAVTEZ, 2008; EUROPEAN COMISSION, 2013). Da mesma forma, nos países europeus o setor de reformas em edificações habitacionais vem destacando-se (EGBU, 1997; CIOB, 2005; ITARD *et al.*, 2008). Alguns autores apontam que, atualmente, dentre os vários fatores que justificam a necessidade de manter e reformar o parque habitacional existente estão os grandes estoques de edifícios antigos, o déficit habitacional, problemas de desempenho térmico e energético, além da urgência de mitigação das mudanças climáticas (ITARD *et al.*, 2008; CROITOR; MELHADO, 2009; GHOLAMI *et al.*, 2013; SWAN; BROWN, 2013).

Segundo Itard *et al.* (2008), as edificações habitacionais representam 70% do estoque imobiliário europeu e estão divididas em habitações privadas que podem estar ocupadas pelo proprietário, alugadas, habitações de interesse social, e outras que não se enquadram diretamente nas três primeiras classificações. Embora as habitações de interesse social representem um percentual menor do que as habitações privadas, este número é bastante expressivo (ITARD *et al.*, 2008; FAWCETT *et al.*, 2013). Outra característica importante é que este parque habitacional é considerado antigo, pois cerca de 80% foi construído antes da década de 90, tendo, inclusive, uma forte identidade e significado cultural.

Um dos países que possuem o maior estoque de habitações antigas é o Reino Unido: cerca de 13 milhões de habitações foram construídas antes de 1960 (RIBA, 2013). Este estoque está dividido em: 66% ocupadas pelo proprietário, 18% aluguel privado e 16% habitação de interesse social (CLG, 2011). No período em que estas habitações foram construídas, o uso de combustíveis fósseis, as emissões de gases de efeito estufa e a expectativa de mudanças climáticas não correspondiam a uma preocupação global. Assim, o projeto não era pensado de maneira a alcançar alta eficiência energética nestas habitações, muito menos conforto térmico para seus ocupantes. Um relatório apresentado pelo governo inglês em 2010 destaca que um quinto destas habitações encontravam-se classificadas nas piores faixas de desempenho quando comparadas aos padrões atuais e, desta forma, necessitavam algum tipo de intervenção para melhorar seu desempenho (HM GOVERNMENT, 2010). Adicionalmente, os países europeus como o Reino Unido estabeleceram a meta de atingir em 2050 uma redução dos gases de efeito estufa entre 80% e 90%, em relação ao nível de 1990 (DECC, 2008; VADODARIA *et al.*, 2010). Estima-se que já foram construídas 75% das habitações que existirão em 2050 (BOARDMAN *et al.*, 2005; RAVTEZ, 2008).

Assim, tornou-se um grande desafio melhorar o desempenho e adequar o estoque habitacional existente, fazendo com que a reforma das edificações passasse a ser uma prioridade de muitos países, principalmente na Europa (ITARD *et al.*, 2008; VADODARIA *et al.*, 2010; DOWSON *et al.*, 2012). Os governos e *housing association*<sup>2</sup> destes países têm implementado uma série de medidas para incentivar a melhoria da qualidade das habitações existentes, principalmente com foco na redução do consumo de energia e do impacto ambiental (DECC, 2008; ITARD *et al.*, 2008; HM GOVERNMENT, 2010; VADODARIA *et al.*, 2010). Tais medidas estão sendo implementadas através de incentivos do governo como reduções fiscais, subsídios e empréstimos preferenciais (ITARD *et al.*, 2008). Em consequência disso, o tema de reforma habitacional tornou-se objeto de estudo de vários pesquisadores, os quais buscam melhores práticas para desenvolver o processo de reforma (SUNIKKA, 2006; ITARD *et al.*, 2008), especialmente no Reino Unido (KEMMER; KOSKELA, 2012).

Ao contrário do cenário europeu, no Brasil o investimento no segmento de *retrofit* é bem menor (CROITOR, 2008). Segundo estudos da Fundação João Pinheiro (2014), baseados nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o déficit habitacional brasileiro era de 5,8 milhões de moradias em 2012. Este déficit é composto predominantemente por famílias de baixa renda, pois cerca de 73% dessas famílias recebem até três salários mínimos. Uma pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas indica que o governo está longe de liquidar o déficit habitacional atual, uma vez que a sua política habitacional não acompanha a demanda da sociedade brasileira (FGV, 2014). Esta política habitacional tem incentivado a construção de habitações novas ao invés de *retrofit* de edificações existentes e do aluguel social (FGV, 2014). No passado, houve incentivo ao *retrofit* de edificações existentes vazias nas áreas centrais das grandes cidades, através do Programa de Arrendamento Residencial (PAR). O baixo volume de obras associado ao alto custo de projeto e execução, além da complexidade deste tipo de empreendimento, o qual necessitava de uma maior capacidade de gestão, tornaram as obras inviáveis e, em consequência a isso, o programa foi descontinuado em 2008 (BIANCHINI, 2013). Entretanto, atualmente há um grande potencial para explorar a prática de *retrofit* no Brasil, pois há mais de 4 milhões de edificações existentes e vazias no país, e este volume tende a continuar aumentando (FGV, 2014).

---

<sup>2</sup> Organizações financiadas pelo governo, sem fins lucrativos, que fornecem moradias a preços acessíveis – fonte: BPIE - (<http://www.buildingsdata.eu/data-search/results> acessado em 14/08/2015)

Outro tema de grande relevância global é o uso de *Building Information Modeling* (BIM). Desde 2011, o governo inglês definiu que o uso de BIM passará a ser obrigatório a partir de 2016, em todos os empreendimentos financiados por departamentos do governo central e suas agências (HM GOVERNMENT, 2012). Isto tem incentivado uma grande parte da indústria da construção a desenvolver estratégias para o aprendizado e implementação de BIM, dado o aumento de sua importância nos últimos anos.

De acordo com Eastman *et al.* (2011), *Building Information Modeling* pode ser definido como “uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção”. Os mesmos autores sugerem que o BIM permite uma maior integração de projetos e de todos os processos envolvidos na construção, além de uma maior colaboração entre os envolvidos. Além disso, o uso de BIM traz maior qualidade para o edifício, com menor custo e menor tempo (EASTMAN *et al.*, 2011).

Diversas ferramentas BIM foram desenvolvidas para apoiar o processo de projeto e construção, possibilitando aos seus usuários gerenciar informações de projeto relativas às diversas etapas da construção através de um ambiente virtual (SHETH; PRICE; GLASS, 2010). Nas obras de *retrofit*, estas ferramentas poderiam ser utilizadas por projetistas e construtores para projetar, planejar e simular com alto nível de detalhe as questões ligadas à redução do consumo de energia e minimização dos impactos das obras nas construções, no meio ambiente e para os moradores (SHETH; PRICE; GLASS, 2010).

O presente trabalho faz parte de um projeto de pesquisa apoiado pelo governo do Reino Unido, denominado S-IMPLER (*Solid Wall Innovative Insulation and Monitoring Process using Lean Energy Efficient Retrofit*). O objetivo principal do projeto é alcançar uma redução de 60% nos custos de energia monitorados em habitações sociais do tipo *solid wall homes* (“habitações de parede sólida”). O percentual de *solid wall homes*, as quais são conhecidas como habitações construídas com paredes em concreto com ou sem agregados finos, é de 31% do parque habitacional no Reino Unido (DEFRA, 2008). Estas habitações, por fazerem parte do estoque habitacional antigo do Reino Unido, têm sofrido com suas características precárias de desempenho térmico (BRE, 1989; SOMMERVILLE *et al.*, 2011). Esse projeto tem duração prevista de três anos e busca demonstrar como o trabalho de *retrofit* pode ser realizado com menos perturbação para o usuário final e, também, pode ser concluído pelo menos 10% mais rápido do que comparado às soluções atuais, sem impacto na qualidade e segurança do empreendimento. Como resultado principal do projeto S-IMPLER, espera-se

construir uma solução integrada de *retrofit* com o apoio de BIM, relevante para 6,9 milhões de *solid wall homes*.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo alguns autores, os empreendimentos que passam por algum tipo de intervenção de reforma são considerados complexos por apresentarem um número muito grande de atividades, além de características, tais como a escala, o número de envolvidos e o grau de incerteza associado (BACCARINI, 1996; WILLIAMS, 1999; RODRIGUES; 2006). Gholami *et al.* (2013) destaca os desafios que o processo de *retrofit* abrange: a incerteza sobre a qualidade das medições de *retrofit*; a falta de abordagens para avaliar as possíveis opções e identificar a melhor solução entre elas, as questões financeiras e a incerteza na questão do período de retorno de investimento, os desafios técnicos, os níveis insuficientes de conhecimento dos usuários, e os problemas de comunicação com as empresas construtoras.

Embora o grau da intervenção seja variável de empreendimento para empreendimento, é necessária uma gestão apropriada para empreendimentos considerados complexos (EGBU, 1994; RODRIGUES, 2006; CROITOR; MELHADO, 2009). As incertezas refletem em problemas imprevistos que podem trazer consequências para o processo de *retrofit*, tais como o atraso da data de conclusão da obra e o aumento de custos, uma vez que podem existir dificuldades em determinar estas variáveis (CIRIA, 2004). Portanto, as obras de *retrofit* exigem uma melhor gestão da informação, a qual requer a mobilização e o controle do empreendimento em termos do custo, tempo, padrões de qualidade, entre outros (EGBU, 1997; EGBU, *et al.*, 1998; NAARANOJA; UDEN, 2007; SWAN; BROWN, 2013).

As obras de *retrofit* realizadas em edificações ocupadas pelos usuários, sejam estes usuários permanentes (ocupantes residentes) ou usuários temporários (ocupantes frequentadores) tendem a ser mais difíceis de gerenciar do que em edificações não-ocupadas (EGBU, 1994). Segundo CIRIA (2004) e Kemmer e Koskela (2014), é necessário um alto nível de coordenação e comunicação entre as partes envolvidas, para gerenciar as possíveis interrupções das atividades e instalações do edifício a ser reformado, além das perturbações que a execução das obras pode causar aos usuários desta edificação. Existe também a necessidade de garantir a continuidade da obra e evitar a redução da produtividade (KEMMER; KOSKELA, 2014).

A busca por métodos que facilitem a gestão de obras de *retrofit* tem se tornado cada vez mais importante, considerando a busca pelo desenvolvimento sustentável, o constante desenvolvimento tecnológico, somado às necessidades das edificações existentes (CAIXETA, 2011). Novikova *et al.* (2011) afirma em seu estudo que, os proprietários de edificações percebem um aumento da complexidade na decisão de realizar o processo de *retrofit*. Decidir sobre a opção mais adequada para uma determinada solução, em meio a tantas opções disponíveis, exige muito tempo e esforço para identificar e avaliar tais opções (PAPAMICHAEL, 1999; NOVIKOVA *et al.*, 2011). Uma boa decisão depende da qualidade e quantidade das informações, pois, muitas vezes, as decisões são tomadas sem informações suficientes, gerando recursos e tempo desperdiçados, além de efeitos indesejáveis (PAPAMICHAEL, 1999; NAARANOJA; UDEN, 2007; ALI *et al.*, 2008).

Sunikka-Blank *et al.* (2012), Arge (2005) e Jones (2013) apontam que uma das principais barreiras no processo de execução do *retrofit* são as perturbações causadas aos moradores de unidades habitacionais. Segundo Caixeta (2011), a gestão do acompanhamento de obras de *retrofit* deve ser efetiva quando a edificação permanecer ocupada, ou mesmo funcionando durante a execução das intervenções. O planejamento adequado ajuda a diminuir a interferência da obra nas atividades cotidianas da edificação (CAIXETA, 2011). É importante que as informações fornecidas pelos usuários sejam consideradas na determinação da estratégia de *retrofit* da edificação para que, assim, a rotina dos usuários seja minimamente afetada (CAIXETA, 2011).

Muitos estudos relacionados ao tema de *retrofit* abordam a análise dos edifícios, as políticas do governo para o *retrofit* sustentável, o uso da tecnologia da informação, o engajamento dos usuários, entre outros (ITARD *et al.*, 2008; MANSFIELD, 2009; MILLER; BUYS, 2011). Aqueles que exploram o uso da tecnologia da informação no processo de *retrofit* focam nas ferramentas paramétricas para visualização, coordenação e simulação de energia, não havendo estudos nos quais tais ferramentas foram utilizadas com base na geração de cenários para minimização das perturbações causadas aos ocupantes (ARAYICI, 2008; SHETH; PRICE; GLASS, 2010; SHETH, 2011; MOAKHER; PIMPLIKAR, 2012; GHOLAMI *et al.*, 2013; KIM; PARK, 2013; ALSAADI, 2014; GUIMARÃES, 2014; HAMMOND *et al.*, 2014; VOLK *et al.*, 2014).

Segundo Gholami *et al.* (2013), o uso de BIM nos estágios iniciais do processo de projeto de *retrofit*, somado à consideração dos fatores que influenciam a tomada de decisão, pode ser

mais eficaz, proporcionando um grande benefício para empreendimentos de *retrofit*, uma vez que a tomada de decisão na fase inicial de projeto é muito importante. A decisão correta é menos suscetível ao erro se for realizada com o suporte de visualização e comparação entre diferentes alternativas de solução de projeto (GHOLAMI *et al.*, 2013).

Assim, a tecnologia da informação como o BIM torna-se necessária para o planejamento e controle de obras de *retrofit* (EGBU, 1997; PAPAMICHAEL, 1999; SHETH *et al.*, 2010). Por exemplo, o uso de realidade virtual pode permitir que projetistas e construtores investiguem de maneira colaborativa várias alternativas para projeto, sequência de construção e organização do canteiro, para melhorar a compreensão do projeto e construção, consequentemente, o processo de tomada de decisão (EGBU, 1997; PAPAMICHAEL, 1999; SHETH *et al.*, 2010).

Uma das ferramentas paramétricas do BIM é a modelagem e simulação 4D. De acordo com o guia do GSA (2009), uma modelagem 4D é concebida a partir da combinação de um modelo paramétrico 3D com o cronograma de uma construção (elementos do modelo 3D são conectados às atividades do cronograma). Os modelos 4D permitem que as equipes de projeto e produção visualizem e simulem todas as fases do processo de construção, antes da edificação ser construída de fato (HARTMANN *et al.*, 2009). Eastman *et al.* (2011) afirmam que, baseado em exemplos práticos, o uso de ferramentas BIM 4D e a exploração de alternativas de construção tornam o processo muito mais transparente e viável economicamente. A tecnologia 4D permite simular diferentes cenários, auxiliando na visualização, análise e comunicação de problemas sequenciais, espaciais e temporais do plano de execução das atividades, que ajudam a reduzir o retrabalho e aumentar a produtividade (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004; DAWOOD; SIKKA, 2006). É relevante destacar que a maioria dos estudos que discutem a utilização de BIM 4D tem focado no processo de construção de obras novas. Entretanto, não foi identificado nenhum estudo que tenha explorado o uso de simulações 4D para gerar opções de cenários em empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Alguns estudos empíricos em construções novas indicam que a abordagem de BIM tem contribuído para a gestão de empreendimentos complexos.

Diante desta situação, observa-se a necessidade de buscar métodos que auxiliem no processo de gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Neste sentido, a criação de cenários com a utilização de BIM 4D é importante no contexto de *retrofit*. Tal importância deve-se à necessidade de apoio ao processo de tomada de decisão em empreendimentos deste tipo, dado

que os mesmos possuem características específicas. Como exemplos, os empreendimentos de *retrofit* apresentam muitas incertezas, são produzidos em pequenos lotes, dispõem de curto prazo para execução, além de contarem com interferências dos usuários finais, os quais, em muitos casos, permanecem dentro das edificações durante a execução das obras. Desse modo, os cenários são desenvolvidos com o uso de simulação BIM 4D para a identificação de perturbações para o usuário final, além de considerar as variáveis: custo, tempo e qualidade. Os cenários são do tipo *what-if* e fazem parte de um conjunto de recomendações para auxiliar a gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*, possibilitando melhores definições das soluções de projeto e produção.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Diante do problema de pesquisa apresentado acima, foi formulada a seguinte questão de pesquisa: **Como auxiliar o processo de gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit* usando BIM 4D?**

A partir da questão de pesquisa principal, foram propostas as seguintes questões secundárias:

- a) Como caracterizar o nível de perturbações que afetam os usuários durante a execução das obras de *retrofit*?
- b) Como o uso de simulação BIM 4D pode contribuir para a identificação e redução de perturbações que afetam os usuários durante a execução das obras de *retrofit*?

### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

A partir do contexto e do problema de pesquisa apresentados, foram estabelecidos o objetivo principal e os objetivos específicos deste trabalho. O objetivo principal consiste em **propor um conjunto de recomendações para a utilização de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*.**

Este objetivo principal foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- a) Definir categorias para as perturbações que afetam o usuário final durante a execução das obras de *retrofit* em empreendimentos habitacionais;



- b) Propor recomendações referentes à utilização de modelos BIM 4D durante a execução de obras de *retrofit* em empreendimentos habitacionais;
- c) Propor o uso de cenários do tipo *what-if* a partir de modelos BIM 4D, identificando níveis de perturbações para o usuário final no contexto de *retrofit* em empreendimentos habitacionais.

## 1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido faz parte de um projeto maior já mencionado neste capítulo, que possui como unidade de análise habitações de interesse social inglesas construídas nos anos 60. Desta forma, não é possível generalizar os resultados para outros tipos de empreendimentos fora do contexto apresentado. Além disso, apesar do projeto S-IMPLER abordar a eficiência energética e conforto térmico das referidas edificações, este tema não faz parte do escopo desta dissertação. Por último, esta pesquisa apresentou algumas limitações, as quais são apresentadas no capítulo de método.

## 1.6 ESTRUTURA

O trabalho está estruturado, além do presente capítulo que corresponde à introdução, em mais 5 capítulos. Neste foram apresentados o contexto e a justificativa, o problema de pesquisa, as questões de pesquisa, os objetivos do trabalho, bem como, as delimitações do estudo.

Os capítulos 2 e 3 são referentes à revisão de literatura. No capítulo 2 aborda-se o tema de *retrofit* a partir do seu conceito, seguido pela problemática e por suas características. Destaca-se ainda a aplicação de *retrofit* no âmbito habitacional e a compreensão sobre perturbações para o usuário final em obras de *retrofit*.

No capítulo 3, são discutidos os principais conceitos sobre *Building Information Modeling* (BIM), seus principais desafios e benefícios, a utilização de BIM no processo de tomada de decisão, bem como o desenvolvimento da modelagem e simulação 4D.

O capítulo 4 descreve a metodologia de pesquisa adotada no trabalho. Ele inicia com a descrição da estratégia de pesquisa escolhida, a qual auxiliará a alcançar os objetivos

propostos e, em seguida, apresenta-se o delineamento do processo de pesquisa, como também o detalhamento das etapas realizadas com base em *Desing Science Research*.

No capítulo 5, são apresentados e discutidos os resultados alcançados na pesquisa com a referida metodologia, a partir de estudos empíricos realizados no Reino Unido.

Por fim, no capítulo 6 são realizadas as conclusões sobre o tema abordado no trabalho, objetivando permitir uma reflexão sobre alguns aspectos identificados durante o processo de desenvolvimento, além de sintetizar as principais contribuições desta pesquisa. Nesse capítulo também são apontadas as recomendações para futuras pesquisas.

## 2 **RETROFIT**

Este capítulo está dividido em duas seções principais. A primeira apresenta o conceito de *retrofit*, a prática, as características e os desafios na gestão do processo de *retrofit*, bem como o desenvolvimento de *retrofit* em empreendimentos habitacionais. Na última seção são discutidos resultados de estudos anteriores sobre as perturbações que podem ser causadas ao usuário final durante as obras de *retrofit*.

### 2.1 CONCEITO DE *RETROFIT*

*Retrofit* é uma palavra inglesa definida pelo dicionário Oxford como “o ato de adicionar ou modificar um produto ou estrutura, incorporando a este as mudanças e evoluções introduzidas desde sua fabricação/construção”. Esta palavra é formada a partir das palavras inglesas *retroactive*, que significa retroativo, e *refit*, que significa readaptar (OXFORD, 2010). Considerando a abrangência e alinhamento ao tema proposto, conforme exemplificado no capítulo de introdução, o termo *retrofit* é adotado nesta dissertação de acordo com a definição dada pela ABNT NBR 15.575 (2013): “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética”.

A literatura sobre a abrangência e o significado do termo *retrofit* é limitada, porém esta palavra tem sido bastante usada por profissionais de engenharia e arquitetura. De fato, há diversas definições para este termo, uma vez que não há consenso entre os autores (MARQUES DE JESUS, 2008). Sanvido e Riggs (1991, p. 5) definem a prática de *retrofit* como “uma modificação ou conversão (não uma completa substituição) de uma edificação ou estrutura. Tais modificações podem envolver adições, eliminações, rearranjos ou substituição de uma ou mais partes de uma edificação/estrutura”. Marques de Jesus (2008, p.16) utiliza o termo *retrofit* como sendo “a troca ou substituição de componentes ou subsistemas específicos de um edifício que se tornaram inadequados ou obsoletos, seja pelo passar do tempo, ou em função da evolução tecnológica ou de novas necessidades dos usuários”. Douglas (2006) afirma que *retrofit* é um tipo de adaptação, pois inclui trabalhos capazes de

modificar a capacidade, função e desempenho de uma edificação para se adequarem às novas condições.

Para Mansfield (2002), as ações de manutenção, reparo, substituição, renovação e remodelação são distintas, e todas estas ações podem fazer parte do ciclo de vida de um edifício. Marques de Jesus (2008) traduz o termo inglês *refurbishment* como reabilitação e o considera como uma ação que visa atribuir ao edifício características econômicas ou funcionais, as quais são equivalentes às exigidas a um edifício novo para o mesmo fim. Sendo assim, complementa que, a reabilitação é uma ação que pode envolver diversas atividades: restauro, manutenção, alteração, *retrofit*, reparo ou reforma (MARQUES DE JESUS, 2008). Para Vainio (2011) o conceito do termo inglês *renovation* abrange outros vários termos e os divide em cinco grupos. Em um dos grupos está o termo *retrofit* tendo equivalência aos termos modernização, readaptação, atualização e reabilitação. Estes termos são utilizados para quando um objeto é consideravelmente melhorado, como o aumento de eficiência energética de um edifício (VAINIO, 2011). Judson e Maller (2014) adotam uma definição ampla para renovação, a qual envolve modificar uma habitação a fim de melhorar a eficiência energética ou reduzir CO<sub>2</sub> e que pode incorporar a atualização, reconfiguração interna ou extensão, e *retrofit*.

Observando os diversos termos que os autores utilizam para limitar e determinar a ação de uma intervenção à edificação, o presente trabalho adota o termo *retrofit* sendo este compreendido pelo termo reforma. A palavra reforma possui o significado de melhorar e dar uma nova forma a algo (MICHAELLIS, 2015). Entretanto, esta palavra possui diversos sinônimos: restauração, reparo e conserto. Sendo assim, considera-se neste trabalho que o termo *retrofit* é equivalente aos termos renovação, remodelação, atualização, readaptação e reabilitação, quando os mesmos estabelecerem que tal intervenção atende simultaneamente a dois objetivos: melhorar o desempenho e aumentar a vida útil da edificação. Portanto, o termo *retrofit* não possui equivalência com os termos reparo, manutenção, conservação, conserto e restauração.

Há algumas divergências quanto à origem do termo *retrofit*, sendo que parece ter surgido como uma interpretação ao ato de intervir nas edificações, em alguns países da Europa e também os Estados Unidos, onde a legislação era contra a substituição do acervo arquitetônico (EGBU, 1994; MORAES; QUELHAS, 2012). Moraes e Quelhas (2012) complementam que estas edificações eram valorizadas através do *retrofit*, aumentando a vida

útil através da incorporação de materiais e processos de última tecnologia. Além disso, o *retrofit* era uma prática mais econômica e eficaz do que a demolição (DOUGLAS, 2006; ITARD *et al.*, 2008; WATSON, 2009; MORAES; QUELHAS, 2012). Douglas (2006) afirma que os projetos de *retrofit* são mais econômicos quando comparados à demolição e construção de uma nova edificação. Isso acontece devido ao tempo de duração do contrato dos trabalhos, pois o *retrofit* requer um contrato de menor duração, sendo mais vantajoso economicamente. E quanto à eficiência, obras de *retrofit* demandam uma gestão de resíduos de construção civil reduzida em comparação com o resultado em obras de demolição. Atualmente, o crescimento das reformas em edificações, destacando os países europeus e norte-americanos, tem sido estimulado pela necessidade de desenvolvimento sustentável e de melhoria de desempenho das edificações existentes (DOUGLAS, 2006).

São poucas as referências bibliográficas brasileiras com relação ao *retrofit* ou reforma no contexto brasileiro. Os trabalhos encontrados são da primeira década dos anos 2000, quando havia programas habitacionais brasileiros de renovação de edificações existentes.

### 2.1.1 A Prática de *Retrofit*

A prática de *retrofit* pode ser aplicada a diversos tipos de edificações. Segundo Croitor e Melhado (2009), estas edificações podem apresentar diferentes características: antigas e degradadas pelo uso, inacabadas e abandonadas, presença de sistemas prediais ineficientes, e necessidade de modificação do uso. Segundo Itard *et al.* (2008), o período em que a edificação foi construída revela as características técnicas relacionadas ao tipo de tecnologia utilizada. Tais características, quando conhecidas e mapeadas, auxiliam na etapa do projeto, quando da escolha da solução técnica a ser utilizada no processo de *retrofit*.

Segundo Egbu (1994), dentre os fatores que influenciam no crescimento do segmento de reforma estão o grande estoque de edifícios existentes, o envelhecimento deste estoque, além de controles de saúde e segurança. Sanvido e Riggs (1991) afirmam que há muitas justificativas para a prática de *retrofit*, tais como o aumento do empreendimento, incorporação de uma nova tecnologia, redução de custo, aumento da qualidade do edifício e cumprimento de exigências ambientais.

Madeira (2009) afirma que, na maioria dos países europeus, o setor de *retrofit* é bastante expressivo, pois representa cerca de 40% das atividades da indústria da construção civil. Esta estatística está distante da realidade brasileira. Mesmo apresentando um alto déficit

habitacional, o Brasil desenvolveu de forma limitada os programas de *retrofit*. Este fato contrasta com o elevado estoque de edifícios em estado de abandono, os quais de forma geral estão localizados em zonas urbanas centrais (YOLLE NETO, 2006; CROITOR, 2008; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2014).

Judson e Maller (2014) destacam as seguintes iniciativas internacionais: *The Green Deal* no Reino Unido, *CO2-Building Rehabilitation Programme*, na Alemanha e o *Clean Energy Future Plan*, na Austrália, demonstrando o crescente interesse político em *retrofit* das habitações para alcançar os objetivos ambientais. Itard *et al.* (2008) também afirma que os países europeus - Alemanha, Áustria, Finlândia, França, Holanda, Suécia, Suíça e Reino Unido - possuem políticas e incentivos em busca do desenvolvimento sustentável. Tais políticas e incentivos são classificados quanto aos instrumentos regulatórios (códigos de construção, padrões de construção, etc.), instrumentos econômicos (subsídios, taxas, etc.) e instrumentos comunicativos (educação, informação, organização, etc.) (ITARD *et al.*, 2008).

De forma geral, os principais envolvidos no processo de *retrofit* são: o cliente, que é o principal tomador da decisão e responsável por iniciar e direcionar o projeto; a equipe de projeto; a equipe de execução, que é composta pelo empreiteiro geral, gerente de obra, subempreiteiros e fornecedores; e os usuários/ocupantes, que são as pessoas que usam a edificação (CIRIA, 2004).

De acordo com o guia do CIRIA (1994), há aspectos envolvidos na gestão de reformas, os quais foram classificados em tipos de reforma e principais tópicos de discussão:

Os tipos envolvidos estão divididos em:

- a) Tipo de intervenção: reconstrução, renovação, atualização, restauração, conservação, readaptação, alteração, conversão e expansão.
- b) Tipo de financiamento: empréstimo, doação ou concessão do governo e receita anual.
- c) Tipo de edificação (no setor público ou privado): comercial (escritórios, lojas de varejo e armazéns), lazer (hotéis e teatros), educação (escolas e universidades), saúde (hospitais e centros de saúde), industrial (fábricas, instalações e depósitos), edifícios governamentais (propriedades do governo), patrimônio histórico (monumentos antigos e palácios) e religioso (igrejas e templos).

Já os principais tópicos de discussão envolvidos estão divididos em:

- a) Objetivos do cliente: tempo, custo, desempenho, qualidade, segurança e ambiental.
- b) Restrições de execução: ocupação, vizinhança e público (acesso, barulho, poeira, segurança), serviços públicos e regulamentações.
- c) Distribuição de risco: financiadores, cliente (proprietário, usuário, inquilino), empreiteiros e consultores (arquitetos, engenheiros e técnicos).
- d) Questões técnicas: estrutura e serviços (questões relacionadas às incertezas e integridades destes aspectos), corrosão, apodrecimento, suportes temporários (inclusive escoramentos) e alterações ambientais.

Watson (2009) destaca algumas particularidades que devem ser consideradas e avaliadas no *retrofit* de um edifício: aparência do edifício, estrutura do edifício, condições do edifício, estética, plano do projeto para checar requisitos dos clientes, tempo, custo, sustentabilidade, questões legais e alteração de uso. Segundo Sayegh (2008), as estratégias para executar *retrofit* em uma edificação devem abranger os requisitos dos usuários, as demandas e conflitos possíveis de ocorrerem neste processo, além das condições atuais, que podem ser diagnosticadas através de visitas ao edifício a ser reformado, medições e simulações. Estas ações são importantes para contribuir na análise de alternativas e escolha da melhor solução (SAYEGH, 2008).

O relatório do CIRIA (2004) destaca os principais passos a serem considerados em um processo de reforma para evitar possíveis implicações. Muitos destes passos não são exclusivos de obras de reforma, porém devem ser observados:

- a) Planejamento – um planejamento de reforma realizado de forma antecipada pode minimizar as perturbações para os ocupantes e visitantes durante os trabalhos de execução, dado que ainda existem fatores não controlados (incerteza).
- b) Tempo e Programação - gerenciar o tempo pode reduzir conflitos entre ocupantes e empreiteiros. Além disso, a programação para reformar deve ser coordenada considerando as atividades dos ocupantes.

- c) Equipe – engajamento de todos os envolvidos no processo: cliente, projetistas e empreiteiros. Todos devem colaborar e compreender os papéis e as responsabilidades um dos outros, enquanto o cliente deve contratar uma equipe adequada.
- d) Comunicação - a comunicação deve ser bastante intensa entre todos os envolvidos no projeto e na execução das obras, já que esta é um requisito de complexidade.
- e) Saúde e Segurança – o gerenciamento de saúde e segurança deve ser integrado com todos os aspectos do projeto. Isto é essencial para identificar riscos, eliminá-los se possível, e proteger as pessoas.
- f) Circulação e Limite do terreno – os trabalhos de construção devem ser separados das atividades dos ocupantes. Quando há a necessidade de os ocupantes e os empreiteiros acessarem o mesmo espaço ao mesmo tempo, há também grande potencial de conflito entre eles, além de problemas de segurança física e contra o patrimônio.
- g) Proteção do Patrimônio – introduzir medidas adequadas para prevenir violação do patrimônio, uma vez que a presença de diversos empreiteiros nos edifícios ocupados pode gerar questões de segurança contra o patrimônio.
- h) Barulho, Poeira e Outras Poluições – os empreiteiros devem controlar ao máximo o barulho, poeira e poluição durante as obras, pois estas são as principais causas de irritação dos ocupantes.

### 2.1.2 Características e Desafios do *Retrofit*

Empreendimentos de *retrofit* podem ser considerados complexos, pois segundo Baccarini (1996) e Williams (1999), estes empreendimentos apresentam um grande número de partes inter-relacionadas, além de incertezas nos métodos (tecnologias, sequências, organizações estruturais) e nos objetivos (relacionada às necessidades dos clientes). Williams (1999) divide as incertezas em duas dimensões, as quais estão classificadas em duas subdivisões cada uma. A dimensão denominada apenas incerteza pode ser classificada como incerteza nos métodos, ou seja, incertezas nos objetivos; já a dimensão denominada complexidade estrutural está relacionada ao número dos elementos e à quantidade de interdependência entre estes (WILLIAMS, 1999). A complexidade do processo de *retrofit*, dado o número de soluções técnicas e sequências de produção possíveis, influencia na possibilidade de padronização dos serviços (HOLM, 2000).



Alguns autores afirmam que o *retrofit* apresenta um dos processos mais complexos, arriscados e difíceis de gerenciar dentro da indústria da construção (EGBU, 1994; EGBU *et al.*, 1996; ALI *et al.*, 2008). As obras de *retrofit* são mais difíceis de gerenciar, pois apresentam características específicas, tais como o fator de incerteza, uma maior variabilidade e um grande número de participantes envolvidos (EGBU, 1995; DAOUD, 1997 e QUAH, 1992 *apud* HOLM, 2000). Sendo assim, no planejamento de um projeto de *retrofit*, a relação entre as atividades planejadas e as áreas que devem permanecer em funcionamento é muito importante (KELSEY, 2003; DAOUD, 1997 *apud* LEE, 2012). Além disso, o processo de *retrofit* requer uma análise de custos mais profunda para não negligenciar certos valores, como os mensuráveis (valorização do imóvel e melhoria da eficiência energética, por exemplo) e os intangíveis (preservação da memória, quando a edificação possui valor histórico, ou ainda, melhorias nos padrões de conforto e segurança, por exemplo) (SAYEGH, 2008). Consequentemente, o planejamento de *retrofit* de edificações ocupadas requer um volume maior de recursos por parte dos contratantes, em comparação ao que é exigido no planejamento de um empreendimento novo (KELSEY, 2003).

Alguns autores têm discutido a importância de se ter um profundo conhecimento do edifício antes da intervenção, a fim de antecipar as potenciais dificuldades de implementar e adequar as ferramentas de planejamento e gestão ao contexto, visando reduzir riscos (CIRIA, 2004; CROITOR, 2008; MARQUES DE JESUS; BARROS, 2011; VOLK *et al.*, 2014). CIRIA (2004) alega que o profundo conhecimento do edifício existente leva a identificar possíveis materiais tóxicos e perigosos, os quais podem comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores e usuários. Croitor (2008) sugere a necessidade de uma investigação precisa da edificação existente, sob o ponto de vista de impacto ambiental, importância do imóvel e estado de conservação. Para Volk *et al.* (2014), a redução dos riscos está diretamente ligada à documentação disponível do edifício existente. Segundo Croitor e Melhado (2009), as variáveis envolvidas em empreendimentos de *retrofit* não são muito conhecidas e investigadas, não havendo, desta forma, o domínio da padronização dos procedimentos e técnicas executivas que reduzem os riscos. Ou seja, a padronização e o detalhamento dos processos em empreendimentos complexos, como os de *retrofit*, é diferente dos empreendimentos novos, uma vez que possui um perfil diverso de riscos associados. Segundo Holm (2000), a padronização dos serviços prestados torna-se mais difícil devido a singularidade e incerteza do processo. Desta forma, não se pode definir padrões rígidos com muita antecedência.

Segundo Jones (2013), as barreiras para o processo de *retrofit* podem ser classificadas como financeiras, físicas (incluindo operações) e ambientais. Cada empreendimento de *retrofit* é único e pode apresentar preocupações e restrições específicas (JONES, 2013). Itard *et al.* (2008) identificam como as principais barreiras, a falta de conhecimento, a relação entre custos e lucros, produtos inadequados e falta de experiência e melhores práticas. A atividade de planejamento e controle deve enfatizar a importância de compreender, além das características da edificação a ser reformada, as montagens específicas no local e o contexto do seu entorno (UENO, 2010; BACKER; SMITH; SWAN, 2013). Por isso, a documentação técnica e os levantamentos da edificação, bem como do seu entorno relacionado, são essenciais para a caracterização adequada da construção existente, a qual orientará o desenvolvimento dos trabalhos (SANVIDO; RIGGS, 1991; CROITOR; MELHADO, 2009).

Whiteman e Irwig (1986) destacam três limitações na gestão de empreendimentos de *retrofit*: (a) limitações de coordenação (preocupação com ações e atividades que envolvem tanto a construção, quanto ocupantes/usuários do edifício), (b) limitações físicas (possíveis restrições de espaço no site para instalação de equipamentos, movimentação e armazenamento de materiais), e (c) limitações por perturbações causadas aos usuários da edificação. Sanvido e Riggs (1991) acrescentam três possíveis limitações à lista anterior: (a) limitação de informação (dados existentes são limitados quanto ao escopo do projeto e desenhos *as built*<sup>3</sup> desatualizados, por exemplo), (b) limitação de tempo (pressão por prazos mais curtos), e (c) limitação do ambiente (extremas temperaturas, contato com materiais perigosos e tóxicos, barulho, vibração, entre outros).

Egbu (1994) identificou 33 aspectos relacionados ao grau de dificuldade encontrado na gestão do processo de *retrofit*. Tais aspectos foram levantados de acordo com o ponto de vista de gestores deste tipo de empreendimento. O autor destaca que os aspectos mais difíceis no gerenciamento de projetos de *retrofit* são: controle de custos, controle de poeira, influência dos inquilinos sobre o andamento regular das obras, preço das obras e pedidos de alteração no escopo dos trabalhos. Ainda, o autor destaca como os aspectos mais fáceis de gerenciar: lidar com o absentismo do empregado, os controles obrigatórios por lei para a gestão da construção e o fornecimento de desenhos do projeto.

---

<sup>3</sup> *As built* – expressão inglesa que significa “conforme construído”. Um projeto é considerado *as built* quando o mesmo é elaborado ao final da fase de execução, possuindo características físicas da edificação construída, com todas as alterações ocorridas durante a obra.

Vainio (2011) aponta que o desafio da comunicação entre os profissionais e o cliente-usuário é ainda maior em empreendimentos de *retrofit*. Considerando que o usuário final permanece dentro da edificação durante os trabalhos de *retrofit*, este deve ser constantemente atualizado sobre todas as informações decorrentes da execução dos trabalhos. Arge (2005), Sunikka-Blank *et al.* (2012) e Jones (2013), concluem que os moradores acham o processo de *retrofit* difícil e perturbador, principalmente quando a intervenção é de longa duração. Desta forma, os mesmos autores ressaltam a importância de desenvolver o processo de *retrofit* em períodos menores, causando o mínimo possível de perturbações aos moradores (ARGE, 2005; SUNIKKA-BLANK *et al.*, 2012; Jones, 2013).

Marques de Jesus e Barros (2011) destacam os seguintes fatores para a dificuldade de realizar empreendimentos de *retrofit* no Brasil: o desconhecimento técnico sobre as características específicas das obras, a inexistência de métodos para diagnósticos das condições físicas do edifício existente, a inadequação das tecnologias tradicionais à condição da reforma, a dificuldade de atendimento à legislação vigente e a ausência de indicadores que permitam estimar seus custos com precisão. Indicadores para mensurar outras variáveis também são importantes. Assim, apesar de existirem diversas razões para que o mercado de renovação de edifícios no Brasil seja ainda maior, alguns aspectos precisam ser melhor equacionados, principalmente no que diz respeito à interface entre a elaboração dos projetos e à execução das obras, visando melhorar o processo de renovação de edifícios (CROITOR, 2008).

### 2.1.3 *Retrofit* em Empreendimentos Habitacionais

O *retrofit* tem sido identificado como um mercado emergente nos países europeus em empreendimentos habitacionais, para o qual existem poucas barreiras, tais como a falta de capital (financiamento) e de conhecimento especializado, ao contrário de outros tipos de obras de caráter privado (CHAHAL; SWAN; BROW, 2012). Além disso, o *retrofit* em empreendimentos habitacionais tem sido visto como uma oportunidade para o mercado amadurecer em termos das soluções técnicas e interação com os proprietários/usuários (CHAHAL; SWAN; BROW, 2012). Tal oportunidade se dá na coleta e utilização de informações dos usuários com o objetivo de melhorar o projeto, planejamento e execução de obras de *retrofit*. No caso de obras de *retrofit* em empreendimentos habitacionais, as informações coletadas dos moradores podem ser utilizadas de forma ampla como instrumento de desenvolvimento urbano. Tal caso se dá na reabilitação de áreas degradadas, dentre outras.

Grande parte das habitações na Europa foi construída na época do pós-guerra, para suprir a demanda de falta de moradia, uma vez que muitos edifícios foram total ou parcialmente destruídos (MADEIRA, 2009). Segundo o relatório do BRE (1991), nesta época a mão-de-obra qualificada era bastante escassa, bem como os materiais de construção, resultando na construção de habitações com materiais não-tradicionais e para um ciclo de vida curto, cerca de 20 anos. Porém elas estão de pé até hoje e o seu desempenho mantém-se inadequado (BRE, 1991). Segundo Itard *et al.* (2008), a prática de *retrofit* é necessária em cerca de um terço das habitações sociais inglesas, pois as mesmas não cumprem com os requisitos mínimos de conforto e eficiência energética.

Diversos países europeus apresentam a mesma razão do Reino Unido para renovar seu estoque habitacional existente: melhorar o desempenho de energia e solucionar problemas de conforto térmico, além da necessidade de substituir componentes de construção no final de sua vida útil. Já na Finlândia, a razão se dá para controlar problemas de mofo e umidade. Nos Países Baixos e Suécia a razão principal é a modernização social (ITARD *et al.*, 2008).

Madeira (2009) salienta que não existe uma solução única e exemplar de *retrofit* em empreendimentos habitacionais, uma vez que cada país possui realidades econômica e financeira diferenciadas. Holm (2000) complementa que cada país possui a sua política social e de habitação e, desta forma, os requisitos e características para o *retrofit* em empreendimentos habitacionais são diferentes de país para país. Assim, cada país deve encontrar a solução mais apropriada para a sua realidade e que atenda às suas características (MADEIRA, 2009). Nos países de extensa dimensão territorial, como o Brasil, podem ser encontradas diferentes características econômicas, culturais, financeiras e climáticas, as quais podem levar à adoção de tipos distintos de solução de *retrofit*.

Marques de Jesus e Barros (2011) afirmam que o processo de *retrofit* em empreendimentos habitacionais no Brasil é considerado necessário e irreversível. Contudo, este segmento desenvolve-se de forma lenta, tanto no setor social quanto privado (MARQUES DE JESUS; BARROS, 2011). O programa voltado para a demanda habitacional mais relevante no Brasil em termos de *retrofit* foi o PAR (Programa de Arrendamento Habitacional). Este programa buscava prover habitação para famílias com renda mensal entre 3 e 6 salários mínimos (LEITE, 2005). O PAR-*Retrofit* tinha por finalidade a reabilitação de edifícios obsoletos, os quais não atendiam requisitos mínimos de moradia, e que estavam localizados, na sua maioria, em áreas centrais de grandes cidades (YOLLE NETO, 2006). Houve uma prospecção

de 7.500 unidades aproximadamente, porém apenas 1.500 foram concluídas durante a vigência do programa (CAIXA, 2011 *apud* MARQUES DE JESUS; BARROS, 2011).

## 2.2 PERTURBAÇÕES DOS USUÁRIOS FINAIS DURANTE A EXECUÇÃO DE OBRAS DE *RETROFIT*

Primeiramente, cabe destacar que em alguns tipos de empreendimentos de *retrofit*, como os habitacionais, podem contar com dois clientes-chave: o cliente-proprietário e o cliente-usuário, que normalmente são distintos em empreendimentos de outro contexto. A decisão de iniciar uma obra de *retrofit* é tomada pelo cliente-proprietário, porém é o cliente-usuário a pessoa diretamente beneficiada e, ao mesmo tempo, mais suscetível à perturbação proveniente da execução dos trabalhos de *retrofit*. As possíveis perturbações causadas ao cliente-usuário durante as obras de *retrofit* são um dos principais desafios apontados pelos autores investigados neste trabalho.

Egbu (1994) afirma que a execução de trabalhos de *retrofit* em edifícios ocupados é mais difícil de gerenciar do que trabalhos realizados em edifícios desocupados. Segundo Ho (2009), os empreendimentos de *retrofit* em edificações ocupadas tendem a custar mais e a ter atrasos no plano de execução das atividades. Além disso, o mesmo autor destaca que o *retrofit* de edifícios ocupados gera um desafio de gestão, enquanto os ocupantes e equipes de trabalho precisam dividir os mesmos espaços no edifício. Tal desafio está em identificar as interações dos ocupantes, exigindo uma integração de informações espacial, organizacional e temporal, para compreender onde, quando e como os ocupantes utilizam os espaços da edificação, durante a execução do *retrofit* (HO, 2009). Kelsey (2003) acredita que a perturbação para o ocupante precisa ser tratada como uma variável adicional às variáveis tradicionais, de forma a apoiar a avaliação comparativa de objetivos estratégicos em empreendimentos de *retrofit*.

Vainio (2011) sugere que as perturbações e inconveniências, causadas por alguns serviços, são toleradas desde que sejam previamente informadas aos ocupantes. Os avisos prévios podem deixar os clientes-usuários menos insatisfeitos, valorizando o trabalho da empresa construtora contratada (VAINIO, 2011). Wallace (1986) aponta como um fator essencial em um *retrofit* bem-sucedido, a boa relação entre os ocupantes e a equipe de execução. O desenvolvimento do plano de transição, o delineamento do plano de execução das atividades, a comunicação e os custos para cada solução técnica, devem ser informados de forma clara,

para que os ocupantes percebam de forma explícita os reais benefícios do *retrofit*, e, assim, possam analisar se o resultado final vale ou não a pena (WALLACE, 1986; MILLER; BUYS, 2011; SUNNIKA-BLANK *et al.*, 2012). As soluções técnicas necessárias no processo de *retrofit* devem considerar a aceitabilidade e interação do usuário (LOVEDAY *et al.*, 2011).

Alguns autores destacam a existência de perturbações causadas aos ocupantes em diversos tipos de empreendimentos de *retrofit*. O guia do CIRIA (2004) apresenta diversas perturbações causadas aos ocupantes das edificações durante a execução das obras de *retrofit*, as quais necessitam ser gerenciadas. Tais perturbações são causadas por: aumento do risco à saúde e segurança, restrição do acesso à edificação e possíveis rotas alternativas, redução de instalações (incluindo estacionamento externo), saída dos ocupantes da edificação (mudança para outro local), interrupção temporária de serviços (eletricidade, luz, aquecimento, etc.), barulho, vibração, poeira e odores, presença de empreiteiros e ocupantes no mesmo espaço, potencial redução de segurança (contra o patrimônio), e impacto visual causado pela execução dos trabalhos à edificação, interna e externamente (CIRIA, 2004).

Whiteman e Irwig (1988) destacam como perturbações graves aos ocupantes de prédios comerciais, industriais e institucionais a interrupção do fornecimento de serviços (eletricidade, gás, água, esgoto, etc.) e das operações cotidianas do edifício. Além disso, quando o empreendimento exige trabalho de demolição para a preparação da execução de *retrofit*, outras perturbações podem ser causadas como o excesso de poeira e detritos, e aumento do nível de ruído (WHITEMAN; IRWIG, 1986). Por último, os autores ressaltam as perturbações relacionadas a restrições de acesso ao site e fluxo de pessoas e materiais, além de maiores restrições de horários para executar os trabalhos de *retrofit* (WHITEMAN; IRWIG, 1986).

Wallace (1986) enfatiza que os trabalhos de *retrofit* em empreendimentos habitacionais só devem ser realizados, caso seja possível garantir aos ocupantes que tanto o fornecimento dos serviços (eletricidade, gás e água) quanto o dia a dia dos mesmos não sejam afetados pelos trabalhos. De acordo com Jones (2013), restringir o acesso ao edifício, especialmente na entrada principal, é um aspecto fundamental a ser considerado em obras de *retrofit*, bem como atividades que causem barulho, pois são variáveis-chave em empreendimentos comerciais e institucionais. Kelsey (2003) evidencia que a interrupção do tráfego nas áreas de circulação e o bloqueio do acesso à edificação também são perturbações causadas aos ocupantes e usuários destas edificações, principalmente em locais públicos de grande movimento de pessoas como

em estações de trem. A falta de controle de todos os espaços compreendidos pelo *retrofit* pode aumentar o custo do empreendimento, além de gerar riscos de segurança para os usuários e empreiteiros (KELSEY, 2003).

Para Miller e Buys (2011), as causas das perturbações que afetam os usuários durante a execução das obras podem ser diferentes, dependendo do tipo de edificação (local, comercial, residencial, etc.) que passará pelo processo de *retrofit*. Por exemplo, o barulho foi a principal perturbação apontada durante o *retrofit* em um edifício comercial de escritórios (MILLER; BUYS, 2011). Vadodaria *et al.* (2010) acrescentam que as perturbações também estão relacionadas quanto ao tipo de *retrofit* desenvolvido. Os trabalhos realizados no lado externo da edificação causam menos perturbações (VADODARIA *et al.*, 2010). Entretanto, tais trabalhos podem estar associados a outros tipos de atividades, as quais necessitam intervenções internas. Por exemplo, apesar do isolamento das paredes externas trazer resultados positivos, caso o objetivo seja alcançar um melhor resultado quanto à eficiência energética e redução de emissões de carbono, a substituição das aberturas e isolamento do forro do telhado também devem ser consideradas (DCLG, 2006; VADODARIA *et al.*, 2010; LOVEDAY *et al.*, 2011). Desta forma, trabalhos adicionais devem ser executados na parte interna da edificação e, conseqüentemente, implicam em perturbações mais substanciais para o ocupante. Tais perturbações estão relacionadas à interferência dos trabalhos nas atividades cotidianas dos ocupantes (VADODARIA *et al.*, 2010; HAINES; MITCHELL, 2014).

Segundo Haines e Mitchell (2014), os ocupantes toleram de forma limitada as perturbações causadas pelos trabalhos internos nas edificações, se as mesmas forem menos significantes do que o resultado de melhoria e conforto do espaço após o *retrofit*. Para Lee (2012), o fato de os usuários e empreiteiros dividirem o mesmo espaço causa perturbações para os ocupantes, e os fatores tolerância e impacto estão relacionados ao tipo de espaço em que ocorre o *retrofit*. Por exemplo, o *retrofit* em um espaço de circulação pode afetar mais os ocupantes do que em um dormitório (LEE, 2012). Ho (2009) realizou uma pesquisa sobre a interação dos espaços entre usuários e equipes de execução das obras de renovação, constatando que os planejadores das obras devem elaborar planos de execução das atividades, os quais possibilitem que usuários e trabalhadores frequentem e utilizem o mesmo espaço durante as obras. A atenção a estes planos pode ser dada através da implementação de sistemas de planejamento e controle da

construção, como o *Last Planner System*®<sup>4</sup>, já que tal sistema de planejamento é adequado ao alto grau de incerteza encontrado em obras de *retrofit*.

Swan e Brown (2013) afirmam que certas atividades como isolamento interno, substituição de reboco, instalação de forro, ou ainda, isolamento do piso geram uma quantidade enorme de poeira e isso causa muita perturbação para os ocupantes das edificações em obras de *retrofit*. Além disso, trabalhos realizados em edifícios ocupados podem necessitar de serviços e tempo improdutivos como limpeza extra do local ou atividades de preparação como movimentar ou cobrir móveis e objetos dos usuários (CIRIA, 1994).

Assim como em empreendimentos novos, a satisfação do cliente é critério essencial para o sucesso do empreendimento de *retrofit* (HOLM, 2000; HO, 2009). Ho (2009) acrescenta que a não insatisfação do ocupante está relacionada ao fato dele não sofrer qualquer inconveniente durante as obras de *retrofit*. Gee e Chiappeta (2013) acreditam que o grau de aceitação do inquilino durante o *retrofit* está relacionado ao pré-envolvimento e respeito recebido, além da qualidade da comunicação. Portanto, é importante a identificação antecipada das interações dos ocupantes durante o processo de planejamento, para garantir que não haja perturbações durante o *retrofit*. Já Wallace (1986) constatou que os inquilinos aceitam melhor as obras e ficam menos insatisfeitos, quando as mesmas são desenvolvidas no período de quatro a seis semanas. Fawcett e Mayne (2012) concluem que os ocupantes estão mais propensos a suportar um processo de *retrofit* que seja realizado em uma única vez, do que um processo dividido em partes a longo prazo. Desta forma, para Fawcett (2014), executando-se o *retrofit* em uma única etapa, os ocupantes lidam com apenas uma perturbação: deixar a edificação durante a execução dos trabalhos, enquanto a realização do *retrofit* em diferentes etapas, gera múltiplos períodos de perturbações. Entretanto, em muitos casos, a possibilidade de que o ocupante deixe a edificação é limitada, e a necessidade de que o *retrofit* seja realizado em um único período pode ser inevitável.

Whiteman e Irwig (1988) sugerem que o proprietário deve transmitir suas preocupações e dúvidas ao projetista, a fim de minimizar as perturbações e interrupções. Os mesmos autores também afirmam que o tamanho das equipes de trabalho e a sequência em que as atividades são executadas podem causar sérias restrições, caso não sejam consideradas. Desta forma, os referidos autores propõem agrupar e concluir as atividades que causam perturbações ao

---

<sup>4</sup> *Last Planner System*® - método para o planejamento e controle da produção em canteiros de obra proposto por Ballard e Howell (1994).



ocupante, o mais cedo possível no ciclo de execução, a fim de economizar tempo e dinheiro, e evitar uma maior insatisfação dos proprietários e ocupantes (WHITEMAN; IRWIG, 1988). Complicações inesperadas e atrasos das obras também causam muito estresse para os ocupantes (VADODARIA *et al.*, 2010). Além disso, alguns usuários toleram mais as perturbações do que outros (CIRIA, 1994). Há necessidade de entender em mais profundidade por que determinada perturbação é aceitável em alguns casos e em outros não, para informar futuros programas de *retrofit* (VADODARIA *et al.*, 2010).

## 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada uma revisão relacionada ao contexto estudado nesta pesquisa, o projeto e a construção de *retrofit* em empreendimentos habitacionais. O conceito do termo *retrofit* ainda é bastante incipiente, porém, esta palavra inglesa tem sido utilizada por muitos profissionais da área da construção civil, inclusive no Brasil. A prática de *retrofit* hoje é bastante difundida na Europa, porém, no Brasil, sua aplicação é bem menos expressiva. Este capítulo também destacou as restrições encontradas durante o projeto e execução de *retrofit*, com uma atenção voltada para as perturbações causadas ao ocupante das edificações durante as obras. Alguns autores apontam algumas medidas preventivas para minimizar as perturbações ou até mesmo evitá-las. Tais medidas devem ser consideradas pelos gestores do empreendimento, durante o processo de planejamento do *retrofit*. Além disso, as perturbações devem ser melhor compreendidas, pois este assunto é contemplado de forma limitada nos trabalhos investigados.

### 3 **BUILDING INFORMATION MODELING**

Este capítulo está dividido em quatro seções principais. A primeira seção aborda o conceito de *Building Information Modeling* (BIM). A segunda seção compreende os principais benefícios e dificuldades encontradas na sua adoção. A terceira seção investiga a utilização de BIM na gestão de empreendimentos. Na quarta e última seção são discutidas a modelagem e a simulação BIM 4D. Além disso, cenários do tipo *what-if* são revisados do ponto de vista conceitual.

#### 3.1 CONCEITO DE BIM

BIM possui diferentes definições desde sua origem no final dos anos 70. Entretanto, ainda não há um consenso entre os autores e profissionais sobre o conceito de BIM (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). Contudo, a tradução mais utilizada tem sido Modelagem da Informação para a Construção. Souza (2009) considera BIM como sendo uma abordagem que surgiu em busca da melhoria dos processos relacionados ao produto final, para atender um mercado cada vez mais exigente quanto a prazos, qualidade e custos. Para atingir tais exigências, é destacado a necessidade de colaboração, integração e uso de uma linguagem comum entre todos os envolvidos (ATKINSON *et al.*, 2014).

BIM abrange todos os estágios do ciclo de vida de uma edificação, desde a sua concepção, passando pela construção, manutenção e até a desconstrução da mesma (EASTMAN *et al.*, 2011). Desta forma, os mesmos autores ressaltam que BIM não deve ser visto apenas como um *software* ou uma mudança de tecnologia, pois ele altera de forma significativa todos os principais processos que envolvem a construção de um edifício, tais como projeto, construção e gestão de *facilities*. Sendo assim, o BIM exige uma forma de reinventar o fluxo de trabalho, de treinar a equipe e atribuir responsabilidades mudando a maneira de modelar a construção (EASTMAN *et al.*, 2011).

Segundo Eastman *et al.* (2011), BIM compreende as características físicas e funcionais de uma estrutura composta por objetos "inteligentes", podendo apresentar múltiplas perspectivas, tais como desenhos 2D, listas, textos, imagens 3D, animações, elementos de tempo (4D), custo (5D) e modelagem virtual de infraestruturas, com todos os seus aspectos de gestão e

manutenção ao longo de todo o ciclo de vida (6D). A adoção de BIM representa uma mudança de paradigma na indústria da construção, pois requer mudanças significativas na forma como as empresas de construção funcionam em diversos níveis do processo de construção (ARAYICI *et al.*, 2011a). Sendo assim, desenvolver empreendimentos utilizando BIM requer um treinamento especializado, devido à complexidade dos processos envolvidos (TAKIN *et al.*, 2013).

Embora o BIM já exista há vários anos, a conscientização por parte dos intervenientes de que esta nova abordagem de gestão do empreendimento pode melhorar o projeto, a construção e a operação de edifícios, é recente (COATES *et al.*, 2010). Em países como Finlândia, Noruega, Estados Unidos e Reino Unido, a disseminação de BIM tem sido bastante acentuada (CODINHOTO *et al.*, 2011). Outros países que se destacam no progresso para a utilização de BIM em nível nacional são: Hong Kong, Cingapura, Coreia do Sul e Austrália (TAKIM *et al.*, 2013). Desta forma, diversas empresas do setor da construção têm adotado estratégias para implementar BIM, a fim de se manterem competitivas no mercado, mesmo em países onde o uso obrigatório seja apenas para projetos públicos, como é o caso do Reino Unido. Assim, BIM tem sido utilizado tanto em projetos de grande, como de pequenas escalas (BRYDE *et al.*, 2013).

Para Volk *et al.* (2014), as diferentes condições dos edifícios, tais como tipo de uso (residencial, comercial, infraestrutura, etc.), idade (novo, patrimônio, etc.) e propriedade (privada, pública-social, etc.), influenciam diretamente o grau de aplicação de BIM e, conseqüentemente, no nível de detalhe dos modelos e funcionalidades de apoio em relação aos processos de projeto, construção, manutenção e desconstrução, levando em conta às exigências das partes interessadas. Sendo assim, o BIM pode ser explorado pelo cliente/proprietário para entender as necessidades do projeto, pela equipe de projeto para analisar, projetar e desenvolver o projeto, pelo contratante para gerenciar a construção do empreendimento e também pelo gerente da edificação durante a operação e até demolição da mesma (GRILO; JARDIM-GONÇALVES, 2010).

### 3.2 BENEFÍCIOS E BARREIRAS NA ADOÇÃO DE BIM

Muitos são os benefícios decorrentes da adoção de BIM. Para Deutsch (2011), muitas vezes, os benefícios gerados são pouco compreendidos, pois as organizações esquecem-se do fator

social, que envolve a nova tecnologia e os novos processos de trabalho trazidos pela implementação de BIM. Segundo Ningappa (2011), BIM é muito importante para tornar os processos envolvidos no desenvolvimento de um empreendimento mais rápidos e eficientes. Além disso, auxilia no aumento da produtividade e da qualidade, na redução do custo e da duração do tempo de projeto e produção, e na melhoria do gerenciamento e operação do empreendimento (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014).

Bryde *et al.* (2013) aponta os principais benefícios do uso de BIM, tanto no processo de projeto, quanto de produção de um empreendimento, a partir de um conjunto de estudos de caso. Em primeiro lugar está o custo, em segundo o tempo, seguido pela comunicação, melhoria de coordenação e qualidade (relacionada ao projeto e à produção de sustentabilidade), risco e escopo (BRYDE *et al.*, 2013).

Eastman *et al.* (2011) divide os principais benefícios do BIM em:

- **Benefícios para o proprietário na pré-construção:** benefícios conceituais e de viabilidade, aumento de desempenho e qualidade da construção, e melhor colaboração usando entrega de projeto integrado (IPD).
- **Benefícios de projeto:** visualizações de projeto antecipadas e mais precisas, correções automáticas feitas no projeto, geração de desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer fase do projeto, colaboração das múltiplas disciplinas de projeto antecipadamente, verificação fácil da consistência de projeto, extração de estimativas de custos na fase de projeto, melhoria da eficiência energética e sustentabilidade.
- **Benefícios na construção e fabricação:** uso do modelo de projeto como base para a fabricação de componentes, reação rápida às mudanças de projeto, descoberta de erros e omissões de projeto antes da construção, sincronização do planejamento da construção e projeto, melhor implementação de técnicas de construção enxuta, sincronização de projeto e construção com a contratação.
- **Benefícios no pós-construção:** melhoria de transferência de informações de *facilities*, melhor gestão e operação das *facilities*, integração entre a operação das *facilities* e sistemas de gestão.

Entretanto, a implementação de BIM não conta somente com benefícios, mas também com inúmeras dificuldades, as quais precisam ser superadas para que haja uma disseminação do seu uso pela indústria da construção (ARAYICI *et al.*, 2011a). Uma das grandes dificuldades na adoção de BIM é estabelecer a melhor maneira de ordenar as estruturas contratuais e organizacionais, a fim de dar o máximo apoio ao processo como um todo (McADAM, 2010). Por outro lado, Menezes (2011) faz uma avaliação sob o ponto de vista tecnológico das principais dificuldades, as quais são: perdas durante a conversão para IFC, o alto custo dos *software* e *hardware* e a criação de *templates* próprios com famílias e bibliotecas ainda não normatizados. Bryde *et al.* (2013) complementam e apontam os efeitos negativos do BIM quanto ao uso da tecnologia: tempo extra para criação do modelo ou retrabalho na modelagem, devido à conversão do projeto de normas tradicionais de CAD para uma plataforma BIM.

Além disso, Bryde *et al.* (2013) acreditam que há um grande impasse para ser resolvido na adoção de BIM, com as questões relacionadas à aceitação das pessoas diante das novas plataformas de TI, as quais necessitam de uma maior cooperação umas com as outras. Esta cooperação torna mais fácil o compartilhamento dos modelos BIM e, desta forma, não restringe o fluxo de informações (BRYDE *et al.*, 2013). Uma vez que as pessoas foram treinadas e os computadores atualizados com a nova tecnologia, os custos adicionais tendem a não ser tão elevados (BRYDE *et al.*, 2013). Arayici *et al.* (2011b) destacam algumas dificuldades a serem superadas que não dependem do aprendizado de um novo *software*. Estas dificuldades dependem do aprendizado relacionado a melhorar o fluxo de trabalho, treinar a equipe e assumir responsabilidades em uma nova forma de modelar a construção de uma edificação (ARAYICI *et al.*, 2011b).

Embora pareça existir mais dificuldades do que benefícios, percebe-se que tais dificuldades são provisórias e iniciais, todavia, existe um crescente avanço de pesquisas para minimizá-las. De forma geral, os benefícios obtidos são permanentes, mesmo que percebidos de forma imediata ou a longo prazo. Isso demonstra que o BIM é de fato uma abordagem eficiente para a gestão de empreendimentos.

### 3.3 O USO DE BIM NA GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS

O planejamento efetivo e a sua essência, a tomada de decisão, é a chave do sucesso de um empreendimento (SHAPIRA; LAUFER; SHENHAR, 1994). Papamichael (1999) afirma que a complexidade nas decisões do empreendimento resulta do fato de que os efeitos de cada decisão dependem de um grande número de outras decisões. Isto quer dizer que, muitas vezes, as pessoas lidam com *trade-off* no processo do empreendimento e isso gera a complexidade do processo de tomada de decisão.

Shapira, Laufer e Shenhar (1994) destacam as fases sequenciais do processo de tomada de decisão: coleta de informações, análise e processamento das informações coletadas, desenvolvimento e criação de alternativas, análise e avaliação das alternativas, seleção da alternativa. As decisões dependem do conhecimento (parcial ou total) das alternativas e também das consequências de cada alternativa (OLIVEIRA, 1999). Para Watson (2009), a fase de determinar alternativas é a mais crítica no processo de tomada de decisão, pois as alternativas precisam satisfazer os requisitos dos clientes. Em seguida a esta, está a fase de avaliação das alternativas, a qual se baseia em dados quantitativos e qualitativos para apoiar a tomada de decisão e, assim, facilitar a seleção da alternativa mais adequada (WATSON, 2009).

Várias são as variáveis que podem ser influenciadas pela decisão a ser tomada no desenvolvimento de empreendimentos: custo, qualidade, tempo de duração e alocação de recursos dos projetos (ALI; RAHMAT; HASSAN, 2008). As características dos tomadores de decisão e o contexto também podem ser fatores influentes na escolha das alternativas (WILNSON; CRANE; CHRYSOCHOIDIS, 2014). Alguns autores afirmam que a qualidade e a quantidade de informações disponíveis na concepção influenciam na qualidade da decisão tomada (PAPAMICHAEL, 1999; NAARANOJA; UDEN, 2007; ALI; RAHMAT; HASSAN, 2008). Além disso, o crescente avanço em tecnologia da informação proporciona o desenvolvimento de ferramentas digitais, que podem melhorar significativamente a tomada de decisão e facilitar o processo de projeto do edifício (PAPAMICHAEL, 1999; CAMPBELL, 1977 *apud* OLIVEIRA, 1999; RITTER *et al.*, 2014). No entanto, a implementação bem-sucedida destas ferramentas requer uma compreensão abrangente do processo de concepção para a formulação de dados adequados (PAPAMICHAEL, 1999). Segundo Ritter *et al.* (2014), atualmente os processos de projeto, os quais utilizam ferramentas digitais, focam em

analisar uma opção de projeto definida e não fornecem nenhuma sugestão para possíveis alterações, as quais poderiam melhorar ainda mais o projeto.

Leicht e Messner (2007) afirmam que uma das principais mudanças em utilizar BIM na etapa de concepção de um empreendimento, é que os projetistas podem utilizar mais informações nessa etapa em relação à forma tradicional de gestão de empreendimentos. Sendo assim, o BIM mostra-se como um diferencial na melhoria do processo de tomada de decisão. Bryde *et al.* (2013) chamam a atenção para a exploração do uso de BIM em contextos mais amplos, que demandam maior interdependência, envolvimento e cooperação dos diferentes intervenientes de planejamento, concepção, construção e gestão de *facilities*, nas etapas iniciais de concepção do empreendimento. Tais esforços são demandados por empreendimentos habitacionais de *retrofit* e, por isso, o processo de tomada de decisão utilizando BIM poderia ser explorado também neste contexto. Assim, podem ser geradas informações precisas e alinhadas sobre as potencialidades da edificação existente e as necessidades para o *retrofit*, influenciando na etapa de simulação e materialização das soluções de projeto (CROITOR; MELHADO, 2009).

A rapidez com que a decisão é tomada na etapa de execução também é importante devido ao alto grau de incerteza existente neste processo. Nesta etapa é relevante a presença de um profissional com uma visão sistêmica do empreendimento e relacionamento próximo ao cliente (CROITOR; MELHADO, 2009). Dado que existe alta variabilidade no ambiente de *retrofit*, tal profissional auxiliaria na redução dos impactos de incerteza no processo de produção.

### 3.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO BIM

#### 3.4.1 Modelagem BIM

Grilo e Jardim-Gonçalves (2010) destacam que os modelos virtuais podem ser do tipo de superfície ou sólidos, estes últimos também denominados modelos inteligentes. Sendo que, os modelos de superfície são compostos por informações como tamanho, forma e localização, e servem apenas para efeitos de visualização para fins estéticos ou comerciais de um empreendimento. Já os modelos inteligentes possuem diversos componentes, e as partes dos componentes são representadas por elementos (AIA, 2013). Além disso, estes modelos contêm uma vasta gama de informações associadas a esses componentes, através de relações

paramétricas (GRILO; JARDIM-GONÇALVES, 2010). A partir da definição apresentada, pode-se afirmar que cada modelo BIM consiste de representação gráfica e informações semânticas, e que a modelagem BIM usa linguagem orientada ao objeto, combinando tais informações. Sendo assim, a modelagem paramétrica permite a representação das relações funcionais entre as partes, bem como das relações geométricas (SACKS *et al.*, 2004; EASTMAN *et al.*, 2011).

Os modelos BIM podem ser desenvolvidos por diferentes colaboradores de uma mesma equipe de projeto e/ou produção, os quais podem utilizar diferentes *software* e isso resulta em um grande desafio (GRILO; JARDIM-GONÇALVES, 2010). Este desafio está relacionado à interoperabilidade, que é a capacidade de trocar arquivos de modelos entre diversos *software* BIM, facilitando o fluxo de trabalho, pois os formatos dos arquivos de troca são neutros e possuem padrões de modelagem (EASTMAN *et al.*, 2011). O padrão de troca de informação mais utilizado é o *Industry Foundation Classes* (IFC). Segundo Froese (2003) e Eastman *et al.* (2011), o IFC é um padrão internacional orientado ao objeto e que possibilita a troca e integração da informação entre diferentes *software* da indústria da construção. Atualmente, a maioria dos *software* BIM possui o padrão IFC para realizar a importação e/ou exportação de um arquivo. Este padrão facilita o processo de troca de informações, uma vez que o modelo BIM pode incluir informações usadas por diversos aplicativos de análise, tais como estimativa de custos, simulação de consumo de energia, iluminação natural, entre outros (GSA, 2007).

Grilo e Jardim-Gonçalves (2010) afirmam que as interações são importantes na criação de simulações virtuais. Tais interações podem ser estabelecidas através de diversas formas de ligações durante o desenvolvimento de modelos compostos BIM, já que se referem a interligação entre diferentes fontes de informações (GRILO; JARDIM-GONÇALVES, 2010). Estes autores acrescentam que estas informações podem fazer parte do modelo 3D, ou podem estar contidas em um outro formato, separado do modelo em um arquivo próprio, tal como em um cronograma (GRILO; JARDIM-GONÇALVES, 2010).

Leicht e Messner (2007) destacam que é um desafio identificar as características que devem ser modeladas, o nível de detalhe que deve ser mostrado e a quantidade de informação que os componentes devem possuir em cada projeto. Os aspectos a serem incorporados em um modelo influenciam diretamente no tempo de desenvolvimento do projeto da edificação (LEICHT; MESSNER, 2007).



### 3.4.2 Nível de Desenvolvimento (LOD)

Um modelo 3D deve ter um nível de detalhe suficiente para apoiar decisões em todas as etapas do empreendimento. O modelo ganha mais precisão à medida que o projeto vai sendo detalhado, alcançando seu pico na fase de construção (BREIT *et al.*, 2008; KRIPHAL; GRILO, 2012). O nível de detalhamento das informações em um modelo varia de acordo com o propósito do modelo, função para a qual ele será utilizado, ou o uso necessário para tomar decisões de projeto e prosseguir com o trabalho (EASTMAN *et al.*, 2011; BIMFORUM, 2014).

Em uma publicação do BIMFórum (2014) são apresentadas definições para diferenciar LoD (Nível de Detalhe) de LOD (nível de desenvolvimento). O LoD refere-se essencialmente ao detalhe que está incluído no elemento do modelo, enquanto o LOD refere-se ao grau em que a geometria e a informação dos elementos foram pensadas. Assim, o nível de detalhe (LoD) é pensado como uma entrada para o elemento, enquanto o nível do desenvolvimento (LOD) como saída (BIMFORUM, 2014). Ou ainda, LOD descreve o mínimo dimensional, espacial, de dados quantitativos, qualitativos, e de outros dados incluídos em um elemento do modelo (AIA, 2013).

Em 2008, o AIA (*The American Institute of Architects*) estabeleceu cinco níveis de LOD e um conjunto de definições para cada um deles. Os cinco níveis foram apresentados em ordem crescente de classificação e denominados de acordo com o detalhamento da representação do modelo:

- a) **LOD 100**: cada elemento é representado graficamente no modelo como um símbolo ou uma representação genérica.
- b) **LOD 200**: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema genérico, objeto ou conjunto com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação. As informações não gráficas também podem ser ligadas ao elemento do modelo.
- c) **LOD 300**: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico, preciso em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. As informações não gráficas também podem ser ligadas ao elemento do modelo.

- d) **LOD 400**: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico que é preciso em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informações de instalação. Informações não gráficas também podem ser ligadas ao elemento do modelo.
- e) **LOD 500**: cada elemento é uma representação verificada em campo, preciso em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. Informações não gráficas também podem ser ligadas ao elemento do modelo.

Para Bedrick (2008), estes níveis correspondem à progressão do modelo, considerando a descrição das medidas através das quais um elemento BIM pode progredir logicamente, do nível mais baixo de aproximação conceitual ao nível mais alto de precisão representacional:

- a) **LOD 100**: Nível Conceitual
- b) **LOD 200**: Nível de Geometria Aproximado
- c) **LOD 300**: Nível de Geometria Precisa
- d) **LOD 400**: Nível de Fabricação
- e) **LOD 500**: Nível *As built*

Segundo Boton *et al.* (2015), o LOD é utilizado tanto para o detalhamento da geometria quanto de informações não gráficas. Por exemplo, em modelos BIM 4D a especificação do LOD deve lidar tanto com o nível gráfico dos detalhes, quanto o nível temporal das informações (BOTON *et al.*, 2015). Sendo assim, o princípio do LOD é especificar a informação que o modelo deve conter, determinado pelo seu uso e necessidade de simulação, nas diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento (BOTON *et al.*, 2015). Kriphal e Grilo (2012) destacam que enquanto o LOD para a fase de concepção concentra-se nas complexidades geométricas, o LOD para a fase de construção evidencia os recursos, equipamentos, mão-de-obra e produtividade. Eastman *et al.* (2011) ressaltam que um modelo pode ser menos detalhado quando for usado em uma análise de cronograma 4D, sendo que, este modelo deve conter trabalhos temporários (andaimes, escavação), além de mostrar como a construção será faseada (ex. uma sequência de montagem de parede). Entretanto, na fase de construção, apenas um LOD pode não ser suficiente, uma vez que podem surgir problemas

específicos durante a construção, os quais precisem ser melhor detalhados (BOTON *et al.*, 2015).

### 3.4.3 Modelagem e Simulação 4D

Os primeiros conceitos sobre modelagem 4D remetem à década de 90 e retratam-na como uma técnica de visualização de processos de construção baseado em geometria (COLLIER; FISCHER, 1996; KOO; FISCHER, 1998). Através da modelagem 4D é possível simular o processo de construção, visto que a simulação gráfica fornece uma percepção relevante de como a construção progredirá, passo a passo ao longo do tempo (EASTMAN *et al.*, 2011; RUSCHEL *et al.*, 2013). De maneira sucinta, os modelos 4D são a combinação dos modelos 3D com as atividades de construção (RISCHMOLLER; ALÁRCON, 2002; HARTMANN *et al.*, 2012).

Segundo Fischer, Haymaker e Liston (2005), as ferramentas tradicionais de planejamento (gráfico de barras e redes, por exemplo) são difíceis de serem compreendidas em obras complexas, o que dificulta a comparação entre diferentes planos alternativos de execução das atividades. Além disso, os envolvidos no processo de planejamento da construção têm dificuldade para visualizar o progresso do trabalho e, assim, integrar as informações (BRITO; FERREIRA, 2015). Sendo assim, Brito e Ferreira (2015) destacam a importância da adoção de BIM para obter as informações necessárias no processo de projeto e de produção do empreendimento. Um dos elementos-chave destacados por Sacks *et al.* (2009) sobre o BIM é a rápida geração e avaliação de múltiplas alternativas de planos de execução das atividades através da visualização 4D. Desta forma, utilizando a visualização 4D, obtêm-se uma compreensão mais profunda do empreendimento, quando comparado com as abordagens tradicionais (ex.: reuniões para discutir o plano de execução das atividades), reforçando o planejamento colaborativo (DAVE *et al.*, 2013). Os envolvidos podem fornecer informações de entrada (*inputs*) para o escopo e planejamento do empreendimento, bem como trazer melhorias para o processo de produção, auxiliando no desenvolvimento de um empreendimento mais facilmente construtível e operável (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2005; EASTMAN *et al.*, 2011).

De forma geral, o uso da simulação 4D pode revelar as origens de potenciais problemas e oportunidades para possíveis melhorias do canteiro, alocação dos trabalhadores e equipamentos envolvidos, conflitos espaciais (logística), conflitos espaciais entre diferentes

equipes e atividades, problemas de segurança, apoio às equipes de projeto, entre outros (KOO; FISCHER, 2000; GSA, 2009; EASTMAN *et al.*, 2011). BIM pode otimizar o tempo de execução, destacando gargalos e restrições durante os trabalhos de construção (SHETH, 2011). Rischmoller e Alárcon (2002) acrescentam que a simulação 4D permite que decisões importantes relativas a prazos, plano de execução das atividades e utilização de recursos, sejam tomadas antes do tempo, evitando possíveis retrabalhos. Russel, Chiu e Korde (2009) constataram que as interfaces visuais interativas possuem o potencial de melhorar o processo de gestão da construção, através da melhor compreensão do status do empreendimento e melhor comunicação entre os participantes do projeto, além de facilitar a análise das informações de gerenciamento e a tomada de decisão.

O guia do GSA (2009) sugere métricas para avaliar o sucesso da modelagem 4D: pedidos de alteração, duração e orçamento total do empreendimento, tempo economizado, número de detecção de coordenação, orçamento do modelo 4D, tempo gasto para desenvolver o modelo 4D, número de revisões do modelo 4D, tempo gasto para rever o modelo de 4D e satisfação dos intervenientes do empreendimento. Heesom e Mahdjoubi (2004) destacam três principais pontos que devem ser levados em conta na representação visual do modelo 4D: (a) o conteúdo existente na informação, (b) o nível de detalhe necessário na simulação, e (c) quais são as capacidades dinâmicas da simulação. Estes mesmos autores complementam que tanto o nível de detalhe do modelo 3D quanto do plano de execução das atividades do empreendimento está diretamente ligado ao tempo empregado no desenvolvimento do modelo 4D (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004).

As simulações 4D possuem níveis de detalhe diferenciados considerando os propósitos de suas utilizações (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). Por exemplo, quando a finalidade de uso do modelo é apenas para auxiliar a equipe de projeto a ter uma visão geral da construção, não é necessário um nível elevado de detalhe no cronograma (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). Entretanto, o nível de detalhe será elevado se a finalidade do modelo utilizado for a de análise do processo de gerenciamento da construção (ex.: detecção de conflitos de construção, logística do canteiro, coerência de plano de execução das atividades), onde a equipe de construção pode tomar decisões a partir de informações visualizadas na simulação (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). O nível de detalhe a ser observado durante a simulação também é influenciado pelo intervalo de tempo da simulação (ex.: um intervalo semanal para mostrar a evolução do modelo de construção, ou um intervalo diário para fazer uma análise

dos espaços no canteiro de obra) (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). Para Golparvar-Fard *et al.* (2009), a maioria dos modelos 4D pode ser visto apenas em um nível de detalhe. Apesar dos modelos 4D serem desenvolvidos para vários níveis de detalhes, um mesmo modelo 4D produzido por um cronograma e um modelo 3D pode ser atualizado e mantido durante todo o empreendimento (GSA, 2009).

Segundo as diretrizes propostas pelo GSA (2009), a modelagem 4D pode ser utilizada tanto em empreendimentos novos como em empreendimentos de renovação. Além de aumentar a coordenação e comunicar visualmente o plano de execução das atividades, o escopo de trabalho e as áreas afetadas do empreendimento, os modelos 4D possuem o objetivo de mostrar os movimentos do inquilino/usuário em empreendimentos de renovação para os intervenientes no processo (GSA, 2009). Estes podem utilizar os modelos 4D para verificar as localizações dos inquilinos/usuários e avaliar possíveis alternativas para movê-los (GSA, 2009). É um grande desafio de projeto planejar como e onde alocar os usuários da edificação, durante as obras de *retrofit*. A maioria dos usuários tem interesse em saber como eles serão afetados pelas obras, a duração das mesmas e onde permanecerão durante os trabalhos (GSA, 2009). As simulações 4D facilitam as respostas dos planejadores aos anseios dos usuários.

Nos últimos anos, a literatura tem explorado o uso de BIM 4D sob diversos aspectos na gestão da construção. Os estudos mais atuais buscam adaptar as aplicações da modelagem BIM 4D a diferentes necessidades dos usuários, além de avaliar as proposições tecnológicas do seu uso (BOTON *et al.*, 2015). Kassem, Dawood e Chavada (2015) exploram o uso do BIM 4D para o gerenciamento dos espaços de trabalho no canteiro de obra e apresentam os estudos já realizados relacionados a este tema, os quais propõem *frameworks* e ferramentas com características visuais e orientadas ao objeto. Os mesmos autores constataam que os estudos atuais não contemplam de forma holística e simultânea todos os processos de gerenciamento de construção relacionados ao canteiro de obra (geração e alocação de trabalho, congestionamento do espaço de trabalho, e detecção e resolução de conflitos) (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015). A detecção e resolução de conflitos podem estar relacionadas ao espaço de trabalho (conflito físico entre áreas de trabalho), ao cronograma de atividades (sobreposição temporal de atividades), ou ainda, congestionamento do espaço de trabalho (volume de recursos vs espaço de trabalho, quando ambos estão em um mesmo local) (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015).

Chen *et al.* (2013) propõem diretrizes para a seleção ideal de cores para os modelos 4D, para auxiliar os profissionais da construção a visualizar mais facilmente o progresso do empreendimento, uma vez que, tradicionalmente, as cores servem para representar o status de construção correspondente. Kim *et al.* (2013) exploram as possibilidades de geração de cronogramas para o processo de construção de forma automática utilizando BIM, para alcançar reduções significativas de tempo no cronograma. Segundo Tauscher *et al.* (2014), geralmente, na modelagem 4D há apenas um único plano de execução das atividades disponível e as mudanças que ocorrem durante o processo de construção acabam sendo negligenciadas. Isso acaba resultando em um plano de execução de atividades limitado, pois as alternativas de construção não são incluídas no plano final (TAUSCHER *et al.*, 2014). É importante observar que na prática um modelo 4D deve ser atualizado durante a realização do empreendimento, para que tal modelo possa ser utilizado como referência em empreendimentos similares.

Bynum *et al.* (2013) investigaram as percepções dos projetistas e construtores sobre o uso de BIM para projeto e construção de empreendimentos sustentáveis. A maioria dos entrevistados percebeu o uso de BIM como fundamental para visualização e coordenação em projeto e construção, bem como a aplicação de BIM para práticas sustentáveis. Estes mesmos autores afirmam que ao utilizar BIM, pode-se produzir um melhor conjunto de soluções, as quais são geradas a partir de simulações que capturam rapidamente informações sobre o empreendimento (BYNUM *et al.*, 2013).

Brito e Ferreira (2015) afirmam que a simulação 4D apresenta um grande desafio quanto à visualização da execução de atividades internas à edificação, e que isso pode afetar a finalidade do uso do modelo. Os mesmos autores acrescentam que alguns mecanismos podem ser utilizados para contornar este desafio como ajustes de velocidade e pausa na simulação, uso de transparência em elementos externos para visualizar atividades internas e exibição de duas simulações na mesma tela (BRITO; FERREIRA (2015). Hartmann (2011) sugere que antes da preparação da simulação, ainda na modelagem, é necessário a criação de elementos 3D adicionais à edificação principal, para facilitar a visualização de alguns acontecimentos na simulação 4D. Além disso, o autor recomenda o uso de uma legenda para que as pessoas compreendam as cores utilizadas na modelagem. Apesar destas sugestões resultarem em acréscimo no tempo de modelagem 4D, acredita-se que em empreendimento de *retrofit* seja

relevante adotar todas estas medidas na modelagem e simulação 4D, afim de facilitar a visualização da execução do *retrofit*.

Hartmann *et al.* (2012) alinham as ferramentas BIM com os métodos de gestão da construção, pois consideram que avaliar e reduzir os riscos do empreendimento de forma colaborativa, a partir de ferramentas tradicionais como tabelas, relatórios e gráficos Gantt é uma tarefa difícil para os tomadores de decisão. O uso de BIM 4D facilita a compreensão dos riscos, da localização de tais riscos no canteiro, bem como das implicações quanto à qualidade, custos e cronograma do empreendimento, através de visualizações rápidas e completas dos acontecimentos (HARTMANN *et al.*, 2012). Os autores supracitados obtiveram esta constatação a partir de estudos em empreendimentos novos. Em empreendimentos de *retrofit*, outros fatores devem ser considerados, tais como as perturbações que atingem os usuários do empreendimento durante a execução dos trabalhos.

Hartmann *et al.* (2012) afirmam que tanto os gestores do empreendimento quanto a equipe de projeto beneficiam-se com o uso de modelos 4D, para visualizar todas as fases do processo de construção no tempo e no espaço. Eastman *et al.* (2011) acrescentam que a visualização, a partir de simulações virtuais, também é importante para os principais usuários do edifício. A partir da visualização, é possível comunicar a eles o plano de execução, e assim, obter um *feedback* de como isso pode impactar nas atividades rotineiras do edifício, durante as obras (EASTMAN *et al.*, 2011). Da mesma forma, os próprios usuários poderiam visualizar a execução do empreendimento e dar *feedback* para as equipes de projeto e construção. Deste modo, a visualização a partir da simulação 4D poderia ser utilizada para se obter mais benefícios no processo de projeto e de construção do empreendimento de *retrofit*.

Hartmann (2011) investigou vários estudos de renovação e descobriu que poucos relatam o uso de BIM 4D no contexto de renovação de hospitais. Da mesma forma, o presente trabalho pesquisou o uso de 4D em diferentes contextos de renovação e, ainda assim, são poucos os estudos que utilizam BIM 4D, principalmente em empreendimentos habitacionais. A maioria das pesquisas, as quais investigam o uso de BIM em empreendimentos de *retrofit*, está focada em aumentar o desempenho do edifício e, assim, minimizar o consumo de energia e de água, melhorar a qualidade do ar, e reduzir emissões de carbono em todo o mundo (AZHAR *et al.*, 2008; GHOLAMI *et al.*, 2013). Uma das poucas exceções é o estudo desenvolvido por Ho (2009), o qual está voltado para a análise da interação dos ocupantes no espaço, durante as obras de *retrofit*. Neste estudo o autor usou modelos BIM 4D para simular a movimentação

dos usuários da edificação nos espaços. Ele concluiu que os modelos 4D são úteis na integração e visualização das informações espaciais e temporais, mas a identificação das interações dos ocupantes precisou ser realizada manualmente (HO, 2009). Percebe-se que as ferramentas BIM ainda são utilizadas simultaneamente a outras ferramentas, sendo elas digitais ou não (HARTY; WHYTE, 2009; WHYTE, 2011).

Em última análise, assim como investigado em outros estudos de caso para diferentes propósitos, infere-se que o uso de BIM 4D contribui para o processo de tomada de decisão, na gestão do empreendimento. Sendo assim, percebe-se que o uso de BIM em *retrofit* poderia ser mais explorado, com foco não apenas na arquitetura sustentável, mas em outros aspectos envolvidos nesta prática. Busca-se investigar se o uso de BIM 4D também é vantajoso para compreender o potencial de perturbação para os ocupantes durante obras de *retrofit*, e assim, reduzir o impacto causado pelas atividades de construção na rotina dos usuários.

#### 3.4.4 Cenários do tipo *what-if*

O termo cenário não possui uma definição precisa na literatura. Jungerman (1985) destaca que existem uma série de interpretações para este termo, mas a maioria destas compartilha as seguintes características: (a) os cenários são hipotéticos, ou seja, os mesmos descrevem futuros possíveis ou potenciais, (b) os cenários representam sequências de eventos sobre algum período de tempo, (c) os cenários consistem em estados, ações e consequências, que são geralmente condicionais ou causalmente relacionadas, (d) os elementos de cenário, ou às vezes até cenários inteiros, são julgados em relação à sua importância, conveniência ou probabilidade (JUNGERMAN, 1985).

Para Klosterman (1999) o cenário do tipo *what-if*, como o próprio nome sugere, não tenta prever exatamente as condições futuras. Trata-se uma ferramenta de planejamento, que pode ser usada para determinar o que aconteceria se as opções definidas fossem realizadas e suposições relativas ao futuro provassem ser corretas (KLOSTERMAN, 1999). Na mesma linha de raciocínio, Jungerman (1985) afirma que os cenários são julgamentos preditivos, mas não podem ser considerados como previsões exatas.

Bojerson *et al.* (2006) propõem seis tipos de cenários e os dividem em três categorias. Os cenários do tipo *what-if* pertencem à categoria de cenários preditivos, que fazem uma tentativa de prever o que irá acontecer no futuro. Os mesmos autores destacam que os cenários preditivos são elaborados, principalmente, para tornar possível planejar e adaptar a



situações esperadas. Estes cenários são úteis para os planejadores e investidores, que precisam lidar com os desafios previsíveis e podem permitir que sejam aproveitadas as possíveis oportunidades (BOJERSON *et al.*, 2006). Os cenários *what-if* investigam o que vai acontecer com a condição de eventos especificados de grande importância para o desenvolvimento futuro (BOJERSON *et al.*, 2006). Os eventos especificados podem ser externos, decorrentes de decisões internas ou, ainda, uma combinação de ambos. Além disso, os cenários propostos podem ter um caráter quantitativo ou qualitativo (BOJERSON *et al.*, 2006). Portanto, os cenários do tipo *what-if* buscam responder à seguinte pergunta: “o que acontecerá caso uma condição específica para um determinado evento ocorra?”.

O processo de desenvolvimento de um cenário inclui várias etapas. Inicialmente, deve haver uma geração de ideias e coleta de dados (estruturação dos cenários). Em segundo lugar, há uma etapa de integração na qual as partes são combinadas (elaboração/geração dos cenários). Em terceiro lugar, há um elemento de verificação da consistência dos cenários (matriz de cenários) (BOJERSON *et al.*, 2006).

Grilo e Jardim-Gonçalves (2010) ressaltam que os modelos BIM 3D facilitam o estudo de abordagens alternativas para projetar soluções em que cenários do tipo *what-if* podem ser facilmente modelados e comparados. A intenção dos projetistas torna-se mais fácil e precisa ao ser comunicada aos outros membros da equipe do projeto (GRILO E JARDIM-GONÇALVES, 2010). Segundo Eastman *et al.* (2011) o modelo de informação de construção e a comparação rápida de cenários melhora de forma substancial o processo de revisão do projeto. As explorações de projeto *what-if* são mais fáceis e viáveis economicamente usando ferramentas BIM (EASTMAN *et al.*, 2011).

Fawcett e Mayne (2012) apresentam um estudo no qual alguns proprietários de habitações, as quais necessitavam de *retrofit*, experimentaram o processo a partir de tentativas, executando as intervenções de melhoria ora de uma única vez, ora em momentos diferentes. Entretanto, não utilizaram nenhuma ferramenta integrada, como o uso de simulação BIM 4D para realizar tais tentativas. Isto indica o potencial do uso de cenários do tipo *what-if*, criados a partir de simulações BIM 4D, para identificar a melhor forma para realizar tais intervenções, como também possíveis restrições e analisar consequências que este tipo de obra pode gerar.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo destacou que, embora a literatura traga diferentes definições para o BIM, todas convergem para colaboração entre os envolvidos e interoperabilidade. Conforme apresentado neste capítulo, o BIM traz diversos benefícios. Por isso, foram discutidos a importância do BIM e de suas ferramentas de modelagem e de simulação. Considera-se que a visualização espacial de *retrofit* de um empreendimento, através de simulações BIM 4D, pode apoiar o processo de tomada de decisão, bem como a gestão deste empreendimento.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é apresentado o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento deste trabalho, incluindo a estratégia de pesquisa adotada, o delineamento do método de pesquisa desenvolvido e a descrição detalhada das atividades de acordo com suas respectivas etapas.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para a realização deste trabalho, a abordagem de pesquisa adotada foi *Design Science Research* (DSR), também denominada de *Constructive Research*. A DSR tem foco no desenvolvimento de conhecimento que seja traduzido na prescrição de soluções para problemas práticos (VAN AKEN, 2004). Esta abordagem busca construir uma solução inovadora, também referida como artefato, para solucionar um problema real (LUKKA, 2003). Tal problema deve ser relevante na prática, de forma que sua solução proporcione uma contribuição teórica para o campo de pesquisa investigado (KASANEN *et al.*, 1993; LUKKA, 2003; VAN AKEN, 2004; VAISHNAVI E KUECHLER, 2007; HOLMSTRÖM *et al.*, 2009). Kasanen *et al.*, (1993) afirmam que a solução pode ser considerada adequada em termos técnicos, mas pode não funcionar na prática. Desta forma, é necessário implementar a solução, para que se possa avaliar aplicabilidade, ou seja, não se pode avaliar a solução sem antes implementá-la (KASANEN *et al.*, 1993). Kasanen *et al.*, (1993) complementam que a pesquisa construtiva pode envolver tanto dado quantitativo quanto qualitativo.

A DSR tem sido utilizada de forma crescente em diversos campos do conhecimento, tais como administração, tecnologia e sistemas de informação, medicina e engenharia, nos quais não é suficiente descrever e entender o problema, sendo necessário desenvolver e testar soluções (KASANEN *et al.*, 1993; VAN AKEN, 2004). Assim, a solução inovadora pode assumir diferentes formatos, como, por exemplo, modelo conceitual, protocolo, artefato físico, algoritmos matemáticos, medicamentos, *software* (KASANEN *et al.*, 1993; VAN AKEN, 2004). Lukka (2003) considera os modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e projetos de sistemas de informação, como artefatos humanos. O mesmo autor acrescenta que os artefatos são desenvolvidos e não descobertos, ou seja, o artefato é diferente de algo já existente, sendo algo totalmente novo (LUKKA, 2003).

Holmström *et al.*, (2009) argumentam que um fenômeno artificial, também chamado de artefato, deve ser criado pelo pesquisador antes de ser avaliado.

March e Smith (1995) definem como resultados da pesquisa, os seguintes produtos:

- Constructos ou conceitos - representam conceituações utilizadas para descrever os problemas e especificar as respectivas soluções. Eles facilitam a comunicação dentro de uma área específica de interesse, através de uma linguagem especializada e compartilhamento de conhecimento.
- Modelos - trata-se de um conjunto de proposições que expressam a ligação existente entre os constructos. Ele pode ser visto simplesmente como uma descrição, isto é, uma representação de como as coisas são.
- Métodos - é um conjunto de passos em sequência, para se executar uma tarefa e atingir um resultado desejado. São muitas vezes utilizados para converter um modelo ou representação em outro, para a resolução de um problema. O desejo de se utilizar um determinado tipo de método pode influenciar os constructos e os modelos desenvolvidos para uma tarefa.
- Instanciações - é a realização de um artefato no seu ambiente. Elas demonstram a viabilidade e a eficácia contidas nos modelos e métodos.

Rocha (2011) fez uma comparação entre as etapas envolvidas em uma pesquisa do tipo DSR, conforme as propostas de diferentes autores (**Figura 1**). A mesma autora destaca que March e Smith (1995) propõe apenas duas etapas, construir o artefato e avaliar o seu desempenho em uso, enquanto outros autores (Kasanen *et al.*, 1993; Lukka, 2003; e Vaishnavi e Kuechler, 2007) propõem uma sequência mais detalhada de etapas.

March e Smith (1995)	Kasanen (1993)	Vaishnavi e Kuecheler (2007)	Lukka (2003)
	Encontrar um problema com relevância prática, o qual também tenha potencial de pesquisa	Consciência do problema	Encontrar um problema com relevância prática e potencial de contribuição teórica
			Avaliar a probabilidade de colaboração na pesquisa de longa data com as organizações-alvo
	Obter uma compreensão geral e abrangente do tópico		Obter um entendimento do problema a partir de uma perspectiva prática e teórica
Criar algo que atenda aos propósitos humanos	Inovar, ou seja, construir uma solução	Sugestão de um projeto experimental	Desenvolver uma solução inovadora que resolva um problema real
Avaliar o seu desempenho em uso	Demonstrar que a solução funciona	Maior desenvolvimento do projeto experimental e implementação	Implementar a solução e testar sua aplicabilidade prática
	Apresentar as conexões teóricas da solução e sua contribuição para a pesquisa	Avaliação do projeto de acordo com critérios previamente definidos	Identificar e analisar a sua contribuição teórica
	Examinar o escopo de aplicabilidade da solução	Conclusão	

Figura 1: Sequência das fases da estratégia de pesquisa DSR (Fonte: adaptado de Rocha, 2011).

Segundo Lukka (2003), na DSR normalmente existe uma estreita colaboração entre o pesquisador e representantes das organizações envolvidas. Para Kasanen *et al.*, (1993), a fase de inovação é o elemento central da DSR, pois o pesquisador deve produzir uma solução para o problema em questão. Os mesmos autores ainda afirmam que as soluções para o campo de gestão, muitas vezes não só resolvem o problema, como mostram problemas novos. Conforme sugere Kasanen *et al.*, (1993), a abordagem DSR é caracterizada pela divisão do processo de pesquisa em fases, que podem variar de caso a caso.

A abordagem de pesquisa escolhida, *Design Science Research*, possui características intrínsecas, que se alinham aos objetivos deste estudo. Em primeiro lugar, como este trabalho envolve a proposição de um conjunto de recomendações, a escolha por DSR alinha-se ao caráter prescritivo da pesquisa. O conjunto de recomendações proposto prescreve uma sequência de passos a serem incorporados no processo decisório. O desenvolvimento do conjunto de recomendações foi um processo iterativo, que envolveu alguns ciclos de aprendizado, nos quais a solução foi refinada. O uso de DSR como uma estratégia de pesquisa no contexto do gerenciamento da construção é bastante recente. No entanto, uma série de

teses de doutorado e dissertações de mestrado publicadas adotaram DSR nos últimos anos (TEZEL, 2011; ROCHA, 2011; DAVE, 2013; BIOTTO, 2012).

A solução desenvolvida nesta pesquisa é um conjunto de recomendações para o uso de BIM 4D em empreendimentos habitacionais de *retrofit*. A intenção é que estas recomendações possam auxiliar gestores e tomadores de decisão, na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Tal conjunto de recomendações compreende a criação de cenários do tipo *what-if*, utilizando a ferramenta BIM 4D, incluindo demais informações de entrada que cada cenário necessita para que possa ser comparado aos demais.

Para um melhor entendimento do desenvolvimento das etapas deste trabalho, suas limitações são apresentadas abaixo:

- a) Dificuldades de colaboração entre os envolvidos no projeto S-IMPLER. Como exemplo, algumas informações não eram compartilhadas, ou, quando eram, estavam incompletas, dificultando o processo de coleta de dados.
- b) Esta pesquisa foi planejada para acompanhar as Fases 1A (*retrofit* da habitação nº 6), 1B (*retrofit* das habitações nº 44 e 45) e 2 (*retrofit* das habitações nº 46 e 47). Dado a ocorrência de atraso nas obras, foi possível acompanhar somente a Fase 1A e a preparação da Fase 1B, levando-se em consideração o prazo para conclusão deste trabalho.
- c) Não havia um plano detalhado de execução das atividades do *retrofit* elaborado pelos responsáveis pela construção, o que retardou o desenvolvimento dos modelos 4D.
- d) Não foi possível testar diferentes alternativas de plano de execução das atividades, levando-se em consideração o prazo para conclusão deste trabalho.
- e) Não foi possível estabelecer indicadores e parâmetros para a comparação dos modelos 4D de forma quantitativa (ex.: PPC, causas de não-cumprimento de tarefas, percentual de tarefas antecipadas prontas para execução, etc.), devido à dificuldade em capturar tais dados.
- f) Durante a criação dos cenários, não foi possível obter informações do fornecedor para a terceira solução técnica, apesar de vários contatos terem sido realizados com o mesmo.

- g) Não foi possível obter as informações sobre os custos do escopo completo do empreendimento para a criação dos cenários 1 e 2.
- h) O atraso e as interrupções das obras tornaram impossível aplicar e testar de forma integral o conjunto de recomendações proposto neste trabalho, bem como consolidá-lo.

Em decorrência destas limitações, a fase de compreensão do problema teve maior destaque do que a fase de implementação da solução e consolidação da mesma, conforme apresentado no delineamento da pesquisa.

## 4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Este trabalho não seguiu rigidamente as fases propostas pelos autores de DSR, mas fez uso de uma composição das fases sugeridas por estes autores e apresentadas no item anterior (4.1). A **Figura 2** apresenta o delineamento da pesquisa, o qual contém cinco macro atividades, além da Revisão de Literatura: (a) encontrar um problema com relevância prática e potencial teórico, (b) compreender o problema, (c) desenvolver uma solução para resolver o problema; (d) verificar a aplicabilidade prática da solução; e (e) avaliar a solução proposta.

Do ponto de vista cronológico, a pesquisa foi dividida em três grandes etapas: Etapa Inicial, Etapa Intermediária e Etapa Final. Ao longo destas três etapas, pode-se observar os ciclos típicos da DSR, que envolvem atividades de análise, síntese e avaliação, existindo também sobreposição de uma etapa em relação a outra (**Figura 3**). A solução foi desenvolvida ao longo de todo o estudo empírico e validada de forma preliminar somente no final da última etapa. Desta forma, cada uma das etapas de pesquisa contribuiu em parte para a elaboração da solução proposta. A utilização deste conjunto de recomendações parte do pressuposto que o usuário do mesmo, seja uma empresa pública ou privada, utilize BIM ou possa contratar alguma organização que utilize, e que deva interagir desde o início no processo de tomada de decisão, conseqüentemente na gestão do empreendimento.

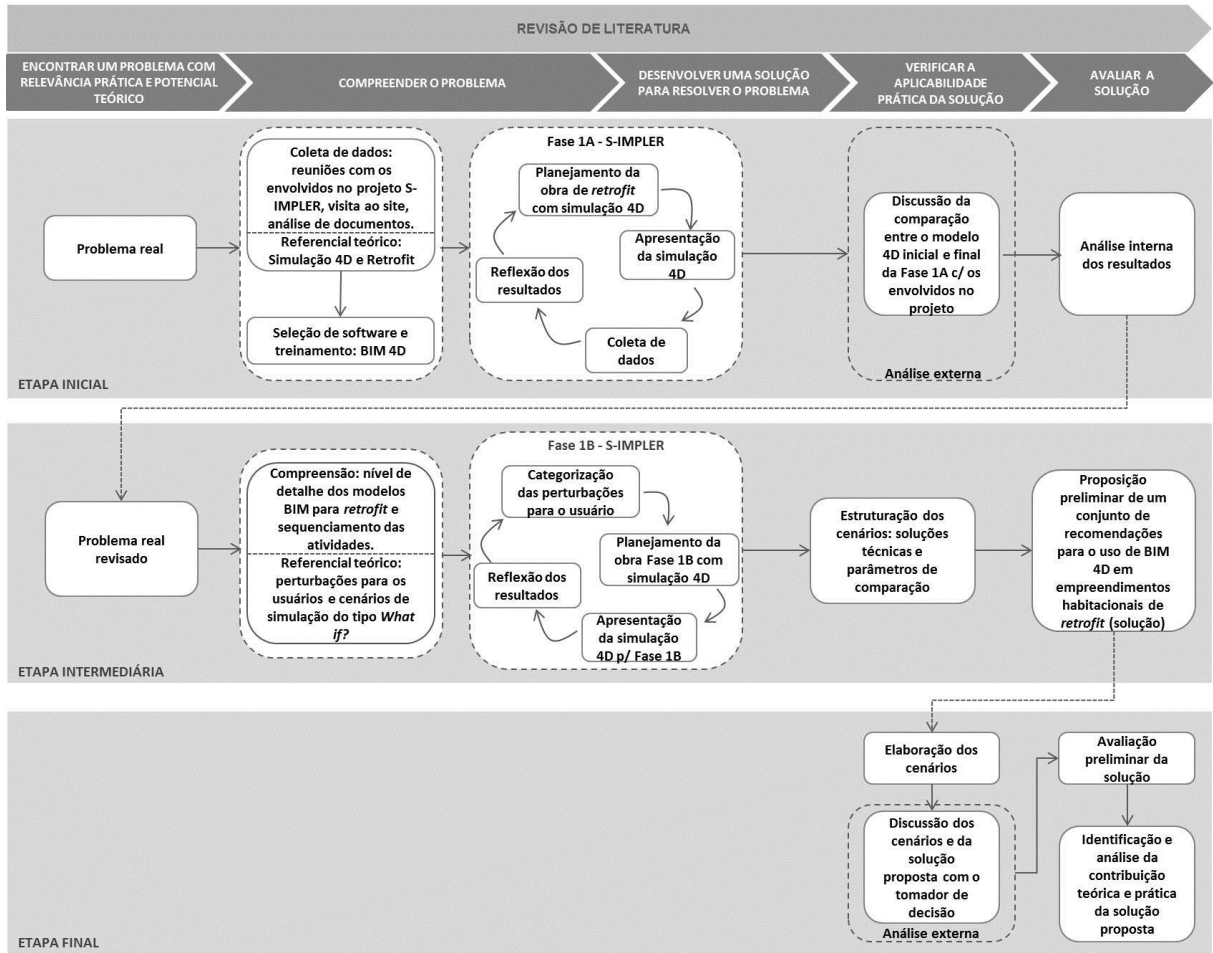


Figura 2: Delineamento da pesquisa.

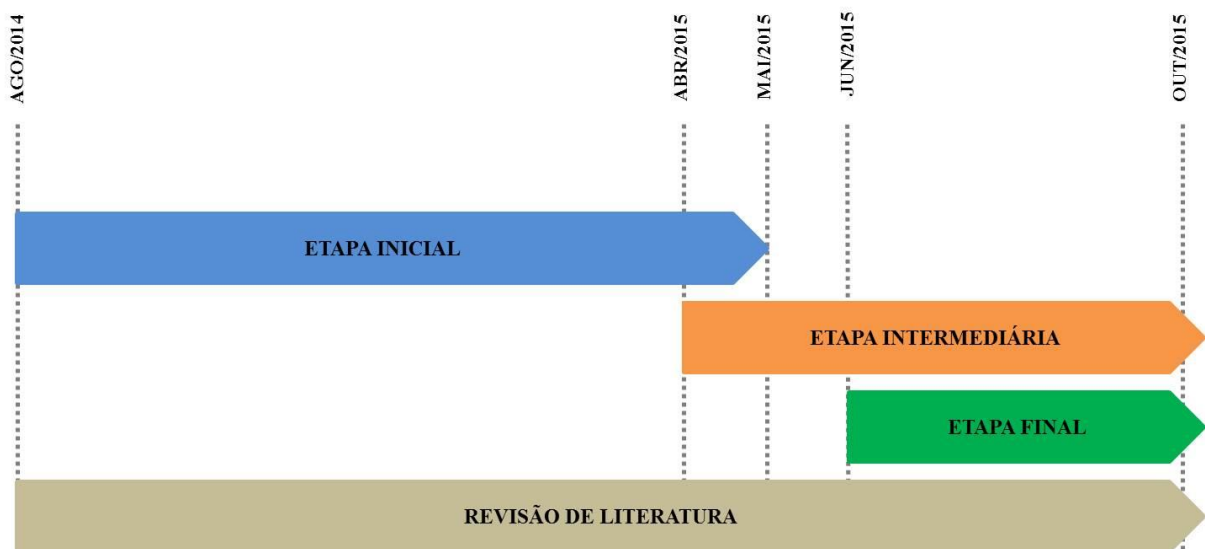


Figura 3: Cronologia das Etapas do Método de Pesquisa.

A Revisão de Literatura permeou todas as etapas de desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, a revisão compreendeu aspectos de simulação 4D e *retrofit*. Esta fase da revisão



bibliográfica auxiliou diretamente no processo de compreensão do problema inicial estudado nesta pesquisa, e na definição do problema de pesquisa. Num segundo momento, a revisão de literatura foi ampliada de forma a se buscar um entendimento sobre o conceito e tipos de perturbações para os usuários finais, assim como o processo de tomada de decisão com base em cenários do tipo *what-if*.

A **Etapa Inicial** teve início com um estudo relacionado ao **projeto S-IMPLER**, a qual focou na exploração do uso de BIM 4D para apoiar o processo de planejamento do processo de *retrofit* através da modelagem e simulação. Esta fase da Etapa Inicial teve duração de 9 meses, ocorrendo entre agosto de 2014 e maio de 2015, incluindo o desenvolvimento da primeira fase do projeto S-IMPLER (Fase 1A), bem como a um período de 5 meses que antecedeu esta fase. Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades: (a) compreensão do projeto S-IMPLER e da inserção desta pesquisa dentro deste projeto, (b) treinamento, modelagem e simulação em *software* BIM 3D e 4D, e (c) acompanhamento da Fase 1A. As atividades de pesquisa compreenderam entrevistas, coleta de documentos e observações participantes em reuniões de projeto.

A definição do problema de pesquisa foi desenvolvida a partir de consulta a documentos técnicos do projeto S-IMPLER. Em seguida, iniciou-se a compreensão profunda do problema encontrado, através de atividades de coleta de dados: entrevistas com os principais envolvidos no projeto S-IMPLER, visitas ao canteiro de obras e a revisão de documentos técnicos e comerciais. Também buscou-se entender o referencial teórico, a partir da revisão de trabalhos já existentes sobre o tema de simulação 4D e de gestão de obras de *retrofit*. Ao analisar as informações, constatou-se que as perturbações sofridas pelos usuários finais, durante a execução dos trabalhos em obras de *retrofit*, era contemplada de forma limitada no processo decisório do planejamento da obra. Adicionalmente, foi realizada a seleção e treinamento do *software* utilizado para a modelagem 4D. Na sequência, houve o acompanhamento das obras da Fase 1A, na qual foram utilizadas múltiplas fontes de evidência: reuniões com os envolvidos no projeto S-IMPLER, visitas à obra e análise de documentos. Ainda na Etapa Inicial, foram apresentados e discutidos os modelos 4D inicial e o 4D final (conforme a execução do *retrofit*) da Fase 1A com os envolvidos no projeto.

A **Etapa Intermediária** se deu inicialmente pela necessidade de se obter uma visão mais ampla do problema. Esta etapa da pesquisa teve duração de 6 meses, ocorrendo entre o início de abril e a metade de outubro de 2015. Ela focou-se principalmente na compreensão da

natureza das perturbações para os usuários finais e como o uso de modelos 4D BIM pode auxiliar para reduzir ou evitar perturbações. Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades: (a) caracterização das perturbações para os usuários finais segundo a literatura, (b) modelagem e simulação 4D para a fase 1B, (c) caracterização das perturbações para os usuários finais segundo os intervenientes no processo de projeto e execução do S-IMPLER, (d) estruturação dos cenários, e (e) aplicação de questionários sobre perturbações, com moradores. A Etapa Intermediária buscou desdobrar uma nova visão da problemática da gestão de obras de *retrofit*, a qual passa a incorporar novos elementos. Desta forma, o problema inicialmente concebido foi revisado, incorporando a perspectiva de novas necessidades identificadas após a conclusão da Fase 1A do projeto S-IMPLER. Na compreensão da problemática revisada, verificou-se ainda que as perturbações no contexto de *retrofit* não estavam precisamente definidas e categorizadas, bem como o processo decisório não estava embasado na construção de cenários tangíveis. A seguir, na fase de desenvolvimento do problema de pesquisa, as principais atividades desenvolvidas foram a definição do nível de detalhamento necessário para a modelagem de empreendimentos de *retrofit* e a organização do plano de execução das atividades. Por sua vez, o período intermediário referido abrangeu a categorização das perturbações para os usuários finais, o planejamento da Fase 1B com simulação 4D, a apresentação da simulação para os envolvidos no projeto e uma nova reflexão sobre os resultados obtidos. Adicionalmente, o conjunto de recomendações (solução do problema), desenvolvido durante as Fases 1A e 1B, foi concluído no final desta etapa. Por fim, uma análise interna foi realizada com o objetivo de preparar o conjunto de recomendações para sua aplicação.

A **Etapa Final** compreendeu a elaboração de cenários, a qual é uma das recomendações finais da solução proposta. Nesta etapa foi avaliada a aplicabilidade da solução, a partir da representação e avaliação dos cenários em conjunto. Esta etapa da pesquisa teve duração de 4 meses, ocorrendo entre junho e outubro de 2015. Vale ressaltar que, no final desta etapa, uma avaliação teórico-prática da solução proposta foi realizada, com base nas fontes de evidência de toda a pesquisa, incluindo a análise final do tomador de decisão. Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades: (a) modelagem e simulação 4D para os cenários, (b) criação dos cenários, (c) análise da solução pelo tomador de decisões, (d) validação preliminar da solução proposta, e (e) avaliação teórico-prática da solução proposta.

## 4.3 FONTES DE EVIDÊNCIA UTILIZADAS NA PESQUISA

Nesta seção são descritas as fontes de evidências utilizadas neste trabalho, baseadas nas principais referências da literatura. Yin (2003) afirma que os melhores estudos baseiam-se em várias fontes de evidência, portanto não se limitando a uma única fonte.

### 4.3.1 Entrevistas

Segundo Yin (2003, p. 89) a entrevista é uma fonte de informação essencial e serve para orientar as conversas, nos estudos de caso. Segundo Richardson (1999, p.207):

“O termo entrevista é construído a partir de duas palavras, **entre** e **vista**. **Vista** refere-se ao ato de ver, ter preocupação com algo. **Entre** indica a relação de lugar ou estado no espaço que separa duas pessoas ou coisas. Portanto, o termo entrevista refere-se ao ato de perceber, realizado entre duas pessoas”.

O tipo de entrevista utilizada foi a semiestruturada que, segundo Gil (1999), acontece quando o entrevistador conduz a entrevista, a partir de um roteiro com perguntas pré-estabelecidas, que considera como principais, mas consegue ir além, elaborando novas perguntas, que não estão no roteiro, durante a entrevista, mas que complementam as respostas das principais.

Neste estudo, esta técnica foi escolhida por apresentar a possibilidade de o entrevistador aprofundar-se nas questões, quando considerasse necessário, através de novas questões. Além disso, julgou-se importante buscar as opiniões dos entrevistados, sem forçá-los a escolher opções específicas. As questões foram preparadas com antecedência a cada entrevista, mas elas não, necessariamente, seguiam a sua ordem original. Para a formulação das questões foram consultados trabalhos anteriores que utilizaram BIM 4D na gestão da construção. Adicionalmente, as entrevistas foram gravadas para consulta futura.

### 4.3.2 Análise de Documentos

Yin (2003) destaca que a análise de documentos em um estudo de caso é necessária a fim de garantir a evidência de outras fontes, como as entrevistas, onde os documentos podem reforçar os resultados das mesmas. Gil (1999) afirma que os documentos são capazes de fornecer um conhecimento mais objetivo da realidade a ser investigada e constituem-se numa fonte inesgotável, podendo ser consultados por diversas vezes, como também podem ser reelaborados, de acordo com os objetivos da pesquisa. Esta técnica de coleta de dados foi utilizada para obter os principais documentos relevantes à pesquisa. A maioria dos

documentos consultados estavam disponíveis em pastas compartilhadas entre os envolvidos, no meio virtual, facilitando a troca de informações entre os mesmos, conseqüentemente a análise destes documentos. Os documentos não disponíveis foram solicitados, e aqueles que não possuíam dados sigilosos das empresas, ou mesmo do S-IMPLER, foram disponibilizados fisicamente ou por correio eletrônico.

### 4.3.3 Observação e Registro fotográfico

Yin (2003, p. 92) fundamenta o instrumento da observação discorrendo que “ao fazer uma visita de campo ao local do estudo, você está criando uma oportunidade de observação direta”. O mesmo autor considera esta fonte de evidência bastante útil por fornecer informações adicionais sobre o objeto investigado (YIN, 2003). Gil (1999, p.100) define este instrumento como “o uso dos sentidos com vistas a adquirir conhecimentos do cotidiano”. Para esta pesquisa as observações ocorreram de duas maneiras durante a coleta de dados:

- (a) **Observação direta** que, segundo Yin (2003) pode ser formal (com a utilização de protocolos, ex. observação em reuniões) ou informal (ex. visita ao local do estudo). Esta técnica foi escolhida por permitir que a pesquisadora fizesse registros fotográficos do andamento da obra da Fase 1A, e averiguasse se as atividades estavam sendo realizadas conforme as simulações 4D desenvolvidas. A observação do andamento das obras ocorreu semanalmente, ao longo da Fase 1A, e após cada visita à obra, as fotografias eram comparadas com a simulação 4D da execução da obra, evidenciando, desta forma, se aquilo que fora executado atendia o plano que fora simulado.
- (b) **Observação participante**, que segundo Yin (2003) permite ao pesquisador não ser apenas um mero observador, mas participar dos eventos investigados. Esta técnica foi escolhida por permitir que a pesquisadora participasse de reuniões de planejamento colaborativo da obra, mesmo sem a intenção de interferir diretamente nas discussões durante as reuniões. As reuniões de planejamento ocorreram semanalmente, durante o período de execução das obras da Fase 1A. O acompanhamento dessas reuniões visava comprovar alguns dados coletados nas entrevistas, como: plano de execução das atividades, equipes envolvidas, restrições aparentes, entre outros. Esta técnica também foi utilizada na participação de reuniões, onde a pesquisadora tinha um papel ativo na discussão, com a apresentação de resultados da pesquisa.

## 4.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS ETAPAS DA PESQUISA

Nesta seção, cada etapa da pesquisa é descrita e suas principais atividades apresentadas. Adicionalmente, os principais resultados de cada etapa são explicitados.

### 4.4.1 Etapa Inicial

#### 4.4.1.1 Projeto S-IMPLER

O projeto S-IMPLER possui diferentes intervenientes: agência de inovação do Reino Unido, empresa de gerenciamento de empreendimentos, empresa construtora, instituições de pesquisa e ensino, provedor de habitação (*housing association*), subempreiteiros, fornecedores, empresa de monitoramento do desempenho real de energia, entre outros. O objeto de estudo do projeto S-IMPLER é um conjunto de unidades habitacionais, as quais se encontram na Irlanda do Norte. Estas unidades habitacionais foram construídas há aproximadamente 50 anos, utilizando paredes do tipo “*no-fines solid wall*”<sup>5</sup>. Existem 300.000 unidades deste tipo em todo o Reino Unido. Este tipo de unidade habitacional apresenta problemas relacionados ao baixo desempenho térmico e energético, trazendo um custo elevado de energia para seus ocupantes: muitos usuários gastam em média 10% dos seus rendimentos em aquecimento da sua habitação (SOMERVILLE *et al.*, 2011). Conseqüentemente, são habitações que necessitam de *retrofit* para atingir um nível aceitável de desempenho térmico e de eficiência energética.

Os principais objetivos do projeto S-IMPLER são: (a) alcançar uma redução de 60% nos custos de energia destas habitações, em comparação aos custos medidos antes da intervenção, (b) realizar as obras de intervenção 10% mais rápido em comparação com as soluções atuais, e (c) causar o mínimo possível de perturbações para os inquilinos, sem causar impacto à qualidade e à segurança. As ações para atingir tais objetivos ainda encontram-se em desenvolvimento. As equipes envolvidas no projeto estão empregando técnicas de melhorias colaborativas e de construção enxuta, as quais integram diversos elementos inovadores em uma única proposta. Estes elementos inovadores estão sendo testados de forma iterativa em 8 unidades habitacionais e foram divididos em: (a) ferramenta para realização de inspeções e levantamento de necessidades (*Virtual Retrofit Manager*), (b) ferramentas de BIM (*Building*

---

<sup>5</sup> Uma parte substancial das habitações existentes do Reino Unido utilizaram como solução técnica de construção, o sistema de paredes externas maciças (sem cavidade), de concreto sem agregados finos, denominadas em inglês de “*no-fines solid wall*”. Este tipo de solução técnica de construção apresenta um conforto térmico precário, necessitando de um consumo de energia altíssimo, para manter o espaço aquecido. Por isso, o maior desafio envolvendo este tipo de habitações é o de como melhorar o desempenho térmico e reduzir as perdas de calor (VADODARIA *et al.*, 2010).

*Information Modeling*), (c) sistema de monitoramento térmico de toda unidade habitacional, e (d) novo sistema de certificação de *retrofit* de habitações de parede maciça, o qual visa a transferir conhecimento e garantir a qualidade. Estas intervenções estão sendo subsidiadas pela *housing association*, através de um programa de financiamento governamental.

O projeto S-IMPLER contempla três tipologias de habitações *no-fines solid walls*: *end-terrace*, *mid-terrace* e *bungalow*, as quais estão ilustradas na **Figura 4** e descritas abaixo:

a) *end-terrace*: é a primeira ou a última casa de um grupo de casas denominadas “terraços”<sup>6</sup>. Possuem 3 ou 4 dormitórios, distribuídos em dois pavimentos. O *layout*<sup>7</sup> dos ambientes é composto por cozinha, lavabo e sala de estar no pavimento térreo. O pavimento superior abrange os dormitórios e um banheiro, além de uma pequena sala onde fica o aparelho de aquecimento central de água. Possuem, ainda, uma extensão nos fundos, anexo à porta de saída para o quintal, dividido em duas partes: *hall* de entrada dos fundos e um pequeno depósito.

b) *mid-terrace*: é a tipologia posicionadas no meio do grupo das casas “terraços”. Da mesma forma que a *end-terrace*, possuem 3 ou 4 dormitórios, distribuídos em dois pavimentos. O *layout* é o mesmo da *end-terrace*.

c) *bungalow*: é a tipologia da casa térrea, composta por 1 dormitório, sala, cozinha e banheiro. Não possui a extensão nos fundos, porém possui um depósito “embutido” na fachada com acesso frontal.

---

<sup>6</sup> O termo terraço remete às ruas de casas com fachadas e alturas uniformes em um mesmo alinhamento.

<sup>7</sup> O *layout* desta tipologia pode ser variado, porém no S-IMPLER há somente dois tipos.



Figura 4: Tipologias contempladas pelo projeto S-IMPLER.

O empreendimento estudado no projeto S-IMPLER possui uma sequência de execução das obras de *retrofit*, que inicia com a Fase 1A (habitação 6), e termina com a Fase 4 (habitação 48) conforme representado na **Figura 5**. Ao final de cada fase é realizado um ciclo de aprendizado, no qual são apresentados e discutidos os resultados atingidos. O aprendizado do ciclo é utilizado para identificar problemas e soluções que podem ser aplicadas na fase seguinte.

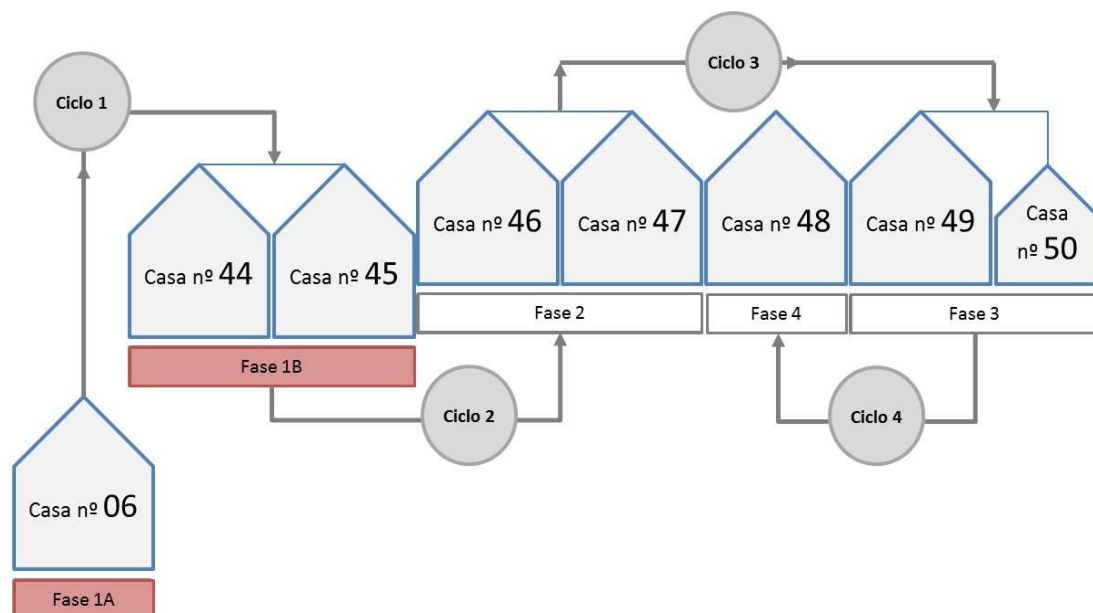


Figura 5: Sequência de execução do *retrofit* (Fonte: adaptado do documento de proposta do projeto S-IMPLER).

Segundo Vadodaria *et al.*, (2010, pag. 6) “a aplicação de isolamento interno reduz o volume útil dos espaços e sua instalação normalmente provoca perturbação para os ocupantes da habitação, o que levanta sérias questões de recurso e aceitabilidade dos usuários”. O projeto S-IMPLER baseia-se nesta premissa, uma vez que considera a execução das atividades de isolamento térmico executadas nas paredes externas e não nas internas, como fator determinante de minimização de perturbação para os usuários.

A Universidade de Huddersfield, na Grã-Bretanha, é um dos parceiros do S-IMPLER e foca na implementação de BIM em *retrofit* de habitações *no-fines solid wall*. A equipe da Universidade de Huddersfield é diretamente responsável pelo desenvolvimento de um protocolo BIM para *Retrofit*. Este protocolo apoia a criação de cenários do tipo *what-if* para empreendimentos habitacionais de *retrofit*, os quais proporcionam melhorias para eficiência energética e desempenho térmico, buscando a redução de custos e minimização das perturbações para os usuários. Portanto, a presente pesquisa concentrou-se em uma parte específica do protocolo BIM para *Retrofit*, a qual está focada na utilização de BIM 4D e na geração de cenários do tipo *what-if* para minimizar as perturbações causadas aos usuários, durante a execução das obras do *retrofit* do projeto S-IMPLER.

A **Figura 6** apresenta as fontes de evidência utilizadas nesta etapa do trabalho, que inclui: observação direta por meio de visitas à obra e registros fotográficos, observação participante em reuniões de planejamento da construção e reuniões de discussão dos resultados, entrevistas semiestruturadas com alguns dos envolvidos no *retrofit* do empreendimento, e análise de documentos. Com exceção das reuniões de apresentação do projeto S-IMPLER e de planejamento colaborativo, realizadas em janeiro, as demais reuniões de planejamento aconteceram durante a Fase 1A, e não possuíam um protocolo para conduzir a reunião. Também não havia uma pessoa que ficasse responsável por fazer as anotações e formalizar uma ata da reunião. A análise de documentos ocorreu através de consulta aos documentos do projeto S-IMPLER, além de guias e manuais disponíveis pelos fornecedores. Os documentos foram consultados em diversas ocasiões, durante a pesquisa.



Item	Data	Participante	Assunto	Fonte de Evidência
01	12/11/2014	Assistente de pesquisa do projeto	Modelagem 3D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 1)
02	12/11/2014	Ocupantes das casas 45 e 47	Processo de <i>retrofit</i>	Entrevista semiestruturada
03	07/01/2015	Todos os envolvidos no projeto de pesquisa S-IMPLER	Compreensão do Projeto S-IMPLER	Observação participante - reunião de apresentação do projeto S-IMPLER
04	07/01/2015	Todos os envolvidos no projeto de pesquisa S-IMPLER	Processo de <i>retrofit</i>	Observação direta - visita ao local da obra (visita 2)
05	08/01/2015	Todos os envolvidos no projeto de pesquisa S-IMPLER	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Observação participante - reunião de planejamento colaborativo
06	08/01/2015	Fornecedores de materiais e Gerente da obra	Modelagem 3D e 4D	Análise de documentos – consulta aos manuais de execução
07	03/02/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 3)
08	03/02/2015	Representante do cliente	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
09	03/02/2015	Gerente da obra	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
10	11/02/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 4)
11	11/02/2015	Envolvidos na execução do projeto	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante – reunião de planejamento colaborativo
12	20/02/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 5)
13	20/02/2015	Gerente da obra	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
14	20/02/2015	Envolvidos na execução do projeto	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante - reunião de planejamento colaborativo
15	20/02/2015	Mestre da obra	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
16	04/03/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 6)
17	04/03/2015	Gerente da obra	Processo de <i>retrofit</i> e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
18	04/03/2015	Envolvidos na execução do projeto	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante - reunião de planejamento colaborativo
19	18/03/2015	Gerente da obra	Planejamento da obra e modelagem 4D	Registro fotográfico do andamento da obra

Figura 6: Fontes de evidências da Etapa Inicial.

20	25/03/2015	Gerente da obra	Planejamento da obra e modelagem 4D	Registro fotográfico do andamento da obra
21	01/04/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 7)
22	01/04/2015	Envolvidos na execução do projeto	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante - reunião de planejamento colaborativo
23	08/04/2015	Gerente da obra	Planejamento da obra e modelagem 4D	Registro fotográfico do andamento da obra
24	28/04/2015	Envolvidos no projeto e execução do projeto	Processo de <i>retrofit</i>	Observação participante - reunião de apresentação resultados da Fase 1A
25	06/05/2015	-	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação direta - visita ao local da obra (visita 8)
26	06/05/2015	Envolvidos no projeto e execução do projeto	Processo de <i>retrofit</i>	Observação participante - reunião de apresentação dos resultados da Fase 1A

Figura 6: Fontes de evidências da Etapa Inicial (continuação)

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com os seguintes intervenientes:

- (a) Representante do cliente: é formado em engenharia e gerenciamento da construção, atuando como contato entre a *housing association* (principal cliente) e a equipe técnica. Possui experiência em manutenção de habitação de interesse social, além de *retrofit* com a execução de isolamento externo. Esta *housing association* foi criada em 1971 e atua como autoridade habitacional estratégica da Irlanda do Norte, gerenciando cerca de 90 mil moradias. Destas, 5,3 mil moradias são do tipo *no-fines solid wall* e mais 6 mil são de outras variações de *solid wall*. O cliente já havia participado de outros empreendimentos de *retrofit*, antes do S-IMPLER, porém com escopos diferentes.
- (b) Gerente da obra: especialista em instalação e inspeção de aquecimento, de isolamento, de energias renováveis e térmica. Trabalha na área de serviços energéticos, na empresa C. Já trabalhou com *retrofit* em propriedades privadas. A empresa C, por sua vez, atua no segmento de serviços de suporte e serviços de construção desde 1990. Já havia atuado em empreendimentos de *retrofit* antes do S-IMPLER.
- (c) Mestre da obra: tem experiência na área da construção há 37 anos. No S-IMPLER é responsável pela supervisão e fiscalização das obras de construção. Já havia trabalhado em obras de *retrofit* para a *housing association*, cliente do S-IMPLER.

#### 4.4.1.2 Uso de BIM no projeto S-IMPLER

Uma reunião inicial com a equipe da Universidade de Huddersfield foi realizada em agosto de 2014. Tal reunião visou a obter informações iniciais a respeito do projeto como um todo. Após esta reunião, documentos relacionados ao S-IMPLER foram examinados: proposta do projeto contendo todos os envolvidos e suas respectivas participações, artigos sobre o desempenho das habitações de paredes sólidas de concreto sem agregados finos, relatórios com imagens das unidades habitacionais envolvidas no projeto e seus problemas, entre outros.

A partir da compreensão geral do projeto, foi desenvolvido em parceria com a equipe da Universidade de Huddersfield uma primeira versão do protocolo BIM<sup>8</sup>. Como já mencionado, este protocolo apresenta etapas para o uso de BIM em *retrofit* de habitações *no-fines wall*. A etapa inicial abrange, resumidamente, coleta de informações sobre as habitações existentes, identificação das condições de desempenho das habitações existentes, modelagem BIM 3D da tipologia habitacional existente, e verificação da qualidade do modelo BIM. A etapa subsequente foca no desenvolvimento de modelos com informações específicas para as finalidades de desempenho termo energético, análise de custo e análise das perturbações para os usuários, elaboração de múltiplos cenários do tipo *what-if*, para cada uma das três finalidades, e, desenvolvimento de uma matriz, que engloba todos os cenários, e escolha do melhor cenário pelo cliente. A etapa final tem como propósito aplicar o cenário escolhido pelo cliente de forma prática, e após sua aplicação, fazer avaliações e comparações com as condições existentes iniciais das habitações e com as simulações (cenários), obtendo-se o cenário mais próximo do ideal. Portanto, o estudo deste trabalho faz parte da segunda etapa, relacionado à finalidade específica de minimização das perturbações para os usuários.

#### 4.4.1.3 Seleção e Treinamento de *Software*

Para atender o protocolo são necessários *software* de modelagem BIM 3D e 4D, além de *software* de simulação de eficiência energética BIM. A seleção do *software* 3D foi realizada pela equipe da Universidade de Huddersfield, em maio de 2014. Esta seleção foi realizada a partir de uma análise detalhada de diferentes *software* de modelagem BIM 3D, a qual resultou em um relatório apontando o *software* ARCHICAD 17 da empresa GRAPHISOFT® como o selecionado. A seleção deste *software* deveu-se ao fato dele ser uma plataforma intuitiva e graficamente compreensível, com um fluxo de trabalho claro e simples, além da facilidade em

---

<sup>8</sup> O protocolo BIM foi desenvolvido pela professora e líder da equipe da Universidade de Huddersfield (Patrícia Tzortopoulos), auxiliar de pesquisa na época (Julie Comlay) e pela pesquisadora desta dissertação.

exportar em IFC. Além disso, este *software* pode ser integrado à ferramenta para análise de energia, chamada *Ecodesigner*<sup>9</sup>, e desta forma há um aumento de produtividade e fluxo de trabalho. Já o *software* para desenvolver modelos e simulações 4D foi adquirido em novembro de 2014 sem base em um processo de seleção específico. A aquisição do *software* SYNCHRO PRO® para modelagem e simulação 4D foi efetivada com base em dois fatores: experiência da sua aplicabilidade desenvolvida em estudos anteriores (BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BORTOLINI, 2015) e facilidade em adquirir licenças educacionais gratuitas. Biotto (2012) aponta a vantagem do *software* SYNCHRO PRO® na facilidade de atualização dos arquivos e na geração de animações e vídeos 4D. Segundo Reck (2013), o SYNCHRO® permite sincronização de vários arquivos 3D e a inserção de elementos de recursos através do modelo de arquivo IFC. Bortolini (2015) destaca, além da rapidez em vincular os elementos 3D à programação das atividades, a possibilidade de aumentar o nível de detalhe do elemento 3D, adicionando a ele outros elementos, bem como, dividir os elementos existentes em partes.

Após a aquisição dos pacotes computacionais selecionados, realizou-se treinamento para ambos. Estes treinamentos foram desenvolvidos por meio de tutoriais digitais e vídeos *online* obtidos na página da internet dos respectivos pacotes. Devido ao curto prazo entre o treinamento e início das obras, a tipologia da habitação nº 6 - uma das habitações parte do conjunto em estudo do S-IMPLER - foi utilizada como exercício prático de modelagem.

#### 4.4.1.4 Fase 1A do Projeto S-IMPLER

Inicialmente, antes de focar a investigação na Fase 1A, como atividade de pesquisa do projeto S-IMPLER, foi realizada uma primeira visita ao local (visita 1) onde se encontravam as unidades habitacionais envolvidas no projeto S-IMPLER. Esta visita teve como propósito obter informações sobre as unidades habitacionais, através de medições das unidades 6 e 48, as quais se encontravam desocupadas naquele momento, além de observações com relação aos detalhes construtivos e elementos necessários para a modelagem 3D, das tipologias *end-terrace*, *mid-terrace* e *bungalow*.

Além das informações adquiridas na visita 1, a modelagem 3D foi realizada a partir de arquivos \*.dwg de plantas *as built*, produzidas em AutoCad 2D e documentos sobre habitações *no-fines solid walls*. Após esta visita, foram desenvolvidos três modelos 3D padrão, MOD\_3D\_1\_G\_1, MOD\_3D\_1\_G\_2 e MOD\_3D\_1\_G\_3, um para cada tipologia

---

<sup>9</sup> O propósito do relatório não era somente selecionar um *software* BIM 3D, mas também, um *software* para simulação de eficiência de energia.

contemplada no projeto e representados na **Figura 7**. Estes modelos foram gerados para posterior uso dentro do projeto S-IMPLER.

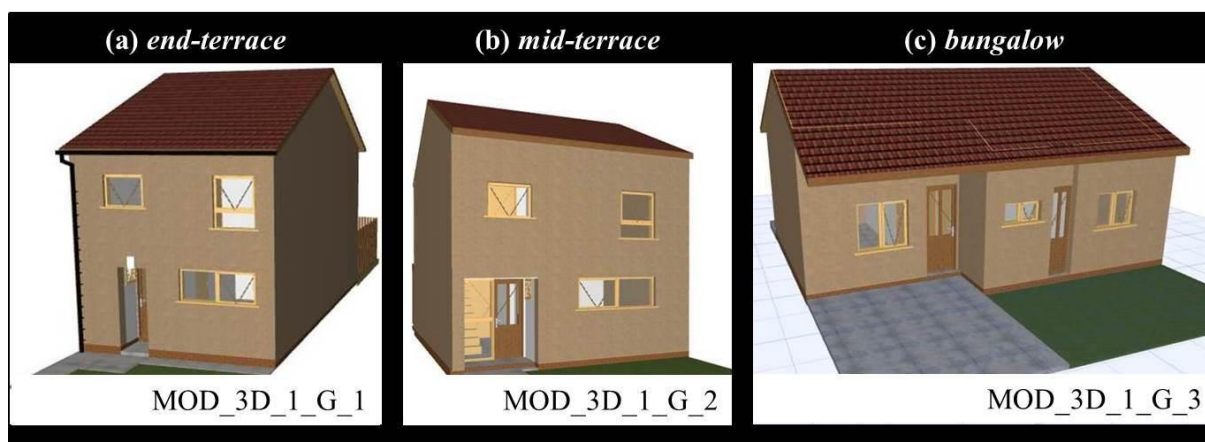


Figura 7: Modelos 3D das tipologias contempladas no projeto S-IMPLER.

Todos os modelos 3D e 4D desenvolvidos neste trabalho receberam uma nomenclatura específica para auxiliar em sua rastreabilidade, conforme apresentado na **Figura 8**.

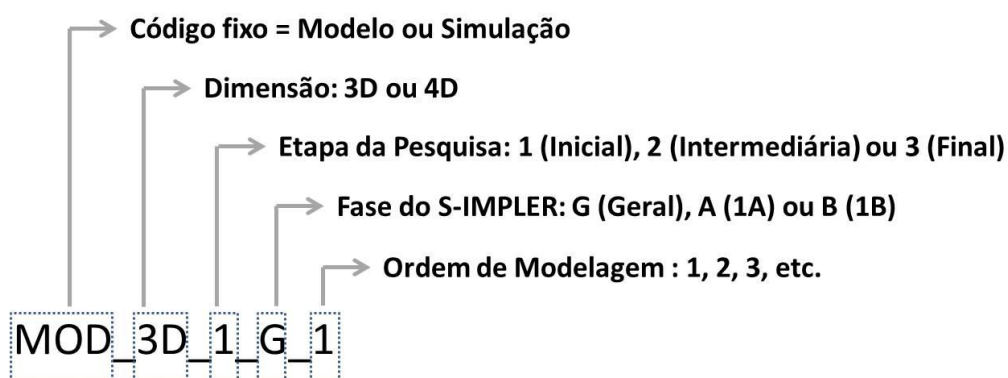


Figura 8: Estrutura de nomenclatura para os modelos 3D e 4D desenvolvidos no trabalho.

O estudo na Fase 1A do S-IMPLER iniciou com a participação da pesquisadora em uma reunião, da qual também participaram os principais envolvidos no projeto S-IMPLER. Esta reunião foi realizada em janeiro de 2015 com foco na integração dos envolvidos, discussão sobre técnicas e materiais utilizados para o isolamento térmico das aberturas, bem como, no planejamento colaborativo das fases iniciais do S-IMPLER. O produto desenvolvido nesta reunião foi o primeiro plano de execução das atividades para as Fases 1A e 1B, o qual abrangeu atividades de todos os envolvidos, porém em um nível não muito detalhado. Tal plano compreendeu, além das atividades da equipe de execução dos trabalhos, as atividades da equipe de projeto, equipe de fornecedores de materiais (aberturas e isolamento térmico

para as paredes externas) e equipes de pesquisa (universidades de Huddersfield e de Leeds), conforme ilustrado na **Figura 9**. Cada cor de marcador representava uma equipe do projeto S-IMPLER.

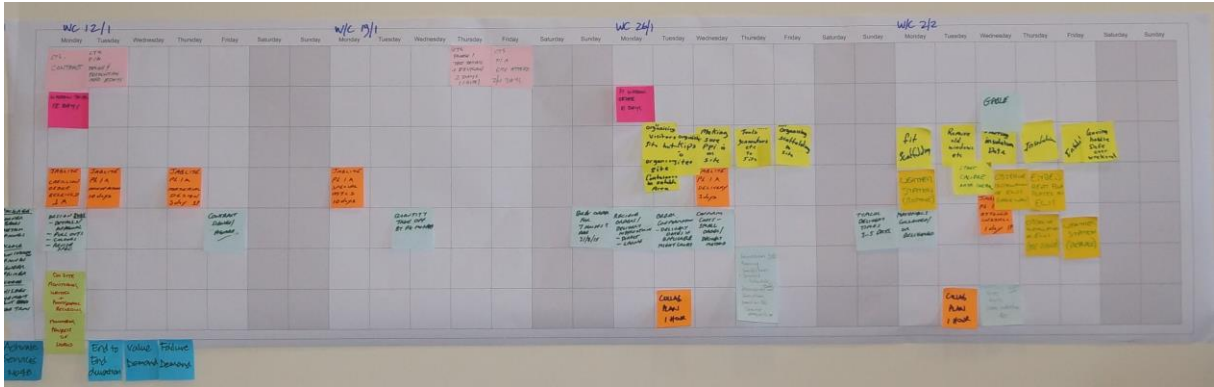


Figura 9: Extrato do primeiro plano de execução das atividades para as Fases 1A e 1B.

Além da participação na reunião de planejamento colaborativo, a pesquisadora acompanhou uma visita (Visita 2) ao local dos trabalhos, junto com o representante do cliente, arquiteto, equipe de execução e fornecedores de materiais. Nesta visita foram discutidas técnicas e materiais utilizados para o isolamento térmico das aberturas.

A Fase 1A foi programada para iniciar no final de janeiro de 2015, incluindo as atividades de *setup* como levantamentos e medições, solicitações de materiais, preparação do canteiro e montagem de equipamentos, tais como andaimes e caçambas para entulhos. As obras desta fase estavam planejadas para durarem 4 semanas, porém tiveram duração de 10 semanas. Esta fase foi considerada como um protótipo no contexto do projeto S-IMPLER. A habitação que foi reformada (nº 6) é do tipo *end-terrace*, com quatro dormitórios. Esta habitação encontrava-se desocupada e sem moradores antes e durante a execução dos trabalhos de *retrofit*.

Para a Fase 1A (habitação nº 6) houve apenas um único modelo 3D, que foi atualizado durante o estudo, recebendo diferentes nomenclaturas, conforme suas atualizações. A **Figura 10** mostra a relação de todos os modelos 3D desenvolvidos na Etapa Inicial, bem como suas respectivas descrições e nomenclaturas.

MODELO 3D			
Etapa	Fase S-IMPLER	Descrição do Modelo	Nomenclatura
Inicial (1)	Geral (G)	Modelo padrão da tipologia ( <i>end-terrace</i> )	MOD_3D_1_G_1
Inicial (1)	Geral (G)	Modelo padrão da tipologia ( <i>mid-terrace</i> )	MOD_3D_1_G_2
Inicial (1)	Geral (G)	Modelo padrão da tipologia ( <i>bungalow</i> )	MOD_3D_1_G_3
Inicial (1)	1A (A)	Modelo casa 6 pré- <i>retrofit</i>	MOD_3D_1_A_1
Inicial (1)	1A (A)	Modelo casa 6 com elementos de <i>retrofit</i> - SIMPLER	MOD_3D_1_A_2
Inicial (1)	1A (A)	Modelo casa 6 com elementos de <i>retrofit</i> – SIMPLER, atualizado com a nova edícula	MOD_3D_1_A_3
Inicial (1)	1A (A)	Modelo casa 6 com elementos de <i>retrofit</i> – SIMPLER, atualizado para final execução	MOD_3D_1_A_4

Figura 10: Modelos 3D desenvolvidos na Etapa Inicial.

Após a modelagem inicial, elementos do entorno da habitação nº 6, tais como, edificações vizinhas, quintal, pavimentação, espaço de estacionamento, etc., foram adicionados ao modelo MOD\_3D\_1\_G\_1, originando o modelo MOD\_3D\_1\_A\_1. Mais tarde, este modelo foi acrescido dos elementos construtivos de *retrofit* e dos equipamentos utilizados durante as obras, gerando o modelo MOD\_3D\_1\_A\_2. Durante o desenvolvimento da Fase 1A houve alterações no escopo do *retrofit*, e a extensão da habitação (cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos) passou a ser incluída na execução. Com isso, o modelo precisou ser alterado resultando no modelo MOD\_3D\_1\_A\_3. O modelo 3D final passou a ser o MOD\_3D\_1\_A\_4, pois outros elementos foram incorporados, de acordo com as atividades executadas.

Na Etapa Inicial foram desenvolvidas quatro versões de modelos BIM 4D, acompanhando o desenvolvimento da obra, bem como as alterações de escopo de execução, conforme mostra a **Figura 11**. Todos os modelos 4D tiveram como informações de entrada um modelo 3D e um plano de execução das atividades. As diferentes atividades eram organizadas em grupos de tarefas e identificadas por um código de cores no modelo 4D, com o propósito de serem facilmente visualizadas na simulação, com o auxílio da legenda.

MODELO 4D			
Etapa	Fase S-IMPLER	Descrição do Modelo	Nomenclatura
Inicial (1)	1A (A)	Primeira versão do modelo 4D para Fase 1A, apresentado no início da obra (modelo inicial)	MOD_4D_1_A_1
Inicial (1)	1A (A)	Segunda versão do modelo 4D para Fase 1A	MOD_4D_1_A_2
Inicial (1)	1A (A)	Terceira versão do modelo 4D para Fase 1A	MOD_4D_1_A_3
Inicial (1)	1A (A)	Quarta e última versão do modelo 4D para Fase 1A (modelo final)	MOD_4D_1_A_4

Figura 11: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Inicial.

#### 4.4.1.5 Comparação entre os modelos 4D inicial e final

Ao final desta etapa, foi realizada uma reunião com os principais envolvidos no processo de execução do *retrofit* nesta fase, na qual foram apresentados os principais resultados desenvolvidos pela pesquisadora para esta fase. Como atividade de pesquisa, imagens extraídas de simulações em vídeo (\*.avi), e geradas a partir de modelos 4D da Fase 1A foram utilizadas como ponto central da discussão, que tinha como base a comparação entre as simulações 4D inicial e final para a Fase 1A. O foco desta comparação era analisar a utilidade da simulação BIM 4D, com base na percepção dos envolvidos na execução dos trabalhos de *retrofit*, e identificar elementos que pudessem ser melhorados na mesma.

#### 4.4.1.6 Análise dos resultados

Como etapa de reflexão interna, os resultados obtidos, até aquele momento, foram avaliados. Desta forma, um conjunto de questões foi proposto para guiar o processo de aprendizado:

- Q1 - A simulação 4D ajuda a prever problemas e restrições na execução das obras de *retrofit*?
- Q2 - Quais são as dificuldades na utilização de simulação 4D em obras de *retrofit*?
- Q3 - Como os resultados da utilização de simulação 4D Fase 1A podem auxiliar na identificação de perturbações causadas aos usuários finais durante as obras?

As respostas para as perguntas acima levaram à conclusão de que era necessário uma lista pré-definida de fatores causadores de perturbações para identificar qualquer tipo de perturbação através dos modelos 4D. Assim, a análise dos resultados obtidos com o desenvolvimento da Fase 1A, permitiu uma melhor compreensão do problema real e a revisão do mesmo. Nesta



etapa, o foco estava em utilizar a simulação 4D para criar diferentes cenários para executar uma mesma obra, na qual o fator tempo poderia direcionar a tomada de decisão na etapa de execução. Ao mudar o foco para a utilização de simulação 4D em cenários que consideravam outras soluções técnicas de isolamento de paredes externas, a decisão passa a ser tomada também no processo de projeto.

#### 4.4.2 Etapa Intermediária

O problema real revisado na etapa anterior passou a ser a informação de entrada para prosseguir com o projeto de pesquisa. Na sequência, definiu-se e categorizou-se os tipos de perturbação para os usuários finais, os quais foram atualizados, ao final desta etapa, considerando a aplicação de um questionário com os moradores de propriedades da mesma *housing association* do S-IMPLER. A utilização do questionário permitiu confirmar as categorias de perturbação do modelo proposto, levando-se em conta uma amostragem reduzida de respostas. Adicionalmente, durante esta etapa, foram desenvolvidos modelos 3D e 4D referentes à Fase 1B do projeto S-IMPLER. Além disso, buscou-se informações adicionais para elaborar os cenários, os quais finalizam a base para estruturação do conjunto de recomendações proposto. A **Figura 12** apresenta as fontes de evidência utilizadas nesta etapa do trabalho, que inclui: observação participante em reunião de planejamento da construção e reuniões de discussão dos resultados, entrevistas com os participantes do empreendimento, análise de documentos do processo licitatório do S-IMPLER e questionário com os usuários finais. As reuniões, nas quais foram apresentadas as perturbações baseadas na literatura e a simulação 4D para a Fase 1B, por fazerem parte do ciclo de aprendizagem do projeto S-IMPLER, possuíam uma pauta determinada e eram comandadas pela equipe de *Lean*. As entrevistas foram realizadas por meio eletrônico.

Item	Data	Participante	Assunto	Fonte de Evidência
01	Abril/2015	-	Perturbações para os usuários	Publicações (Literatura)
02	19/04/2015	Pesquisador <i>Lean</i>	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante – formulação de plano da Fase 1B
03	28/04/2015	Rep. cliente, gerente do projeto, gerente da obra, mestre da obra, arquiteto, fornecedores	Perturbações para os usuários	Observação participante - reunião e apresentação das perturbações baseado na literatura
04	06/05/2015	Rep. cliente, gerente da obra, mestre da obra, arquiteto, fornecedores	Planejamento da obra e modelagem 4D	Observação participante - reunião de apresentação da simulação da Fase 1B
05	16/06/2015	Rep. cliente, gerente da obra, mestre da obra, arquiteto, fornecedores	Perturbações para os usuários	Entrevista estruturada
06	Julho/2015	-	Estruturação dos Cenários	Análise de documentos – Licitação do S-IMPLER
07	28/08/2015	Gerente da obra	Planejamento da obra e modelagem 4D	Entrevista semiestruturada
08	15/10/2015	Pesquisador <i>Lean</i> e Moradores	Perturbações para os usuários	Aplicação de Questionário

Figura 12: Fontes de evidências da Etapa Intermediária.

#### 4.4.2.1 Caracterização de Perturbações para os Usuários Finais

A partir da revisão do problema, surgiu a necessidade de criar um conjunto de categorias para as perturbações e, posteriormente, tentar classificá-las quanto ao tempo e intensidade. Foi realizado uma busca na literatura sobre estudos empíricos em *retrofit* e, após, foram propostos categorias e fatores para estas perturbações, as quais foram confirmadas de duas formas: sob o ponto de vista dos envolvidos no projeto S-IMPLER e sob o ponto de vista dos usuários finais. Os envolvidos no projeto S-IMPLER consultados foram o gerente de projeto, o representante do cliente, o gerente da obra, o mestre da obra, o arquiteto e os fornecedores de materiais para isolamento das paredes externas. Os envolvidos foram questionados quanto às perturbações da seguinte forma:

- a) Com base na lista de caracterização das perturbações e na sua opinião, quais você considera como fontes-chave de perturbações, em obras de *retrofit*?
- b) Você poderia apontar outros fatores?

Tanto as questões quanto a lista de perturbações foram enviadas por correio eletrônico aos envolvidos. As questões buscaram esclarecer quais as categorias encontradas na literatura eram ou não percebidas pelos envolvidos como uma perturbação, e que outras perturbações eles consideravam, mas não eram encontradas na lista sugerida. Somente o representante do cliente, o gerente de projetos e dois fornecedores de materiais para isolamento das paredes externas responderam a estas questões.

A percepção dos usuários finais foi obtida através da aplicação de um questionário. O questionário foi aplicado aos moradores de habitações *no-fines wall*, as quais são residências de propriedade da *Housing Association*, cliente no projeto S-IMPLER, e vizinhas às propriedades investigadas no projeto. Primeiramente, este questionário apresentou um conjunto sucinto de questões sobre o perfil do usuário/família (tipologia da edificação em que mora, nº de moradores nesta edificação, quantos adultos trabalham, e quantas crianças estão na escola). Logo após, formulou-se um conjunto de questões sobre as perturbações que uma obra de *retrofit* pode provocar (quais os trabalhos executados durante o *retrofit*, se foi percebida alguma perturbação durante as obras, e quais foram identificadas). Além disso, para cada fator causador da perturbação retirado da literatura foi apresentado um gráfico, para que o morador classificasse tal perturbação quanto ao seu grau de intensidade e de tempo de duração. A **Figura 13** mostra as opções de respostas quanto ao gráfico elaborado. O questionário completo encontra-se no Apêndice A.

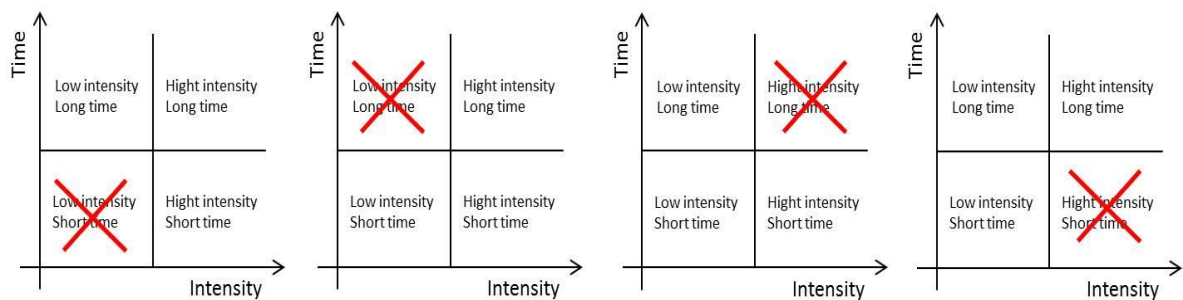


Figura 13: Opções de respostas ao gráfico criado para medir as determinadas perturbações que afetam o usuário final.

Este questionário teve como objetivo verificar a possibilidade de medir perturbação, através das respostas sobre os gráficos de intensidade x tempo. Foram abordadas 82 residências, porém muitas estavam desocupadas e em outras os moradores não estão dispostos a responder ao questionário. Desta forma, apenas 5 questionários foram respondidos.

#### 4.4.2.2 Fase 1B do Projeto S-IMPLER

A Fase 1B estava programada para iniciar em junho de 2015, mas devido a diversas razões, teve seu cronograma alterado algumas vezes. Até o momento do encerramento deste trabalho esta fase não havia sido iniciada. A execução desta fase foi estimada para 4 semanas, sendo objetos de análise desta fase as habitações de número 44 e 45. Estas são habitações geminadas do tipo *end-terrace e mid-terrace*, respectivamente, ambas com 3 dormitórios e ocupadas por seus moradores. Para a Fase 1B foram desenvolvidos apenas dois modelos 3D, os quais estão descritos na **Figura 14**.

MODELO 3D			
Etapa	Fase S-IMPLER	Descrição do Modelo	Nomenclatura
Intermediária (2)	1B (B)	Modelo bloco de casas 44-50 pré- <i>retrofit</i>	MOD_3D_2_B_1
Intermediária (2)	1B (B)	Modelo bloco de casas 44-50 com elementos de <i>retrofit</i> – SIMPLER	MOD_3D_2_B_2

Figura 14: Modelos 3D desenvolvidos na Etapa Intermediária.

O modelo MOD\_3D\_2\_B\_1 foi composto, além das habitações foco desta fase (44 e 45), pelas habitações restantes que compõem um único bloco de unidades (46, 47, 48, 49 e 50), do qual estas fazem parte. O mesmo modelo ainda foi composto por pavimentação externa e seus respectivos pátios externos. O modelo MOD\_3D\_2\_B\_2 era similar ao anterior, porém com os elementos que fizeram parte do *retrofit* adicionados, os mesmos utilizados no modelo final da Fase 1A, porém ajustados às habitações da Fase 1B. A partir do modelo MOD\_3D\_2\_B\_2 desenvolvido nesta etapa, foram gerados dois modelos BIM 4D, conforme mostra a **Figura 15**.

MODELO 4D			
Etapa	Fase S-IMPLER	Descrição do Modelo	Nomenclatura
Intermediária (2)	1B (B)	Primeira versão do modelo 4D para Fase 1B, apresentado no final da Fase 1A	MOD_4D_2_B_1
Intermediária (2)	1B (B)	Segunda versão do modelo 4D para Fase 1B, apresentado antes de iniciar as obras	MOD_4D_2_B_2

Figura 15: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Intermediária.

Assim como na Etapa Inicial, todos os modelos 4D tiveram como informações de entrada um modelo 3D e um plano de execução das atividades. E, da mesma forma, as diferentes atividades foram organizadas em grupos de tarefas e identificadas por um código de cores no modelo 4D, através de uma legenda. Esta organização teve o propósito de facilitar a

visualização do progresso do desenvolvimento de tais atividades ao longo do tempo na simulação. A diferença é que nesta nova fase, foram realizados ajustes na legenda e no desenvolvimento da simulação, para deixar a visualização ainda mais clara.

Para o desenvolvimento do modelo MOD\_4D\_2\_B\_1, o plano de execução das atividades utilizado como informação de entrada foi desenvolvida, a partir de um plano elaborado em conjunto com outro pesquisador do projeto<sup>10</sup>, já que a equipe de execução não disponibilizava de um plano de execução das atividades completo. A simulação resultante deste modelo 4D foi apresentada para os envolvidos na execução das obras, no final da Fase 1A, supondo que a Fase 1B iniciasse em junho de 2015.

O modelo MOD\_4D\_2\_B\_2 foi desenvolvido através de diferentes informações. Tais informações foram derivadas de entrevistas e reuniões com participantes do projeto S-IMPLER, sendo eles o representante do cliente, gerente do projeto, gerente da obra, mestre da obra, arquiteto e fornecedores. Adicionalmente, o resultado do modelo 4D final da Fase 1A, as percepções quanto às possíveis perturbações que poderiam ocorrer nesta fase e um novo planejamento para a Fase 1B foram considerados. Este novo modelo foi apresentado ao gerente da obra, no final de agosto, com as datas atualizadas para início da obra em 14 de setembro. A apresentação deste modelo foi realizada também por meio eletrônico.

#### 4.4.2.3 Estruturação dos cenários

A partir de uma consulta aos documentos de licitação do projeto S-IMPLER, os cenários puderam ser estruturados, porém não concluídos, pois não havia informações suficientes, naquele momento. Os parâmetros considerados foram: perturbações para os usuários finais, tempo de execução, custo de investimento e economia de energia. Todos estes parâmetros estavam relacionados a tipos de solução técnica de *retrofit* possíveis para serem executados em habitações no contexto do S-IMPLER.

#### 4.4.3 Etapa Final

A Etapa Final iniciou com a investigação, através de catálogos digitais disponíveis pelos fornecedores por meio eletrônico, de possíveis soluções técnicas para a realização do *retrofit* das habitações, considerando a tecnologia construtiva encontrada no projeto S-IMPLER. Após a decisão sobre soluções técnicas a serem utilizadas neste estudo, foram desenvolvidos

---

<sup>10</sup> Sérgio Kemmer – candidato ao título de PhD pela Universidade de Huddersfield, Grã-Bretanha.

modelos 3D e 4D, e logo em seguida simulações 4D, para dois tipos diferentes de soluções técnicas. Na sequência, dados reais obtidos no projeto S-IMPLER foram incorporados para a construção de cenários. Após a criação dos cenários, foi realizado uma entrevista com o representante do cliente, principal tomador de decisão do projeto S-IMPLER, sobre os cenários e o conjunto de recomendações propostos. A **Figura 16** apresenta as fontes de evidência utilizadas nesta etapa do trabalho, que inclui: análise de documentos (catálogos digitais de produtos de isolamento de paredes externas fornecidos por meio eletrônico), análise de documentos da proposta final para licitação do S-IMPLER, e entrevista com o representante do cliente.

Item	Data	Participante	Assunto	Fonte de Evidência
01	Junho, Julho e Agosto/2015	-	Modelagem 4D e Cenários	Análise de documentos - Catálogos digitais
02	Julho/2015	-	Cenários	Análise de documentos – Documentos do processo de Licitação S-IMPLER
03	08/10/2015	Repres. do cliente (tomador de decisão)	Cenários e Conjunto de recomendações (solução)	Entrevista semiestruturada

Figura 16: Fontes de evidências da Etapa Final.

#### 4.4.3.1 Modelagem e simulação 4D para os cenários

Os modelos 3D desta etapa foram originados do modelo 3D MOD\_3D\_2\_B\_1 e desenvolvidos para dois tipos diferentes de soluções técnicas, denominadas S2 e S3, uma vez que um dos cenários fez uso da solução técnica S1 utilizada no projeto S-IMPLER. Para o desenvolvimento dos novos modelos, foram acrescentados elementos de isolamento externo das paredes, para cada uma das soluções técnicas (S2 e S3) ao modelo MOD\_3D\_2\_B\_1. Estes modelos serviram como informação de entrada para os modelos 4D MOD\_4D\_3\_C\_1 e MOD\_4D\_3\_C\_2, os quais representavam, respectivamente, as soluções técnicas S2 e S3. A relação de tais modelos estão representados na **Figura 17**. Os planos de execução das atividades utilizados como informação de entrada para os modelos MOD\_4D\_3\_C\_1 e MOD\_4D\_3\_C\_2 foram baseados nos processos de execução de cada solução técnica, apresentada pelos seus respectivos fornecedores, nos resultados das modelagens 4D das Fases 1A e 1B, além da categorização de perturbações desenvolvida na etapa anterior. Cada modelo 4D gerou uma simulação 4D de mesmo nome do modelo.

MODELO 4D			
Etapa	Fase S-IMPLER	Descrição do Modelo	Nomenclatura
Final (3)	C (Cenários)	Modelo 4D para solução técnica S2	MOD_4D_3_C_1
Final (3)	C (Cenários)	Modelo 4D para solução técnica S3	MOD_4D_3_C_2

Figura 17: Modelos 4D desenvolvidos na Etapa Final.

#### 4.4.3.2 Utilização e análise externa do conjunto de recomendações proposto

A partir das informações obtidas com as simulações 4D e dados provenientes dos documentos da proposta final para licitação do S-IMPLER, os cenários, os quais foram estruturados na fase anterior, puderam ser elaborados. Com base nos cenários e no conjunto de recomendações proposto, uma análise externa foi necessária. Considerando as limitações deste estudo, esta análise teve a participação apenas do representante do cliente do S-IMPLER, o qual tem o papel de principal tomador de decisão no processo de *retrofit*. Foi realizada uma entrevista semiestruturada com o tomador de decisão por meio eletrônico. Duas questões foram criadas para orientar esta análise:

- Q1 - Os cenários apresentados são pertinentes ao contexto do projeto? Sim ou não? Por que?
- Q2 - O conjunto de recomendações proposto auxilia o tomador de decisão na etapa de projeto de *retrofit*? Sim ou não? Por que?

#### 4.4.3.3 Avaliação preliminar do conjunto de recomendações proposto

Ao final desta etapa, o conjunto de recomendações para utilizar BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit* foi avaliado preliminarmente. Este conjunto de recomendações abrange 13 passos dispostos em sequência, compreendidos em duas fases: desenvolvimento de cenários e tomada de decisão. Cada etapa de pesquisa foi importante na elaboração deste conjunto de recomendações.

#### 4.4.3.4 Avaliação teórico-prática do conjunto de recomendações proposto

Segundo Niiniluoto (1985) *apud* Kasanen *et al.*, (1993), a utilidade é o critério mais importante de avaliação dos resultados, levantando questões sobre a relevância, simplicidade e facilidade de operação desses resultados. Assim, uma avaliação teórico-prática do artefato foi realizada para identificar e analisar as contribuições do conjunto de recomendações

proposto ao final da pesquisa. Esta avaliação foi realizada a partir da análise das informações coletadas durante todo o processo de pesquisa, considerando os constructos de utilidade e facilidade de uso (**Figura 18**). Trabalhos anteriores que desenvolveram artefatos relacionados à BIM 4D e simulações foram utilizados como norteadores dos critérios selecionados (SCHRAMM, 2009; BIOTTO, 2012; RECK, 2013; BORTOLINI, 2015).

Ao avaliar o constructo de utilidade do artefato proposto, verificou-se a contribuição do conjunto de recomendações para a gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*, através dos subconstructos de: análise das perturbações a serem causadas aos usuários finais, análise de cenários alternativos para execução de *retrofit* e análise de cenários alternativos para projeto de *retrofit*.

Ao avaliar o constructo de facilidade de uso, foi necessário observar os subconstructos: participação dos envolvidos no processo de modelagem BIM 4D e esforço empregado na modelagem BIM 4D.

Constructo	Subconstructo	Descrição	Fontes de Evidência
<u>Utilidade</u>	Análise das perturbações a serem causadas aos usuários finais	Redução da insatisfação do usuário final, no final da execução das obras de <i>retrofit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Revisão bibliográfica</li> <li>✓ Observação participante</li> <li>✓ Entrevista semiestruturada</li> <li>✓ Questionário</li> <li>✓ Observação direta</li> </ul>
	Apoio à tomada de decisões pela análise de planos alternativos de execução das atividades de <i>retrofit</i>	Maior número de informações derivadas do conjunto de recomendações para apoiar decisões de execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observação participante</li> <li>✓ Registro de número de planos de execução simulados</li> <li>✓ Entrevistas semiestruturadas</li> <li>✓ Percepção da pesquisadora</li> </ul>
	Apoio à tomada de decisões pela análise de cenários <i>what-if</i> na etapa de projeto de <i>retrofit</i>	Maior número de informações derivadas do conjunto de recomendações para apoiar decisões de projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observação participante</li> <li>✓ Registro de número de cenários simulados</li> <li>✓ Entrevistas semiestruturadas</li> <li>✓ Percepção da pesquisadora</li> </ul>
<u>Facilidade de Uso</u>	Participação dos envolvidos no processo de modelagem BIM 4D	Facilidade de entender os modelos BIM 4D e obter as informações desejadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observação participante</li> <li>✓ Entrevistas semiestruturadas</li> </ul>
	Esforço empregado na modelagem 4D	Tempo e informações requeridos para modelagem e simulação 4D	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Observação participante</li> <li>✓ Percepção da pesquisadora</li> </ul>

Figura 18: Avaliação do conjunto de recomendações segundo os constructos de utilidade e facilidade de uso.



## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. As atividades são descritas detalhadamente, bem como os resultados e as contribuições da pesquisa desenvolvida como parte do projeto S-IMPLER. Por fim, é apresentada a estruturação do conjunto de recomendações para o uso de BIM 4D em empreendimentos habitacionais de *retrofit*.

### 5.1 ETAPA INICIAL

Conforme apresentado no capítulo 4, o estudo desenvolvido na etapa inicial teve foco na exploração do uso de BIM 4D, para apoiar o processo de planejamento na Fase 1A do projeto S-IMPLER.

O primeiro modelo 3D desenvolvido para a Fase 1A do S-IMPLER, compreendeu o modelo **MOD\_3D\_1\_G\_1** e elementos geométricos correspondentes ao entorno da habitação nº 6, originando o modelo **MOD\_3D\_1\_A\_1**, ilustrado na **Figura 19**.



Figura 19: Representação do modelo MOD\_3D\_1\_A\_1.

Os elementos do entorno referiam-se às habitações vizinhas e pavimentação, bem como componentes compartilhados pela habitação nº 6 e a habitação adjacente a esta (nº 5, que não consta no escopo das habitações a serem reformadas no S-IMPLER), como cercas divisórias do quintal dos fundos e calhas e tubos de queda pluviais. O LOD utilizado no desenvolvimento destes modelos foi o LOD 300. Os elementos do entorno foram modelados, por terem sido considerados necessários para a modelagem 4D, uma vez que, a habitação nº 6 receberia atividades de *retrofit* internas e externas, e o impacto de tais atividades poderia ser verificado.

O modelo **MOD\_3D\_1\_A\_1** foi, então, utilizado como base para o desenvolvimento do modelo **MOD\_3D\_1\_A\_2**, representado na **Figura 20**. Este modelo foi desenvolvido considerando equipamentos utilizados como apoio aos trabalhos de *retrofit* da Fase 1A, como andaimes, containers para depósito de materiais e caçamba para entulho. Além disso, este modelo também considerou os elementos de *retrofit*: novas janelas e portas externas, isolamento e acabamento para janelas, camada de isolamento para o sótão, laje para piso do hall de entrada, calhas e dutos novos para escoar água do telhado, além das camadas de isolamento térmico para as paredes externas. Estes elementos de *retrofit* eram provenientes da solução técnica<sup>11</sup> vencedora do processo de licitação deliberado pelo S-IMPLER.



Figura 20: Representação do modelo MOD\_3D\_1\_A\_2.

<sup>11</sup> Solução técnica: conjunto de elementos para realizar o *retrofit* de um empreendimento, ou seja, além da técnica de isolamento térmico das paredes externas, outros elementos compõem a solução técnica, como tipos de aberturas, tipo de isolamento térmico do forro do telhado, tipo de sistema de ventilação, etc.

A solução técnica vencedora é composta por três atividades principais: isolamento térmico das paredes externas com placas dinâmicas<sup>12</sup> (camada 1 para placas dinâmicas de isolamento térmico externo, camada 2 para a primeira cobertura de reboco, camada 3 para a malha de fibra de vidro, camada 4 para a segunda cobertura de reboco, camada 5 para primer de preparação da pintura, camada 6 para acabamento em textura acrílica), isolamento térmico do telhado com lã mineral sobre o forro, troca de todas as antigas aberturas externas, fabricadas em madeira e vidro simples, por aberturas fabricadas em PVC e vidro duplo. Os materiais de isolamento térmico das paredes externas estão ilustrados na **Figura 21**.



Figura 21: Materiais utilizados no isolamento térmico de paredes externas.

Em seguida, a pesquisadora experimentou a modelagem BIM 4D. Para esta modelagem, os trabalhos foram organizados em ordem sequencial, baseados no primeiro plano de execução das atividades (Figura 9), além de informações obtidas com dois fornecedores de materiais de isolamento térmico para as paredes externas. Adicionalmente, catálogos digitais foram consultados, os quais possibilitaram a compreensão da execução das atividades. Diferentemente ao que ocorre na maioria dos estudos que utilizam modelagem BIM 4D, nenhum plano de execução das atividades, o qual tivesse sido elaborado a partir de ferramentas de planejamento e controle de execução como MS Project ou Primavera, foi consultado como informação de entrada para a modelagem, uma vez que, tais ferramentas não eram utilizadas no projeto S-IMPLER pelos planejadores e gestores do empreendimento. Para fins de organização e melhor compreensão das simulações, a legenda utilizada na modelagem 4D para a Fase 1A está ilustrada na **Figura 22**.

<sup>12</sup> Placa dinâmica: cada placa dinâmica é composta por duas placas de poliestireno expandido (EPS), com uma cavidade entre elas.



Figura 22: Legenda das simulações desenvolvidas na Fase 1A.

A simulação **MOD\_4D\_1\_A\_1** permitiu visualizar a execução da Fase 1A ao longo do tempo. Esta simulação foi apresentada, primeiramente ao representante do cliente do projeto (*Housing Association*), em 3 de fevereiro de 2015. Esta reunião teve como objetivo, além de exibir a simulação 4D, apresentar a primeira versão do protocolo BIM para *Retrofit*, compreender as atividades executadas por empresas terceirizadas contratadas diretamente pela *Housing Association*, além de tentar compreender o fluxo de informações entre o cliente e o usuário final desde o início do empreendimento. Além da empresa construtora contratada para a realização das atividades de *retrofit*, a *Housing Association* contratou uma empresa para mover os medidores de gás de posição, em todas as habitações contempladas pelo S-IMPLER. A relocação dos medidores foi executada antes das atividades de *retrofit*, sendo assim, esta atividade não estava no escopo da empresa construtora.

Quanto ao fluxo de comunicação, a *Housing Association*, primeiramente, reuniu-se com todos os inquilinos das habitações do S-IMPLER, para explicar a eles quais as investigações realizadas quanto às condições das habitações e soluções que seriam tomadas. Em seguida, a *Housing Association* comunicou estes inquilinos sobre o escopo das atividades envolvidas no processo de execução do *retrofit*, através de cartas postadas e enviadas pelo serviço de correio local. Além disso, duas semanas antes de iniciarem os trabalhos em cada habitação, a *Housing Association* comunicava novamente o início dos trabalhos aos inquilinos. Toda esta comunicação é feita somente de forma verbal, sem ilustrações.

Quanto ao protocolo BIM para *Retrofit*, o representante do cliente observou pela primeira vez a proposta de criação de cenários para apoiar o processo de tomada de decisão no

empreendimento. Ao ser questionado sobre qual é a finalidade mais importante para a criação de cenários (desempenho térmico e eficiência energética, custos e perturbações do usuário final), o representante do cliente atribuiu o maior grau de importância à realização das obras de *retrofit* com o menor custo possível, assumindo que as obras atendessem às metas mínimas de eficiência energética. Ele considerou menos relevante a proposta de cenários para minimizar as perturbações dos usuários, uma vez que considerava o processo de *retrofit* adotado como causador de perturbações mínimas ao usuário final.

Quanto à simulação 4D, o representante do cliente sugeriu que, além dos objetivos propostos para a presente pesquisa, esta simulação poderia ser utilizada, pela *Housing Association*, na apresentação da execução dos trabalhos de *retrofit*, aos inquilinos das habitações. Desta forma os inquilinos poderiam compreender claramente quais os trabalhos seriam desenvolvidos, bem como o tempo de execução para tais trabalhos.

Em seguida, foi realizada uma reunião com o gerente da obra, onde a simulação 4D foi apresentada, como uma proposta de execução para a Fase 1A. Além disso, procurou-se compreender melhor as etapas do plano e a relação de interdependência entre as atividades de execução, os equipamentos utilizados, bem como os locais determinados para estoque dos materiais. Nesta reunião, concluiu-se que o plano, o qual estava sendo utilizado para a execução das atividades, coincidia com o proposto na simulação até aquele momento. As únicas atividades desenvolvidas correspondiam à instalação do canteiro. Quanto ao local de armazenamento dos materiais, este estava sendo dividido entre a habitação nº 48 e os dois containers instalados próximos à habitação nº 6. A habitação nº 48 seria utilizada como depósito de alguns materiais e, também, como escritório das obras, por esta habitação encontrar-se desocupada até a última fase do projeto S-IMPLER (Fase 4). Considerando a apresentação da simulação 4D, o gerente da obra destacou que esta compreendia todas as atividades envolvidas e que o plano de execução das atividades estava coerente, havendo a necessidade de apenas pequenos ajustes quanto ao plano de execução das atividades.

A sequência de algumas imagens da simulação **MOD\_4D\_1\_A\_1** apresentada aos entrevistados está ilustrada na **Figura 23**.



Figura 23: Parte da simulação 4D MOD\_4D\_1\_A\_1.

No mesmo dia, foi realizada uma visita à obra (visita 3), onde foi observado que os equipamentos containers, andaimes e caçamba de entulho já se encontravam posicionados. Porém, nenhuma atividade de *retrofit* havia sido iniciada. Como o início das obras tinha sido programado para 02/02/2015, a obra não podia ser considerada como atrasada. Também se observou a realocação dos medidores e tubulação de gás nas habitações das Fases 1B e 2. Esta atividade não foi considerada no plano, pois era executada separadamente do restante da obra. Entretanto, tal atividade é importante para a realização das demais e deve ser executada sempre antes do início das obras.

Na semana seguinte, no dia 11 de fevereiro de 2015, a pesquisadora participou de uma reunião de planejamento da obra, na qual estavam presentes o gerente da obra, o mestre da obra e um outro pesquisador<sup>13</sup>, o qual estava desenvolvendo um trabalho sobre *lean retrofit*. Esta reunião tinha o propósito de compreender as possíveis causas do não cumprimento das atividades programadas, para atualizar o modelo 4D. O gerente da obra apontou atrasos de detalhes de projetos como causa do não-cumprimento das atividades planejadas, pois a falta destes detalhes influenciava diretamente na especificação, fabricação e instalação de alguns elementos, tais como isolamento térmico das janelas e todas as aberturas externas, a serem substituídas. Com o atraso da principal atividade desta obra - a substituição das janelas - houve um atraso considerável em toda a execução dos trabalhos. Portanto, a obra encontrava-se atrasada em 9 dias e poderia ter um atraso maior, caso o detalhe construtivo das janelas não fosse providenciado imediatamente para a produção das mesmas. Este atraso foi representativo, uma vez que a obra tinha sido planejada para ser realizada em 4 semanas, ou seja, 28 dias. Sendo assim, um atraso de 9 dias expressa um aumento de 32% no prazo de conclusão da obra. No final da reunião, novas datas foram propostas para a continuação das atividades. A situação do desenvolvimento da obra pôde ser observada na visita 4, com destaque para a atividade de isolamento térmico da parede externa na fachada lateral, que havia sido iniciada como previsto, mas havia sido interrompida por falta de material e assim permanecia naquela data, como mostra a **Figura 24**.

---

<sup>13</sup> Sérgio Kemmer – candidato ao título de PhD pela Universidade de Huddersfield, Grã-Bretanha.



Figura 24: Observação realizada na visita 4 – interrupção de atividade por falta de material.

A partir destas observações, o modelo 4D foi atualizado para a semana seguinte. Os atrasos e restrições ocorridos na execução da obra não eram devidamente documentados, o que dificultava a resolução do problema.

No dia 20 de fevereiro, houve uma nova visita à obra (visita 5). Observou-se nesta visita que a obra havia progredido, porém houve a execução de uma nova atividade, a qual não constava no plano original: a instalação da janela da cozinha como atividade-protótipo. Esta atividade foi definida com o propósito de testar o material utilizado para isolamento térmico entre a janela e a parede, antes de utilizá-lo em todas as aberturas. Além disso, iniciou-se o isolamento térmico das paredes externas da fachada dos fundos, mesmo sem as aberturas terem sido instaladas. Isso demonstrava que o plano de execução das atividades acordado em reunião não era seguido, o que poderia gerar retrabalhos futuros.

Além da visita 5, a pesquisadora participou da reunião de planejamento da obra, no mesmo dia. Nesta reunião estavam presentes o representante do cliente, o pesquisador e o consultor em *lean retrofit* em empreendimentos de *retrofit*, o mestre da obra, o gerente da obra, dois arquitetos responsáveis pelo projeto e detalhamento, o orçamentista e um consultor técnico do BRE<sup>14</sup>. Durante esta reunião, planejou-se novas atividades, as quais não faziam parte do escopo original do empreendimento. Tais atividades estavam associadas ao isolamento térmico externo de um cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos. Com isso, evidenciou-se que a comunicação entre os envolvidos: cliente-proprietário e projetista era limitada.

<sup>14</sup> BRE - Building Research Establishment (organização participante do projeto S-IMPLER, a qual atuava na gestão do empreendimento)



Adicionalmente, foram realizadas duas novas reuniões. A primeira com o gerente da obra, na qual foi apresentada a simulação **MOD\_4D\_1\_A\_2**, que representava uma nova versão da simulação **MOD\_4D\_1\_A\_1**, porém com as datas de realização das atividades atualizadas. O objetivo desta reunião foi compreender como o gerente da obra elaboraria o plano de execução das atividades segundo o seu ponto de vista e, também, como ele interpretava a simulação 4D. O gerente da obra percebeu a simulação 4D como uma ferramenta útil de planejamento, porém observou que a utilização de vídeo não era o formato ideal para a visualização desta ferramenta no canteiro. Além disso, observou a simulação 4D como uma ferramenta adicional ao painel com marcadores coloridos, já utilizado no canteiro da obra (Figura 9). Na reunião com o mestre da obra, o objetivo foi compreender o tamanho das equipes e o plano de ataque à obra. Notou-se que a equipe contratada para a execução dos trabalhos não era dividida em habilidades específicas, e sim, atendia a todas as atividades de execução, apesar de ser uma equipe bastante reduzida (3 pessoas). Quanto ao plano de ataque, o mestre da obra confirmou que a opção que estava sendo utilizada era a ideal, iniciando os trabalhos com a atividade de isolamento térmico da fachada lateral, uma vez que esta tratava-se de uma fachada “cega” e por isso não dependia de atividades relacionadas à substituição das aberturas.

Com a alteração do plano de execução das atividades original, devido à adição de novas atividades ao mesmo, houve a necessidade de atualização do modelo 3D existente, para o modelo 3D **MOD\_3D\_1\_A\_3**. Este novo modelo manteve o LOD 300 para os elementos incorporados. Da mesma forma, o modelo 4D foi atualizado. As novas atividades adicionadas ao plano existente e o novo modelo 3D resultaram no modelo **MOD\_4D\_1\_A\_3**. A nova simulação 4D, concebida a partir deste modelo, foi apresentada ao gerente e ao mestre da obra em 04 de março de 2015, através de um painel com uma sequência de 36 imagens ilustrando a execução da obra. O escritório das obras não possuía um espaço adequado para a exposição das imagens junto ao painel dos marcadores coloridos, por isso teve que ser posicionado logo abaixo dos detalhes técnicos arquitetônicos, conforme ilustrado na **Figura 25**.



Figura 25: Representação do painel de imagens da simulação MOD\_4D\_1\_A\_3.

Na apresentação do painel de imagens da nova simulação 4D, o gerente e o mestre da obra apontaram duas atividades relacionadas à intervenção no cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos, as quais haviam sido organizadas, na modelagem, em ordens invertidas. Houve a programação de retirada das duas portas antigas e demolição da parede externa adjacente às portas primeiro, porém consideravam ser mais adequado demolir a parede interna antes dessas atividades. Tais atividades foram simuladas de forma equivocada, pois as mesmas não haviam sido especificadas, na reunião de planejamento ocorrida na semana anterior. Além disso, o mestre de obras mostrou-se bastante instigado pela simulação 4D, pois nunca havia trabalhado com tal ferramenta, concordando que esta poderia efetivamente auxiliar no planejamento das obras. Observou-se que a disposição da simulação através de ilustrações expostas na parede do escritório da obra poderia trazer mais transparência para a atividade de planejamento, e conseqüentemente, para a gestão da obra. Visto que os dois entrevistados perceberam o plano de execução das atividades através das ilustrações e, ainda, apontaram equívocos.

Na visita 6, observou-se que a instalação do isolamento térmico externo na fachada dos fundos, iniciada na semana anterior, precisou ser desfeita. A troca do cilindro de aquecimento da água havia sido realizada (imagem 3), bem como o isolamento térmico do telhado com lã mineral no forro. Além disso, a fachada frontal permanecia somente com a instalação da janela da cozinha (protótipo) e os elementos de isolamento ao redor da mesma (imagem 4). Contudo, a fachada lateral estava completa e finalizada (imagem 5), composta por todas as camadas de isolamento térmico e acabamento. Algumas observações realizadas nesta visita,

estão ilustradas na **Figura 26**, assim como a representação das simulações inicial e realizada. A simulação inicial (imagem 1), destaca que naquela data, a obra deveria ter sido totalmente concluída. Enquanto isso, simulação realizada (imagem 2) é uma representação das atividades que haviam sido desenvolvidas naquela mesma data.



Figura 26: Observações realizadas na visita à obra em 04/03/2015 (visita 6).

As atividades da obra estavam suspensas até a entrega das aberturas, as quais ainda não haviam sido entregues por terem sido medidas *in loco* incorretamente. Este equívoco pode ter sido ocasionado pela falha na comunicação entre o projetista arquitetônico, o gerente da obra e o fornecedor das aberturas.

Após a entrega das aberturas, a obra progrediu e o andamento das atividades foi percebido na visita à obra realizada em 01/04/2015 (visita 7). No mesmo dia, a pesquisadora participou da reunião de curto prazo. Nesta reunião estavam presentes o mestre da obra, gerente da obra, representante do cliente e pesquisador em *lean retrofit*. Houve discussão sobre o material utilizado para o isolamento térmico entre as aberturas, por apresentar qualidade duvidosa, porém a continuidade das atividades foi mantida. Todas as atividades incompletas tiveram

suas datas revisadas e o painel com o plano de execução das atividades foi atualizado até o final da obra (mais duas semanas), conforme representado na **Figura 27**.

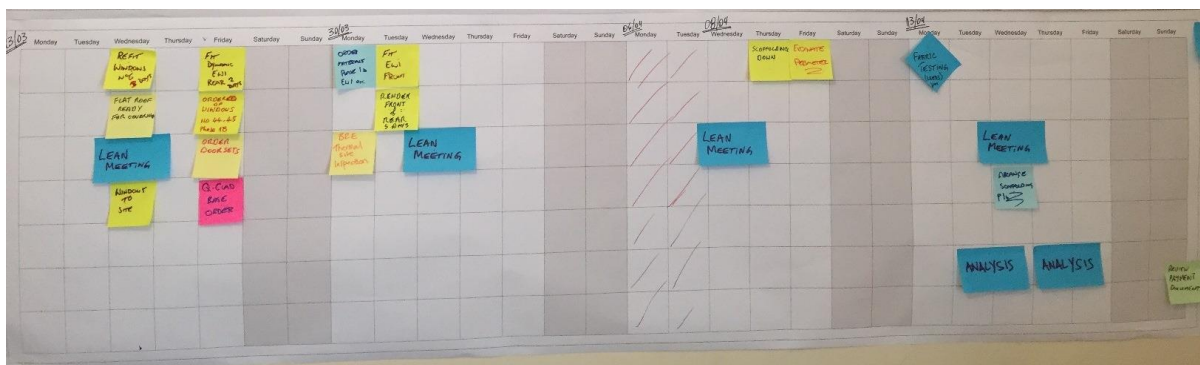


Figura 27: Painel com plano de atividades para as semanas restantes da fase 1A, a partir de 01/04/2015.

Todas as informações obtidas durante o desenvolvimento da Fase 1A, como as observações realizadas nas visitas à obra, as sugestões proporcionadas pelo gerente e mestre da obra, o novo plano de atividades desenvolvido, além dos registros fotográficos realizados pelo gerente da obra, foram considerados na elaboração do último modelo 4D para esta fase, **MOD\_4D\_1\_A\_4**. A obra foi concluída em 09/04/2015.

Em 06/05/2015, além da realização da visita 8, na qual foi verificada a conclusão da obra, os resultados do acompanhamento da Fase 1A a partir dos modelos 4D desenvolvidos foram apresentados em reunião. Nesta reunião estavam presentes o representante do cliente, gerente da obra, mestre da obra, fornecedores de materiais para isolamento térmico das paredes externas e acabamento de fachada, além do arquiteto projetista. Inicialmente, foi realizada de forma sucinta uma apresentação sobre BIM 4D, mostrando as características da ferramenta de modelagem e simulação, bem como seus propósitos podem auxiliar no processo de planejamento da obra. Esta apresentação foi necessária, visto que havia sido observado nesta fase que os envolvidos na execução das obras tinham conhecimento limitado sobre BIM.

Posteriormente, foram apresentadas as simulações 4D do modelo inicial (conforme primeiro plano de execução das atividades) e do modelo final (conforme as atividades foram executadas). Destacou-se nesta apresentação as dificuldades encontradas ao longo do processo de modelagem: (a) a falta de um plano de atividades desenvolvido previamente pela empresa construtora, que decorreu no acréscimo do tempo empregado na modelagem 4D, com a busca de informações de execução por meio de catálogos digitais, entrevistas e guias de instalação concedidos pelos fornecedores, (b) as atividades que emergiram durante as reuniões semanais

(por exemplo, atividades no cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos, que não haviam sido consideradas no plano inicial e nem constavam no contrato do projetista e fornecedores de materiais e do subempreiteiro, (c) a interrupção do fluxo de execução das atividades (como a interrupção devido ao atraso na medição e entrega das aberturas), o que dificultou o acompanhamento da obra e compreensão da mesma como um todo. Por fim, foi realizada uma comparação entre as duas simulações 4D (inicial e final). Algumas imagens resultantes da comparação estão representadas na **Figura 28**.

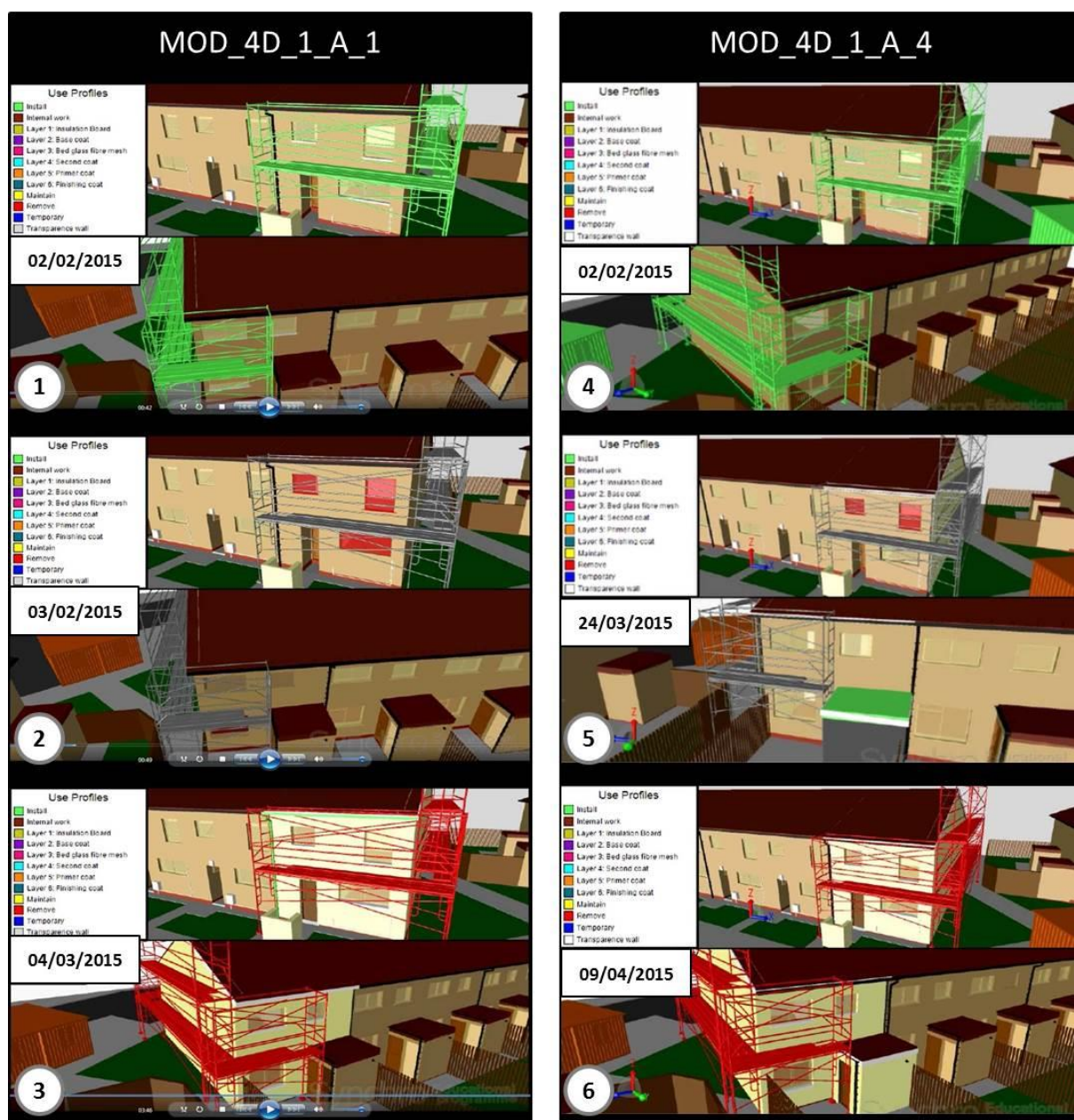


Figura 28: Comparação entre as simulações 4D inicial e final da Fase 1A.

Esta comparação apontou que, apesar da obra ter iniciado conforme planejado (imagens 1 e 4), foi concluída com atraso de cinco semanas (imagens 3 e 6), devido ao atraso na entrega das aberturas e à adição de novas atividades durante o desenvolvimento da obra ao plano. A imagem 2 mostra que no dia 03/02/2015, havia sido programado a substituição das aberturas da fachada frontal. Porém, como pode ser observado na imagem 5, esta mesma atividade foi realizada somente no dia 25/03/2015, simultaneamente à atividade de instalação do novo telhado, no cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos. Esta atividade, por sua vez, não havia sido programada inicialmente, por não constar no escopo inicial dos trabalhos.

A apresentação da comparação entre as simulações inicial e final foi importante para demonstrar visualmente o processo de execução da Fase 1A. Contudo, os envolvidos no processo de projeto e execução, que assistiram à apresentação, não fizeram qualquer consideração relativo às simulações e a própria comparação. A comparação entre os modelos ficou no âmbito qualitativo/descritivo, dado que não foi possível obter informações cabíveis para gerar indicadores ou parâmetros para fazer uma comparação quantitativa, como PPC, causas de não-cumprimento das tarefas, percentual de tarefas antecipadas prontas para a execução.

### 5.1.1 Considerações finais

#### **Modelagem 3D e 4D**

Primeiramente, uma busca na literatura revelou que não há uma especificação definida sobre o nível de detalhe adequado de um modelo 3D para um projeto de *retrofit*. Desta forma, o nível de detalhe do modelo 3D, contendo os elementos necessários para gerar o modelo 4D, foi definido com o LOD 300. Além disso, os modelos 3D e 4D contemplaram as considerações realizadas pelo gerente e pelo mestre da obra, que destacaram algumas atividades como principais em todo o processo de execução da reforma: substituição das aberturas, isolamento térmico das paredes externas, acabamento das paredes externas e atividades internas (substituição do sistema de aquecimento de água, acabamentos internos ao redor das aberturas e instalação do sistema de ventilação que faz parte do tipo de isolamento externo escolhido), bem como o nível de compreensão deles com as simulações apresentadas. Além dos elementos para as atividades essenciais na execução do *retrofit*, o modelo 3D compreendeu um entorno mínimo de vizinhança. Este entorno foi importante para observar, durante as simulações, possíveis conflitos que poderiam ocorrer entre o lote de trabalho em execução e as habitações adjacentes, ou mesmo entre o lote de trabalho em execução e as

áreas comuns da vizinhança. Verificou-se que os tubos condutores pluviais, os quais atendem a habitação nº 6 e seu vizinho adjacente (habitação nº 5), tanto na fachada da frente como dos fundos, necessitaram ser retirados pois impediam a execução das atividades de isolamento da parede externa da habitação nº 6, como mostra a **Figura 29**. Esta atividade de remoção temporária dos tubos condutores não demonstrou nenhum transtorno para os usuários da habitação adjacente. Outra observação, foi a necessidade de acessar o quintal da habitação adjacente para executar o isolamento e acabamento da lateral do cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos. Esta atividade pode ter ocasionado algum transtorno para os ocupantes da habitação adjacente, porém não foi investigado. Estas observações reforçam a importância de modelar o entorno mínimo à habitação-chave da execução de *retrofit*, nesta fase esta habitação refere-se à nº 6)



Figura 29: Retirada dos tubos condutores de água, comuns às habitações 5 e 6, para execução do isolamento das paredes externas.

Um segundo ponto a destacar, quanto ao nível de detalhe nos modelos, é que em empreendimentos novos o plano de execução das atividades é mais facilmente compreendido durante as simulações do que em empreendimentos de *retrofit*. Quando o *retrofit* trata de edifícios dos quais, parte será demolida e uma nova parte será incorporada ao edifício existente, a visualização acontece de forma rápida e clara. Entretanto, quando o *retrofit* se trata de substituições de itens antigos por novos, como foi o caso do objeto em estudo, há uma maior dificuldade em compreender o que está explícito. Desta forma, verificou-se nos modelos desenvolvidos que algumas atividades foram representadas de forma clara (ex.: instalação de camadas de isolamento térmico das paredes externas), enquanto outras

atividades (ex.: substituição das aberturas) necessitaram de uma atenção mais apurada para serem compreendidas, enquanto a simulação era apresentada. Deste modo, necessitou-se definir de forma evidente uma legenda de cores para codificar cada atividade e/ou elemento, e ainda, transparências para mostrar atividades que estavam sendo executadas internamente (ex.: demolição da parede interna no cômodo anexo à habitação posicionado nos fundos), como mostra a **Figura 30**. Além disso, a determinação do ângulo de observação para a simulação, também foi um aspecto considerado para facilitar a compreensão. Neste estudo, utilizou-se duas câmeras simultâneas para representar a execução das atividades nas fachadas frontal e fundos.



Figura 30: Uso de transparência e cores para representar a execução das atividades internas de *retrofit*.

O terceiro ponto destacado foi o tempo empregado na modelagem. O modelo BIM 3D foi atualizado considerando as alterações no plano de execução das atividades, o que resultou no aumento do tempo demandado para a modelagem. Para a modelagem 4D, a falta de um plano desenvolvido em um *software* de planejamento e controle de construção dificultou o processo de modelagem, aumentando o tempo empregado na preparação e proposição do plano de execução das atividades. A forma como agrupar tais atividades e sequenciá-las no *software* 4D foi definida pela pesquisadora, que buscou incluir todas as atividades necessárias nos diferentes lotes (frente, lateral e fundos) e, também, para facilitar a atualização das datas dos acontecimentos. Além disso, optou-se por dividir as atividades em períodos mínimos de 2 horas e múltiplos de 2, ou seja, as atividades eram de 2hs, 4hs, 6hs, 8hs (= 1 dia), 12hs (= 1,5 dias), etc. Este detalhe foi determinado para facilitar o tempo da simulação e a visualização do



progresso de execução do *retrofit*. A organização da disposição das atividades permitiu atualizar as datas no plano de execução no *software* 4D de forma rápida e fácil, e esta mesma disposição pôde ser replicada às simulações da fase seguinte (Fase 1B) com pequenos ajustes.

Durante a utilização do *software* 4D, constatou-se um problema relacionado à representação e à visualização das janelas que constavam no modelo 3D importado através de arquivo IFC. Estas janelas estavam representadas de forma translúcida no modelo 4D, ou seja, não era possível perceber nitidamente os componentes como guarnição e vidro destas janelas, da mesma forma como estavam representados no modelo 3D. A visualização destes elementos na simulação 4D foi prejudicada, uma vez que os mesmos eram essenciais na representação da atividade de substituição das janelas. Estes elementos não permitiram manipulação após importados para o *software* SYNCHRO PRO®. Desta forma, recorreu-se ao apoio técnico dos *software* de modelagem 3D e 4D, porém a causa do problema não foi constatada. Concluiu-se que, provavelmente, existia um problema relacionado à falta de interoperabilidade no nível de troca de arquivos IFC entre as interfaces dos *software* ARCHICAD e SYNCHRO PRO®. Este problema também pode ter ocasionado a perda de textura e cores em outros elementos, quando estes foram importados, e, conseqüentemente, tiveram de ser manipulados dentro do próprio SYNCHRO PRO®.

Adicionalmente, os envolvidos na execução das obras tinham conhecimento limitado sobre BIM, e nunca haviam trabalhado com simulação 4D. Isso apontou a necessidade de um treinamento básico sobre 4D, mostrando o que é esta ferramenta, para que serve e como pode auxiliar no processo de planejamento da obra.

### **Planejamento da construção**

O número de atividades necessárias, bem como suas relações de precedência na obra de *retrofit* da unidade habitacional nº 6 só foram compreendidos plenamente depois da conclusão das obras e da elaboração do modelo 4D final. Isso decorreu em consequência da obra de *retrofit* apresentar muitas incertezas, do escopo da execução ter sido alterado durante as obras, e dos envolvidos na execução da obra não possuírem um plano inicial preciso. O plano foi elaborado e refinado considerando as reuniões semanais de planejamento da obra, bem como, informações complementares já mencionadas. Um problema de planejamento da construção identificado durante as participações nas reuniões mencionadas foi a falta de uma pauta pré-definida para conduzir tais reuniões. Além disso, as pendências não eram registradas e um

plano de ação não era realizado formalmente, para eliminar as restrições encontradas durante a execução. Desta forma, as restrições não eram eliminadas e as atividades eram programadas com incertezas. Contudo, no final da Etapa Inicial, obteve-se um plano de execução das atividades considerado adequado para as unidades repetitivas.

### **Fluxo de informações entre os times de projeto e execução**

As causas de atraso da obra estavam relacionadas à entrega e instalação das aberturas, à falta de material, à qualidade duvidosa do material de isolamento ao redor das aberturas e à aprovação de custos para as atividades extras ao contrato original. O atraso na entrega e instalação das aberturas foi motivado pela carência de cooperação e comunicação entre três partes: projetista, gerente da obra e fornecedor de aberturas. A ausência de diálogo e de um fluxo contínuo de informações sobre os detalhes técnicos do projeto das aberturas foi evidenciada durante uma das reuniões de curto prazo. Também foi observado que apesar da obra possuir um gerente, o mesmo não exercia a gestão do planejamento e dos envolvidos na execução de forma efetiva. Inicialmente, o gerente da obra não fazia uma intermediação entre os fornecedores, projetistas e a equipe de execução, e também não cobrava os atrasos de entrega de materiais ou de projetos. Desta forma, como não havia um ambiente estável e colaborativo, os benefícios do uso de BIM no processo de projeto e produção foram explorados de forma limitada no S-IMPLER.

## **5.2 ETAPA INTERMEDIÁRIA**

Conforme apresentado no capítulo 4, o estudo desenvolvido na etapa intermediária focou-se na caracterização das perturbações para os usuários finais, na modelagem 4D para a Fase 1B do projeto S-IMPLER e, no final desta etapa, na estruturação dos cenários do tipo *what-if*. Desta forma, esta etapa é apresentada dividida em duas partes, estando a primeira relacionada à pesquisa sobre as perturbações e a modelagem 4D para a Fase 1B, e a segunda relacionada à pesquisa sobre a estruturação dos cenários. Dentro de cada parte, é mantido a ordem cronológica dos fatos.

### **5.2.1 Caracterização das perturbações e modelagem 4D para a Fase 1B**

Conforme foi apresentado no capítulo 4, o início desta etapa teve uma sobreposição de um mês com a etapa inicial. Sendo assim, foi realizada uma revisão bibliográfica de *retrofit* em edificações ocupadas. Apesar de haver alguns trabalhos sobre este tema (ver item 2.2),

nenhum destes propôs uma caracterização de perturbações que ocorrem em empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Entretanto, a partir da análise de diversos trabalhos (WALLACE, 1986; WHITEMAN; IRWIG, 1988; KELSEY, 2003; CIRIA, 2004; SINGH, 2007; HO, 2009; VADADORIA, 2010; MILLER; BUYS, 2011; LEE, 2011; FAWCETT; MAYNE, 2012; JONES, 2013; HAINES; MITCHELL, 2014), foi proposto uma lista de fatores causadores das perturbações, os quais foram agrupados em categorias, ambos apresentados na **Figura 31**.

Categorias de Perturbação	Fatores que afetam o usuário	Exemplos no S-Impler	Referência na literatura
<b>Perturbações pela interrupção das utilidades</b> (isso acontece quando os trabalhos de <i>retrofit</i> afetam o abastecimento dos serviços)	Fornecimento de <b>gás</b> é interrompido	Reposicionamento do medidor de gás = 1 dia	Wallace (1986); e Whiteman e Irwig (1988);
	Fornecimento de <b>eletricidade</b> é interrompido		
	Fornecimento de <b>água</b> é interrompido		
<b>Perturbação pela interrupção do tráfego</b> (isso acontece quando os trabalhos de <i>retrofit</i> restringem o fluxo dos usuários)	<b>Fluxo interno</b> é interrompido	Instalação das portas nas fachadas da frente e dos fundos no mesmo dia	Whiteman e Irwig (1988); Kelsey (2003); e Jones (2013)
	<b>Acesso à edificação</b> é bloqueado ou limitado		
<b>Perturbação pela interrupção do espaço físico</b> (isso acontece quando os trabalhos de <i>retrofit</i> restringem o espaço para trabalhar ou morar por causa da divisão do espaço entre usuários e trabalhadores)	<b>Conforto físico</b> do usuário é afetado para estudar, cozinhar, tirar uma soneca, etc.	Trabalhos internos ao redor das janelas (recolocação de azulejos ou refazer reboco)	Wallace (1986), Ho (2009), Vadadoria (2010), Lee (2012), Haines e Mitchell (2014), e Fawcett (2014);
	Usuários necessitam <b>sair de casa</b> (mudar-se temporariamente) para evitar compartilhar os espaços		
<b>Perturbação do ambiente interno</b> (isso acontece quando os trabalhos de <i>retrofit</i> afetam o ambiente interno por gerar níveis de poluição)	<b>Barulho</b> fornecido pelo uso de ferramentas de trabalho tais como martelos, marreta, etc.	Trabalhos internos no ambiente anexo à habitação nos fundos (derrubar a parede interna)	Whiteman e Irwig (1988), Jones (2009); Miller e Buys (2011), e Lee (2012)
	<b>Poeira e/ou detritos</b> resultados de demolição, construção, reboco, etc.		

Figura 31: Lista de categorias de perturbações, segundo a literatura.

Logo após a elaboração da lista das perturbações foi realizado um plano da execução das atividades de *retrofit* das unidades 44 e 45, que contemplavam a Fase 1B, utilizando marcadores adesivos coloridos sobre um painel, da mesma forma como vinha sendo realizado

nas reuniões de planejamento da Fase 1A. Porém, a forma de utilização destes marcadores foi alterada, sendo estes divididos por cores de pacotes de execução das atividades, e não mais por equipes de projeto e execução do S-IMPLER (ex.: todas as atividades que eram relacionadas ao isolamento térmico pertenciam ao marcador de cor azul). Além disso, nestes marcadores estavam especificados a empresa responsável pela execução dos trabalhos, o tamanho da equipe de execução e o tempo de duração de cada atividade baseado em dias (por exemplo, um dia ou meio dia). Este plano foi elaborado com o auxílio do pesquisador em *lean retrofit*. Durante o desenvolvimento deste plano buscou-se reduzir certas perturbações para o morador, baseando-se naquelas encontradas na literatura. Por exemplo, as tarefas que envolviam a entrada da frente e a entrada dos fundos não foram programadas, para o mesmo dia, a fim de não causar perturbação por bloqueio do acesso dos usuários aos seus domicílios. A **Figura 32** ilustra o painel com o plano elaborado.

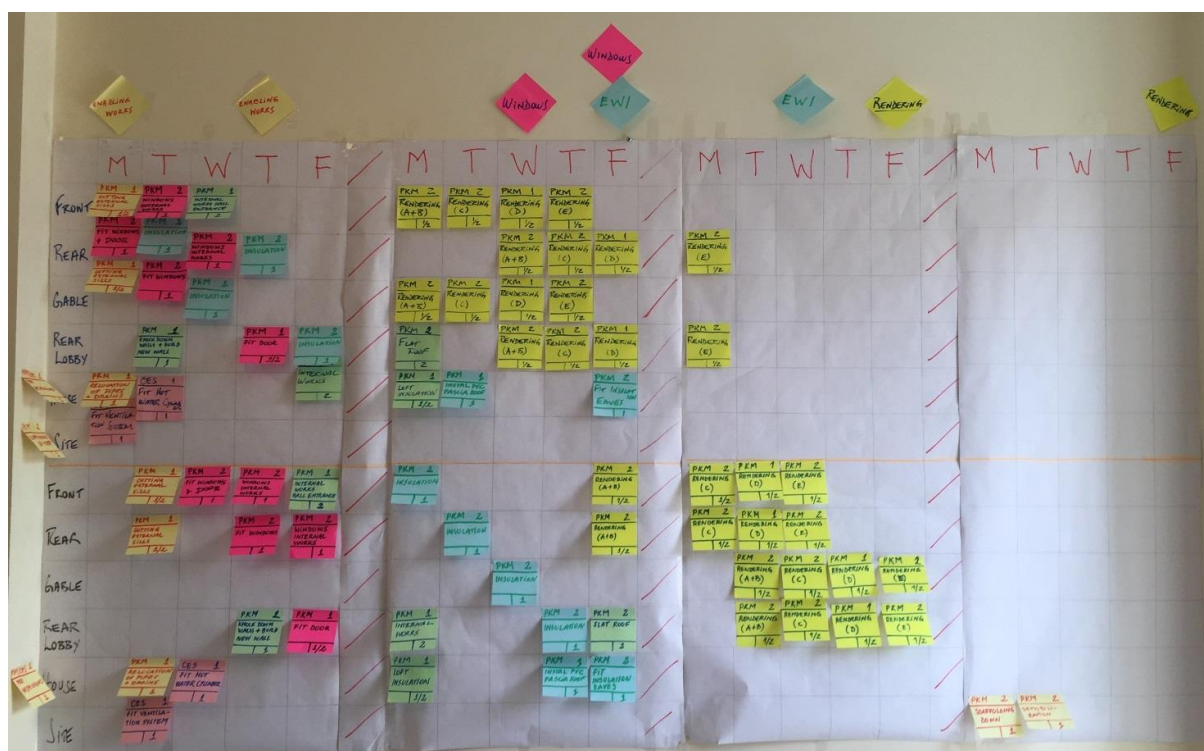


Figura 32: Plano de execução das atividades sugerido para a Fase 1B.

Considerando a lista de perturbações encontradas na literatura, a experiência com o desenvolvimento dos modelos 3D e 4D da Fase 1A, e o plano desenvolvido como sugestão para a execução da Fase 1B, ilustrado acima, foi desenvolvido o primeiro modelo BIM 3D (**MOD\_3D\_2\_B\_2**) e simulação 4D (**MOD\_4D\_2\_B\_1**) para a Fase 1B. Nesta simulação foi analisada a possibilidade de perturbação por bloqueio de acesso ao domicílio, e a mesma

perturbação não foi identificada. Porém, para alguns dias, estavam previstas atividades internas em diferentes frentes, incluindo a substituição do cilindro de aquecimento da água, instalação de controles do aparelho de calefação ou sistema de ventilação, paralelamente às atividades de substituição das janelas ou acabamentos ao redor das janelas, podendo causar perturbação por interrupção do fluxo interno do morador ou perturbação do conforto físico, visto que, estariam sendo executadas atividades de *retrofit*, em muitos ambientes simultaneamente. A **Figura 33** mostra a sequência de algumas imagens da simulação **MOD\_4D\_2\_B\_1**. A legenda utilizada nesta simulação foi a mesma utilizada na Fase 1A (Figura 22).

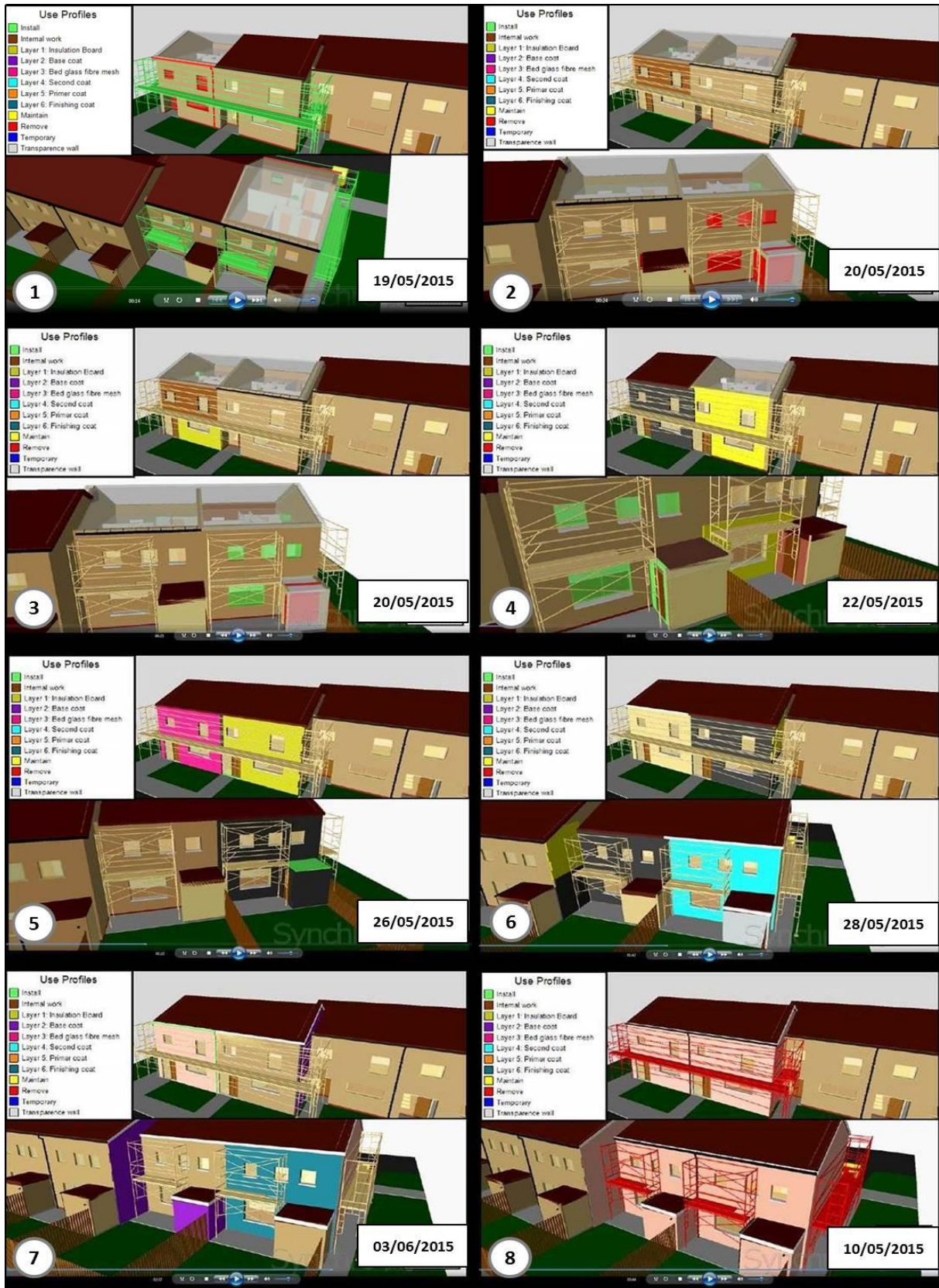


Figura 33: Imagens extraídas da simulação MOD\_4D\_2\_B\_1.

Em 06/05/2015, esta simulação foi apresentada aos envolvidos no projeto e execução do *retrofit*, durante uma reunião de melhoria e aprendizagem do S-IMPLER, na qual estavam presentes: o representante do cliente, gerente da obra, mestre da obra, fornecedores de materiais para isolamento térmico das paredes externas e acabamento de fachada, além do arquiteto projetista. Alguns dos envolvidos fizeram comentários a respeito da simulação e plano sugeridos, apontando algumas dificuldades que poderiam ser encontradas ao longo do processo de execução, porém nenhuma consideração foi referente à perturbação causada aos moradores. Um dos comentários foi referente à execução das fachadas não serem executadas simultaneamente nas duas habitações, o que poderia gerar problemas de acabamento entre as habitações, como a falta de nivelamento das camadas de isolamento, por exemplo.

Em 20/05/2015, o gerente da obra e o mestre da obra com o apoio do pesquisador em *lean retrofit* elaboraram um novo plano de execução das atividades. A simulação não foi utilizada para o desenvolvimento deste plano, apenas a ferramenta do painel com marcadores coloridos, os quais estavam alterados, quanto ao formato e distribuição das cores, conforme relatado anteriormente. A partir do novo plano de execução das atividades, uma segunda versão do modelo 4D foi desenvolvida para a Fase 1B (**MOD\_4D\_2\_B\_2**). A simulação gerada a partir deste modelo considerava a data de início da Fase 1B para junho de 2015 e as mesmas atividades da simulação anterior. Devido aos resultados insatisfatórios do desempenho da habitação nº 6 após *retrofit*, medidos por outro parceiro do S-IMPLER, a obra havia sido adiada por tempo indeterminado.

Em junho de 2015, a lista de perturbações desenvolvida com base na literatura, foi apresentada para o representante do cliente, arquiteto, gerente do projeto, gerente da obra, mestre da obra, e dois fornecedores de materiais do projeto S-IMPLER. Somente o representante do cliente, o gerente da obra e os dois fornecedores de materiais responderam sobre a lista de perturbações apresentada. Os novos fatores sugeridos foram incorporados ao quadro existente, enquanto que aqueles fatores que não eram percebidos por eles como causadores de perturbação foram removidos, gerando um novo quadro de fatores causadores de perturbação para o usuário final deste empreendimento. A **Figura 34** apresenta as perturbações apontadas pelos entrevistados, a partir daquelas sugeridas pela revisão de literatura.

Fatores que afetam os usuários finais	RC	GP	F1	F2
Perturbação pela interrupção do fornecimento de gás	S	S	N/A	S
Perturbação pela interrupção do fornecimento de eletricidade	S	S	N/A	N
Perturbação pela interrupção do fornecimento de água	S	S	N/A	N
Perturbação pela interrupção do acesso à edificação	N	S	N/A	S
Perturbação pela interrupção do cotidiano do inquilino	S	S	N/A	N/A
Perturbação por mudança para outro local	S	S	N/A	N
Perturbação por barulho	S	S	N/A	S
Perturbação por sujeira (detritos, poeira, etc.)	S	S	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção do trabalho (por dia de folga)	S	N/A	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção dos bens materiais dos inquilinos	S	N/A	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção do ambiente externo	S	N/A	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção das instalações (ex. área de estacionamento)	N/A	S	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção da luz natural	N/A	S	N/A	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação por demora na entrega de materiais	N/A	N/A	S	N/A
<u>Novo Fator:</u> Perturbação pela interrupção do sinal de tv	N/A	N/A	N/A	S

Figura 34: Perturbações percebidas pelos usuários (RC = representante do cliente; GP = gerente do projeto; F1 = fornecedor 1; F2 = fornecedor 2; S = sim; N = não; N/A = não se aplica).

As respostas do representante do cliente (RC) eram afirmativas para a maioria dos fatores encontrados na literatura, porém, para cada fator, este fez uma observação explicando as práticas que poderiam ser utilizadas, para que tais perturbações não ocorressem. Embora as respostas fossem condizentes com a minimização e/ou eliminação das perturbações dos usuários, não houve como evidenciá-las, visto que a Fase 1B (habitações ocupadas) não pôde ser acompanhada. Alguns exemplos destas observações foram traduzidos e transcritos abaixo:

- (a) “Ao trabalhar dentro das casas dos moradores, os empreiteiros são obrigados a fornecer lonas para conter a poeira em toda a área que eles estiverem trabalhando, seja dentro da edificação e/ou sobre a porta de entrada” (resposta do representante do cliente para a perturbação por sujeira, detritos e poeira).



- (b) “A mudança do morador para outro local gera um grande custo para as obras e só é realizada se for inevitável - outros métodos de execução dos trabalhos são considerados antes de mudar o morador de habitação” (resposta do representante do cliente para a perturbação por mudança para outro local).
- (c) “É dado ao morador sempre um acesso seguro para dentro e fora da edificação - ou seja, não são programados trabalhos simultâneos na fachada frontal e traseira” (resposta do representante do cliente para a perturbação pela interrupção do acesso à edificação).

Além disso, o RC destacou novos fatores causadores de perturbações como o fato do morador ter que tirar o dia de folga para acompanhar os trabalhos dentro da sua residência. A *Housing Association* sugere que um adulto indicado pelo morador da residência, ou o próprio morador, acompanhe os trabalhos internos, para garantir que nenhum bem pessoal do morador seja danificado, extraviado ou até mesmo furtado, durante a execução das obras. Outro fator causador de perturbação sugerido foi relacionado à necessidade de mover de lugar os móveis internos, para que o subempreiteiro realize alguma atividade dentro da residência. Este serviço é de responsabilidade do morador, porém, caso o morador seja uma pessoa incapaz de realizar este serviço por problemas de saúde e/ou segurança, o time da própria *Housing Association* efetua o serviço. O último fator causador de perturbação considerado pelo representante do cliente foi referente à interrupção do ambiente externo. Ele destacou que um dos moradores possui um *deck* de madeira no jardim e que o mesmo precisa ser removido para a instalação do andaime e execução dos trabalhos nos fundos. Contudo, como estas habitações são de propriedade da *Housing Association*, e o morador construiu o *deck* por sua conta própria, sem autorização para tal, qualquer reparo que precise ser executado durante ou após a realização dos trabalhos de *retrofit* é de responsabilidade do morador.

As respostas do gerente do projeto (GP) foram mais sucintas. Ele considerou três tipos de perturbações principais: (a) interrupção dos acessos ao edifício, (b) interrupção da vida cotidiana do morador, e (c) perturbação quando o morador precisa mudar-se de residência durante as obras. As demais perturbações sugeridas também foram consideradas, porém o referido gerente observou que muitas delas dependem do tempo que o morador está exposto às mesmas. O GP ainda sugeriu duas novas perturbações, uma relacionada às instalações externas, o bloqueio das áreas de estacionamento para a deposição de materiais e equipamentos para execução das obras, como andaimes e caçambas de entulho. A segunda

perturbação foi relacionada à interrupção da luz natural pelo bloqueio das janelas causado pelos andaimes.

O fornecedor 1 (F1) alegou não poder afirmar se havia ou não as perturbações apontadas, uma vez que sua empresa apenas fornecia os materiais, não se envolvendo com qualquer trabalho de execução no local. O F1 apenas assumiu que poderá existir perturbações ao morador caso haja atraso na entrega dos materiais, e por consequência, atraso na execução dos trabalhos. Já o fornecedor 2 (F2) observou as perturbações com relação às atividades que envolvem a utilização dos materiais que ele fornece. Ele concorda que as perturbações sejam causadas pela interrupção do fornecimento de gás em alguns casos, pelo bloqueio do acesso à residência pelos andaimes instalados, por barulho, e ainda acrescentou um fator, que é a perturbação causada pela interrupção do sinal de TV.

Ao analisar a simulação **MOD\_4D\_2\_B\_1** e as respostas dos envolvidos no projeto e execução do S-IMPLER, percebeu-se que a definição da perturbação depende do grau de intensidade da mesma e do tempo de duração em que ela ocorre. Em 15/10/2015, questionários foram aplicados a alguns moradores de habitações semelhantes às contempladas pelo S-IMPLER, as quais também são propriedade da *Housing Association*. O perfil dos respondentes está representado na **Figura 35**, sendo estes analisados quanto a:

- a) Tipologia da habitação: ET (*end-terrace*) e MT (*mid-terrace*)
- b) Número de moradores na habitação
- c) Número de adultos: API (adultos que trabalham em período integral), AMP (adultos que trabalham em meio período), ANA (adultos que não trabalham ou são aposentados)
- d) Número de crianças em idade escolar: CC (crianças menores de 5 anos = crianças que não vão à escola ainda) e CE (crianças em idade escolar)
- e) Se houve *retrofit* da habitação: Sim ou Não

	Tipologia		Perfil dos moradores						Habitação foi reformada?	
	ET	MT	Nº de moradores	API	AMP	ANA	CC	CE	Sim	Não
Habitação 1		X	2			2			X	
Habitação 2		X	4	1	1		1	1	X	
Habitação 3		X	1			1			X	
Habitação 4	X	X	5			2	2	1		X
Habitação 5		X	2			2			X	

Figura 35: Perfil dos respondentes sobre perturbações.

Dando continuidade ao questionário, após o levantamento do perfil dos respondentes, foram realizadas perguntas abertas quanto ao tipo de trabalho desenvolvido no *retrofit* (caso a resposta tivesse sido afirmativa para a questão se houve *retrofit* na habitação) e quanto à percepção dos moradores sobre algum tipo de perturbação durante os trabalhos. As respostas mostraram que nas habitações que foram reformadas, todas tiveram a atividade de substituição das aberturas. Em três delas, além da substituição das aberturas, o sistema de calefação também havia sido substituído. E em duas delas, além das atividades apontadas, houveram atividades de renovação da cozinha. Considerando os gráficos para determinar grau de intensidade e tempo de duração das perturbações percebidas pelos moradores (segunda parte do questionário, apresentado no Apêndice A), as respostas seguem abaixo:

- Perturbação pela interrupção do fornecimento de gás, eletricidade e água, e bloqueio de acesso à edificação: não foi percebida pela maioria como perturbações, e quando percebida, a intensidade foi considerada baixa e tempo de duração curto.
- Perturbação pela interrupção do cotidiano do morador: esta perturbação teve resposta afirmativa por quatro dos respondentes. Dois deles classificaram esta perturbação com intensidade baixa e tempo de duração curto. Outro classificou com intensidade alta e tempo de duração curto. O último classificou com intensidade alta e tempo de duração longo.
- Perturbação por mudança para outro local durante as obras: Todos responderam que este fator não se aplica, porque não consideraram a possibilidade de terem que deixar suas residências durante as obras, ou seja, as perturbações causadas não são tão insuportáveis a ponto de exigir a saída do morador.

- Perturbação por barulho: Dois respondentes consideraram tolerável o barulho produzido durante as obras e por isso não identificaram este fator como uma perturbação. Outros dois respondentes discordaram e classificaram o barulho uma perturbação de intensidade alta, porém de curto tempo de duração. Apenas um respondente classificou este fator com intensidade baixa e tempo de duração curto.
- Perturbação por sujeira: Todos os respondentes consideraram esta perturbação como existente. Dois respondentes classificaram a sujeira uma perturbação de intensidade baixa e de curto tempo de duração. Outros dois classificaram intensidade alta e longo tempo de duração. Apenas um dos respondentes classificou esta perturbação com intensidade alta, porém de curto tempo de duração.

Nenhum dos respondentes apontou qualquer outra perturbação além das apresentadas. Mesmo sem ter significância estatística, dado que o tamanho da amostra é reduzido, as observações realizadas foram úteis para confirmar os padrões de perturbação mapeados neste estudo.

Após a coleta de informações a respeito da caracterização das perturbações com os envolvidos no S-IMPLER, voltou-se a atenção mais uma vez à simulação 4D da Fase 1B. Como a obra não teve início conforme programado, devido a fatores diversos, as datas de realização das atividades foram atualizadas três vezes, sendo a última atualização com data de início em setembro de 2015. A simulação **MOD\_4D\_2\_B\_2** com as datas atualizadas foi apresentada ao gerente da obra no final de agosto de 2015 através de uma sequência de 42 imagens enviadas por e-mail (somente as imagens mais relevantes foram selecionadas para serem apresentadas). Considerando esta simulação, foi aplicado um conjunto de questões ao gerente da obra. A sequência de algumas imagens da simulação **MOD\_4D\_2\_B\_2** está ilustrada através da **Figura 36**. A legenda utilizada nesta simulação foi a mesma utilizada na Fase 1A (Figura 22). Até a finalização deste trabalho, as obras da Fase 1B não haviam sido iniciadas.



Figura 36: Imagens extraídas da simulação MOD\_4D\_2\_B\_2.

Nas simulações **MOD\_4D\_2\_B\_1** e **MOD\_4D\_2\_B\_2**, foi proposto isolamento térmico da fachada lateral da habitação 46 (como pode ser visto nas figuras 35 e 36), a qual faz parte da Fase 2 (fase de execução posterior a 1B). A habitação 46 é adjacente à habitação 45, portanto, executando-se o isolamento térmico desta fachada, na Fase 1B, possíveis perturbações causadas ao morador da habitação 45, relacionadas às atividades da fachada lateral da habitação 46, poderiam ser minimizadas ou evitadas, na fase seguinte. Entretanto, o gerente de obra observou que tal atividade só deve ser executada na fase seguinte (Fase 2), uma vez que no final da execução de cada fase, são realizados testes de desempenho térmico e energético e o isolamento da habitação adjacente, poderia influenciar nos resultados.

A partir da visualização da simulação **MOD\_4D\_2\_B\_2**, o gerente percebeu a necessidade de reprogramar as atividades de instalação do sistema de ventilação, substituição do cilindro de aquecimento da água e controles do sistema de calefação (atividades que podem ser notadas sendo realizadas nas imagens 2, 5 e 6, da figura 36, através da transparência dos telhados), para datas em que estivessem sendo realizadas somente atividades externas, tais como as atividades relacionadas às camadas de acabamento da parede de isolamento térmico. Com relação às questões realizadas, o gerente da obra destacou que, de fato, a sequência de imagens contendo todas as atividades da obra de *retrofit* é a melhor forma de visualizar o progresso da obra, pois permite uma melhor compreensão do plano de execução das atividades, através das cores correspondentes a cada atividade. Ele observou também, que a simulação pode apoiar o processo de tomada de decisão na fase de construção, ao serem apresentados diferentes cenários de execução das obras.

### 5.2.2 Estruturação dos cenários

No estudo investigado, o processo decisório nas obras de *retrofit* apresentou-se limitado na organização de informações em sua gestão. Tal desorganização, leva a decisões equivocadas, as quais afetam a execução dos trabalhos no canteiro e, conseqüentemente, os usuários finais. Adicionalmente, o processo de decisão, em muitos casos, compreende fatores limitados ao custo e ao tempo de execução da obra, deixando em segundo plano fatores ligados à qualidade, tecnologia e perturbações do usuário.

Na proposta apresentada neste trabalho, a construção de cenários comparativos do tipo *what-if* teve como objetivo central prover uma estrutura que consolidasse as informações para o tomador de decisão. Sete parâmetros, provenientes do processo de licitação do S-IMPLER,

foram agrupados em cinco fatores (Qualidade, Custo, Economias, Tempo e Perturbação) e classificados em dois tipos (Qualitativos e Quantitativos), conforme apresentado na **Figura 37**.

Fator	Qualidade	Custo		Economias		Tempo	Perturbação
Parâmetro	Solução Técnica Empregada	Investimento/m <sup>2</sup>	Custo do Consumo de Energia Anual com a Solução Técnica Adotada	Economia em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original	Razão entre o Investimento e as Economias em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original	Tempo de Construção	Avaliação da Perturbação
Tipo de Parâmetro	Qualitativo	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Maior é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Qualitativo

Figura 37: Estrutura dos cenários.

O conjunto de sete parâmetros foi utilizado para a estruturação dos cenários, conforme segue:

- a) **Solução Técnica Empregada:** compreendeu o tipo de materiais especificados. Somente tecnologias que atendem aos requisitos do cliente foram consideradas na análise.
- b) **Investimento por m<sup>2</sup>:** abrangeu o custo do material e mão de obra para o isolamento de paredes, por m<sup>2</sup> em relação à área da edificação.
- c) **Custo do Consumo de Energia Anual com a Solução Técnica Adotada:** apresentou a projeção do custo do consumo de energia para uma residência que adotava o isolamento térmico de paredes adicional à outras alterações para melhoria de eficiência energética. Conforme Loveday *et al.*, (2011), a contribuição do isolamento térmico das paredes é a mais significativa para a redução do consumo de energia.
- d) **Economias em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original:** compreendeu as economias traduzidas no consumo de energia pela adoção do isolamento térmico de paredes adicional à outras alterações para melhoria de eficiência energética.
- e) **Razão entre o Investimento e as Economias em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original:** abrangeu a relação entre o investimento necessário e os ganhos obtidos na redução do consumo de energia.
- f) **Tempo de Construção:** através do plano de atividades, o tempo de construção em dias foi estimado, descontando-se os finais de semana.

- g) **Avaliação da Perturbação:** através da simulação em 4D, entrevistas e discussões com os intervenientes no empreendimento (por exemplo, cliente, fornecedores, moradores), uma avaliação criteriosa da perturbação dos usuários finais foi realizada.

### 5.2.3 Considerações finais

#### **Caracterização das perturbações que afetam o ocupante da edificação, durante a execução das obras de *retrofit***

Sabe-se que as atividades de isolamento térmico executadas nas paredes externas causam menos perturbações aos usuários, do que as atividades executadas nas paredes internas. Entretanto, o processo de *retrofit*, mesmo não compreendendo em seu escopo o isolamento das paredes internas, envolveu outras atividades, tais como a substituição das aberturas e instalação de sistemas de ventilação, que causam muitas perturbações. Assim, o presente trabalho investigou as perturbações para o usuário, considerando o conjunto de todas as atividades de *retrofit* no escopo do projeto S-IMPLER. A identificação de todas as possíveis perturbações é importante, uma vez que auxilia a equipe envolvida no planejamento da obra a reduzir tal perturbação ou, até mesmo, evitá-la e, assim, reduzir a insatisfação do usuário final no final da execução das obras de *retrofit*.

A avaliação de obras similares com base na percepção do usuário, a parte mais vulnerável no processo de execução de *retrofit*, pode facilitar a compreensão das perturbações mais frequentes e impactantes, complementando as categorias já apontadas na literatura. A aplicação dos questionários com os moradores mostrou que os fatores causadores das perturbações encontrados na literatura também são identificados pelos usuários. As respostas aos questionários apresentaram divergências entre os respondentes com relação a algumas perturbações, quanto ao grau de intensidade e tempo de duração. Como exemplo, a perturbação causada pela interrupção do cotidiano do usuário, que ocorre muitas vezes, quando ele necessita dividir seu ambiente interno com os trabalhadores de *retrofit*. As perturbações provocadas por barulho e sujeira também tiveram respostas bastante distintas. Para se chegar a qualquer conclusão, deve-se realizar mais estudos a respeito das perturbações, envolvendo o usuário final. Por exemplo, uma análise mais detalhada, cruzando o perfil dos moradores com a lista de perturbações, poderia esclarecer tais divergências encontradas.



### Modelagem e simulação 4D para a fase 1B

Utilizou-se para a Fase 1B, da mesma forma como na Fase 1A, um painel de imagens da simulação 4D, como uma ferramenta de visualização da execução de *retrofit* ao longo do tempo. Como a obra desta fase não teve início até o fechamento deste trabalho, não se pode analisar o uso desta ferramenta no planejamento da Fase 1B. Contudo, o gerente da obra percebeu a utilidade desta ferramenta para a escolha de alternativas de execução.

Houve uma evolução no desenvolvimento dos modelos 4D da Fase 1A para a Fase 1B. O plano de atividades foi simplificado, reduzindo o número de passos de algumas atividades. Por exemplo, na Fase 1A, a atividade de isolamento térmico da fachada lateral havia sido dividida em 4 lotes menores de execução, com tempo de duração de 2 horas cada um. Cada lote era composto de um conjunto de placas de isolamento. Na Fase 1B, esta atividade estava relacionada ao elemento parede como um todo, e não mais por conjunto de placas. Além disso, em alguns momentos, duas atividades, as quais poderiam ser executadas simultaneamente, foram agrupadas. Por exemplo, as atividades de isolamento térmico e da instalação de um acabamento em pvc, ambas nos beirais do telhado, foram agrupadas e representadas por um mesmo elemento na modelagem 4D. Além disso, verificou-se que a legenda, até então, utilizada não estava atendendo plenamente à sua função, gerando ambiguidade, principalmente com relação às cores atribuídas às camadas de isolamento. Esta legenda foi modificada no final desta etapa, após a apresentação da simulação MOD\_4D\_2\_B\_2, e aplicada na simulação da S1. A mesma encontra-se ilustrada na **Figura 38**.

LEGENDA	
	Aquecedor de AQ + Controle aquec.
	Intalar elemento
	Atividades internas
	Camada 1: placa de isolamento (DI)
	Camada 2: reboco 1ª camada
	Camada 3: malha de fibra de vidro
	Camada 4: reboco 2ª camada
	Camada 5: prime
	Camada 6: pintura/textura final
	Manter elemento
	Remover elemento
	Elemento temporário
	Transparência
	Sistema de ventilação

Figura 38: Legenda das simulações desenvolvidas para S1.

A nova legenda foi desenvolvida para que uma mesma cor de uma determinada camada de isolamento fosse mantida durante a sua execução e após esta ter sido concluída. Por exemplo, a cor da legenda para a instalação das placas dinâmicas é cinza grafite, então enquanto as placas são instaladas, a camada surge de baixo para cima na cor grafite, e após a conclusão desta atividade, a cor grafite permanece nesta camada até o final dos trabalhos, como pode ser notado na **Figura 39**. Esta alteração na legenda das simulações foi importante, uma vez que possibilitou o acompanhamento do desenvolvimento da execução de uma determinada atividade sem ambiguidade. Assim como na Fase 1A, a determinação dos ângulos de observação para a simulação, também recebeu especial atenção.

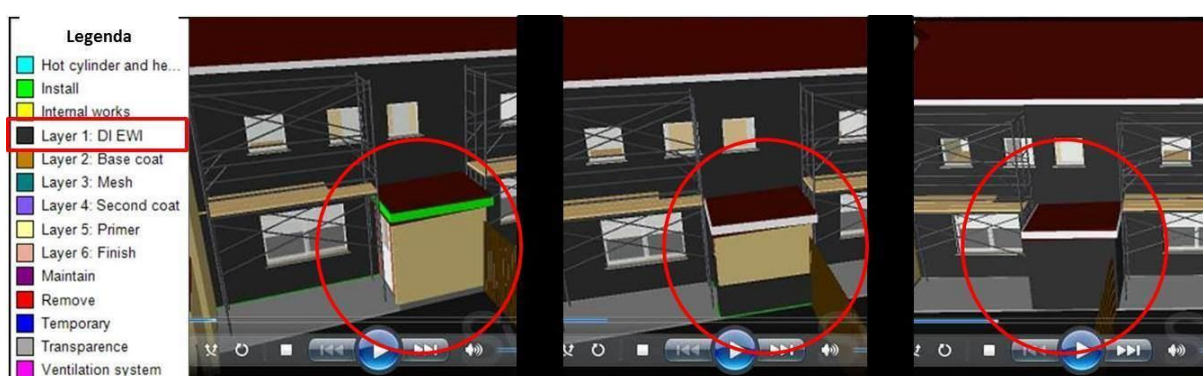


Figura 39: Representação da relação entre a legenda e a atividade de isolamento térmico com placas dinâmicas.

### Estruturação dos cenários

Para a construção dos cenários, foram considerados parâmetros que pudessem ser replicados e diretamente comparados. Tais parâmetros compreenderam aspectos qualitativos e quantitativos, os quais quando vistos de forma integrada proporcionam amplo suporte para a tomada de decisão. Vale ressaltar que os parâmetros utilizados abrangem não somente custo e tempo, mas também fatores ligados à solução técnica empregada e uma avaliação da perturbação causada aos inquilinos. A estruturação de cenários apresentada teve o papel de consolidar os dados oriundos de diversas combinações de solução técnica (ex.: materiais adotados), tempos (ex.: diferentes tempos de execução simulados) e custo (ex.: gastos com materiais).

## 5.3 ETAPA FINAL

### 5.3.1 Criação dos cenários

A criação de cenários pode ter vários caminhos, dependendo das variáveis consideradas. Nesta pesquisa, primeiramente, tentou-se trabalhar com a geração de cenários de maneira mais detalhada, com o foco no desenvolvimento de alternativas de execução, para um mesmo processo de construção. Porém, como a Fase 1A apresentou diversos atrasos e a Fase 1B não iniciou até o final deste trabalho, não foi possível trabalhar dentro desta perspectiva, sendo uma limitação deste trabalho. Desta forma, definiu-se que os cenários seriam gerados de acordo com o tipo de solução técnica adotada para a execução de isolamento térmico das paredes externas. Para o desenvolvimento dos cenários, buscou-se compreender as soluções técnicas que poderiam ser empregadas em habitações com paredes sólidas de concreto, que é o objeto de estudo do S-IMPLER. Para delimitar a pesquisa, optou-se por desenvolver três cenários diferentes, baseados em três soluções técnicas distintas, respectivamente. A partir desta definição, informações sobre dois tipos diferentes de solução técnica foram extraídas de um documento do processo de licitação e um terceiro tipo foi obtido por meio de uma pesquisa em sites de diversos fornecedores de materiais para isolamento. Além disso, este terceiro tipo de solução foi escolhido também pela aplicabilidade da técnica construtiva de isolamento térmico utilizada em habitações de interesse social, ou seja, mesmo contexto das habitações do S-IMPLER. Cabe ressaltar que todas as três técnicas para isolamento térmico das paredes externas, possuem certificado técnico concedido pelo *British Board of Agrément* (BBA)<sup>15</sup>. Cada solução técnica resulta em um processo de construção, porém, este trabalho não tem o propósito de descrever como cada técnica de isolamento funciona.

O primeiro cenário correspondeu à solução técnica vencedora do processo licitatório, ou seja, a solução utilizada na Fase 1A no projeto S-IMPLER, e que será utilizada nas demais fases deste projeto. Neste trabalho, esta solução técnica foi denominada de S1 (solução 1). Um desenho esquemático da representação das camadas de isolamento térmico correspondentes a S1 está ilustrado na **Figura 40**.

---

<sup>15</sup> Órgão inglês que regulamenta todos os materiais de isolamento para construção.

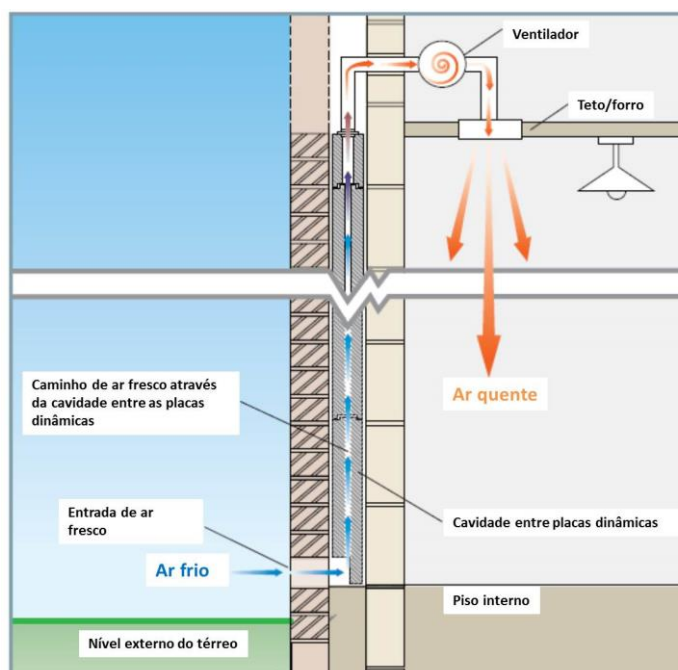


Figura 40: Detalhe esquemático para a solução técnica S1 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor).

O ponto de destaque desta técnica construtiva é a utilização de placas dinâmicas, para compor a camada de isolamento térmico externo. O fornecedor deste tipo de material afirmou que o isolamento térmico com as placas dinâmicas é mais eficaz do que as placas sólidas comuns. Entretanto, a forma de instalação das mesmas é muito similar ao das placas sólidas. A solução técnica S1 é composta por: placas dinâmicas com espessura de 100mm, primeira camada de reboco, malha de fibra de vidro, segunda camada de reboco, primer e textura acrílica compondo as paredes externas ( $U\text{-value}^{16} = 0,13$ ); laje sólida ( $U\text{-value} = 0,60$ ); isolamento do forro do telhado com 550mm de lã mineral ( $U\text{-value} = 0,09$ ); janelas novas em pvc e vidro duplo ( $U\text{-value} = 1,40$ ); portas novas e, pvc e vidro duplo ( $U\text{-value} = 1,80$ ); sistema de ventilação do tipo PIV (SFP 0,20); estanqueidade do ar = 10,00; controles de aquecimento do tipo TRV's.

O segundo cenário correspondeu a uma solução técnica que concorreu ao processo licitatório do S-IMPLER, denominada no presente trabalho de S2 (solução 2). Um desenho esquemático da representação das camadas de isolamento térmico correspondentes à solução técnica S2 está ilustrado na **Figura 41**.

<sup>16</sup> U-value: é uma medida de perda de calor. É expresso em  $W / m^2K$ , e mostra a quantidade de calor perdido em Watts (W) por metro quadrado de material (por exemplo, parede, teto, piso, etc.) quando a temperatura (K) exterior é pelo menos um grau inferior. Quanto mais baixo for o U-value, maior o isolamento fornecido pelo material.

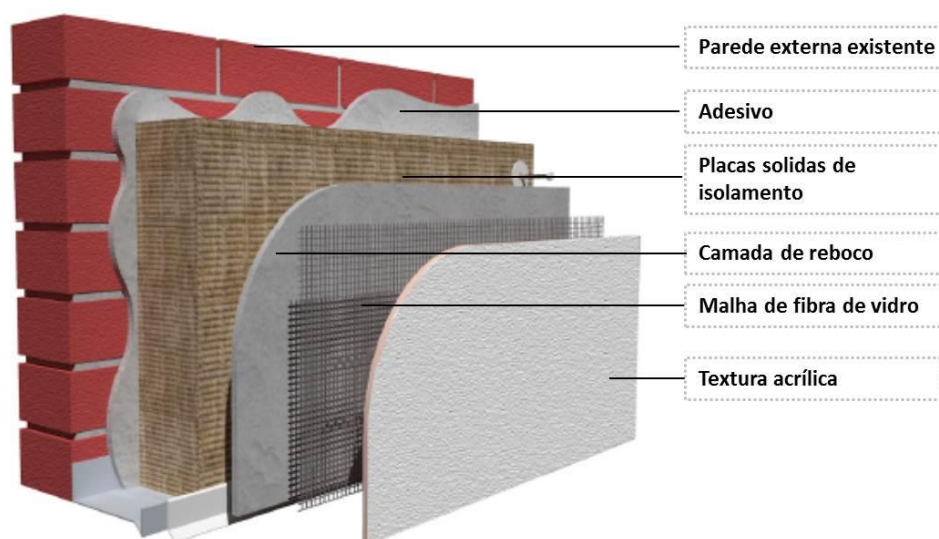


Figura 41: Detalhe esquemático a solução técnica S2 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor).

Nesta técnica construtiva são utilizadas placas sólidas de isolamento, fabricadas em EPS, para compor a camada de isolamento externo. A solução técnica S2 é composta por: camada de adesivo, para colar a placa no substrato existente, placas sólidas com espessura de 150mm, camada de reboco, malha de fibra de vidro e textura acrílica compondo as paredes externas (U-value = 0,21); laje sólida (U-value = 0,55); isolamento do forro do telhado com 250mm de spray de espuma de isolamento em poliuretano (U-value = 0,09); janelas novas em pvc e vidro duplo (U-value = 1,40); portas novas e, pvc e vidro duplo (U-value = 1,10); sistema de ventilação do tipo MVHR (SFP 0,56); estanqueidade do ar = 3,00; controles de aquecimento do tipo TTZC.

O terceiro cenário correspondeu à solução técnica encontrada através da pesquisa em catálogos digitais, denominada de S3 (solução 3). Um desenho esquemático da representação das camadas de isolamento térmico correspondentes à solução técnica S3 está ilustrado na **Figura 42**.

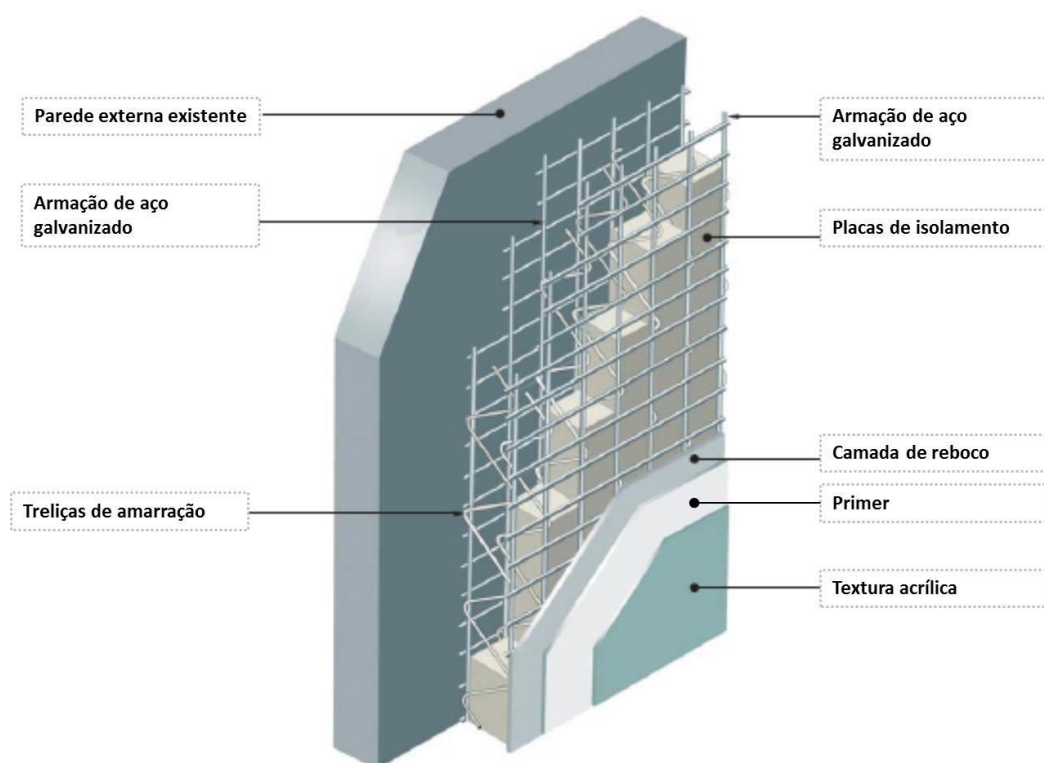


Figura 42: Detalhe esquemático para a solução técnica S3 (Fonte: Adaptado do catálogo digital do fornecedor).

A solução técnica S3 considerou: parede de isolamento estruturada com armaduras em aço galvanizado e placas fenólicas com espessura de 125mm, primeira camada de reboco, segunda camada de reboco, primer e textura acrílica compondo as paredes externas (U-value = 0,25); laje sólida (U-value = 0,60); isolamento do forro do telhado com 550mm de lã mineral (U-value = 0,09); janelas novas em pvc e vidro duplo (U-value = 1,40); portas novas e, pvc e vidro duplo (U-value = 1,80); sistema de ventilação do tipo MVHR (SFP 0,56); estanqueidade do ar = 3,00; controles de aquecimento do tipo TTZC.

Para desenvolver as simulações 4D das soluções técnicas S2 e S3 utilizou-se o modelo **MOD\_3D\_2\_B\_1** como base, que é o modelo das casas 44 e 45 sem qualquer elemento de *retrofit*. Cada solução técnica possui elementos específicos que foram considerados e modelados, bem como uma organização da ordem das atividades própria. Em seguida, foram desenvolvidos planos de execução das atividades, para cada solução técnica, com data fictícia de início em 08/10/2015 e tempo de execução de 4 a 5 semanas, observando sempre o aspecto de perturbação para o usuário final. Os resultados das três simulações realizadas para cada solução técnica são mostrados a seguir. Para fins de organização, cada simulação compreende

um conjunto de 12 imagens em sequência, as quais estão divididas em duas páginas e devidamente identificadas: as **Figuras 43 e 44** ilustram a simulação da solução técnica S1, as **Figuras 45, 46 e 47** ilustram a legenda e a simulação da solução técnica S2, respectivamente, e as **Figuras 48, 49 e 50** ilustram a legenda e a simulação da solução técnica S3, respectivamente.

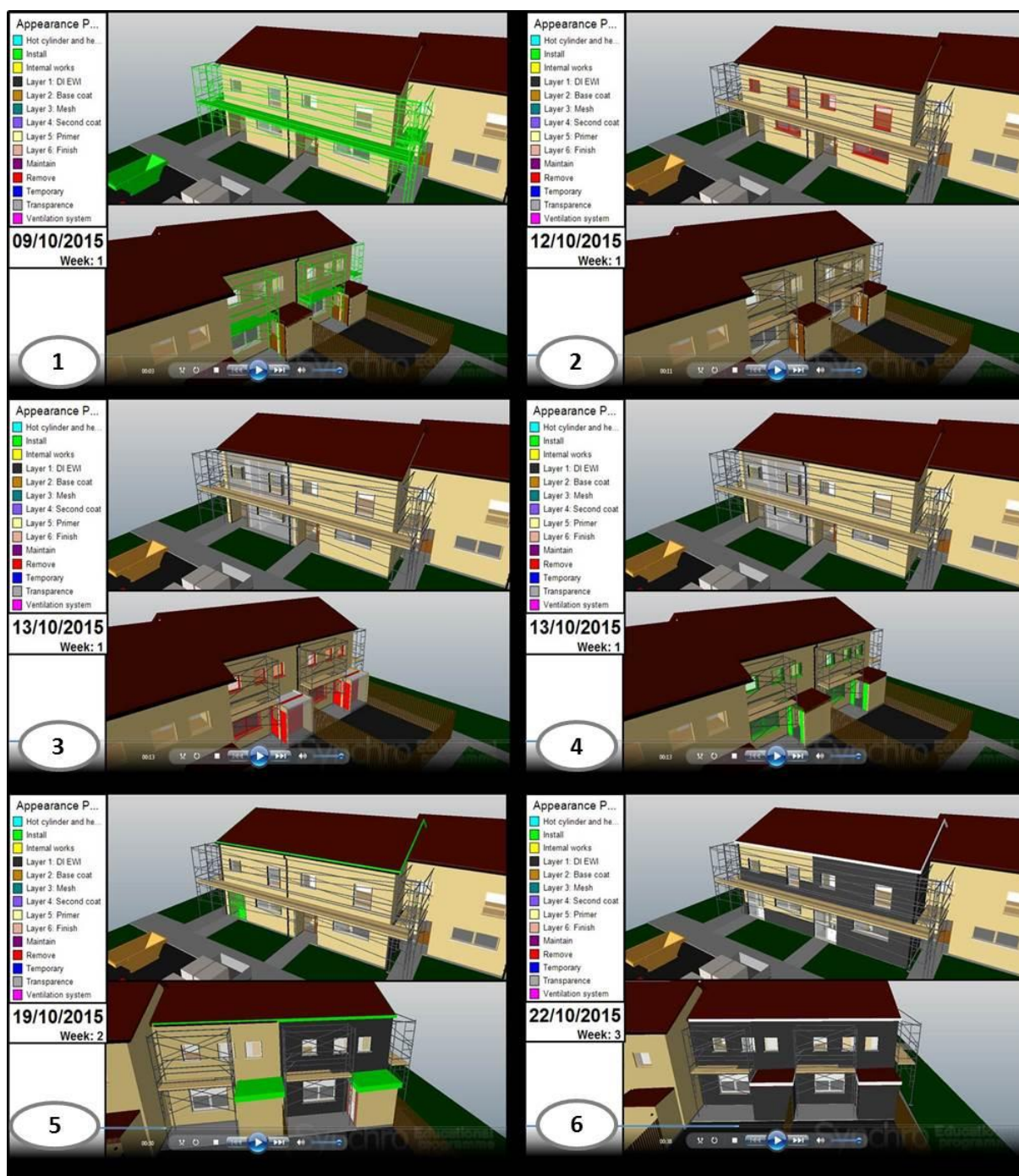


Figura 43: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S1\_parte 1.

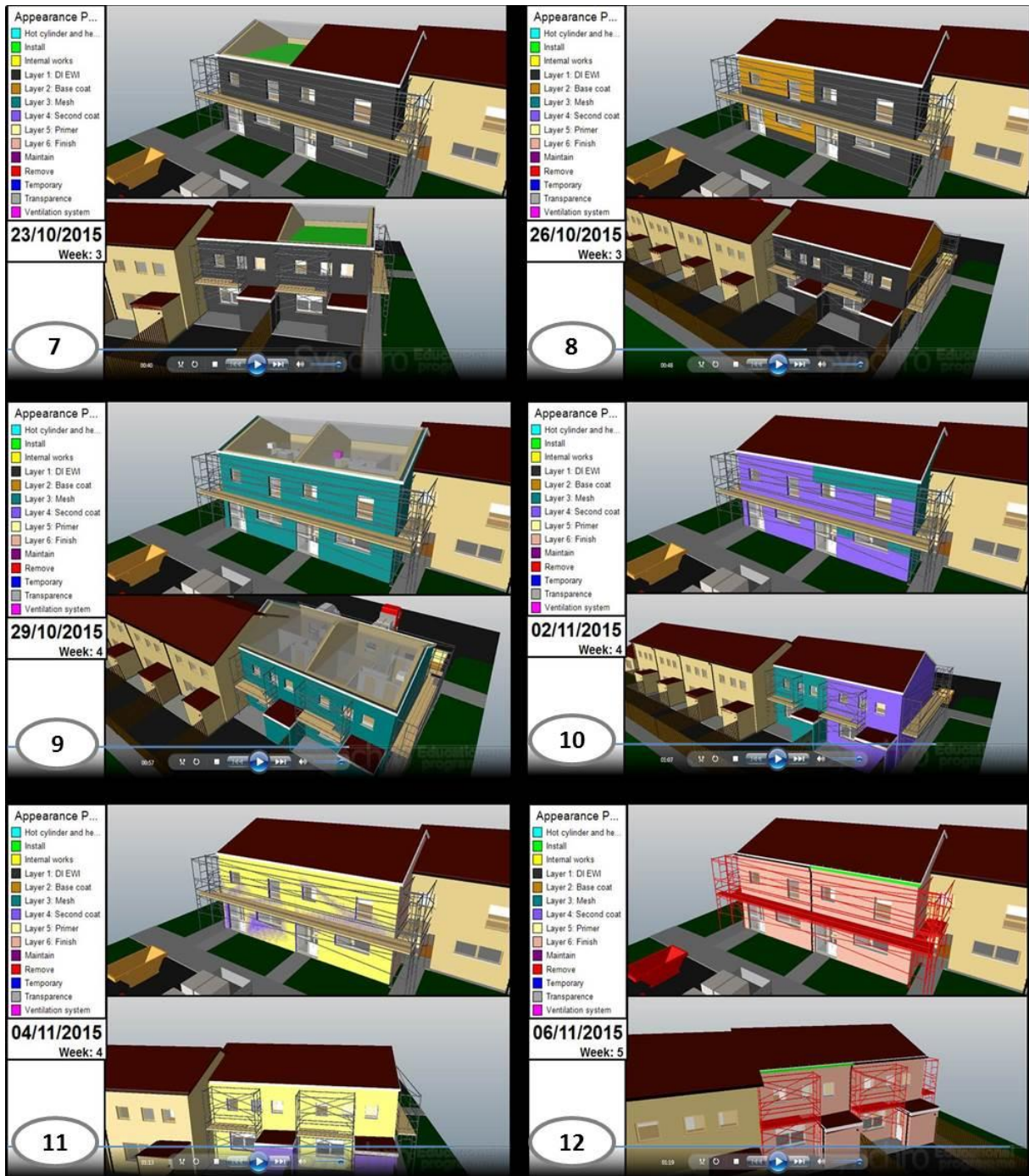


Figura 44: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S1\_parte 2.



LEGENDA	
	Aquecedor de AQ + Controle aquec.
	Intalar elemento
	Atividades internas
	Camada 1: Adesivo + Placas sólidas
	Camada 2: reboco 1ª camada
	Camada 3: primer
	Camada 4: pintura/textura final
	Manter elemento
	Remover elemento
	Elemento temporário
	Transparência
	Sistema de ventilação

Figura 45: Legenda das simulações desenvolvidas para S2.

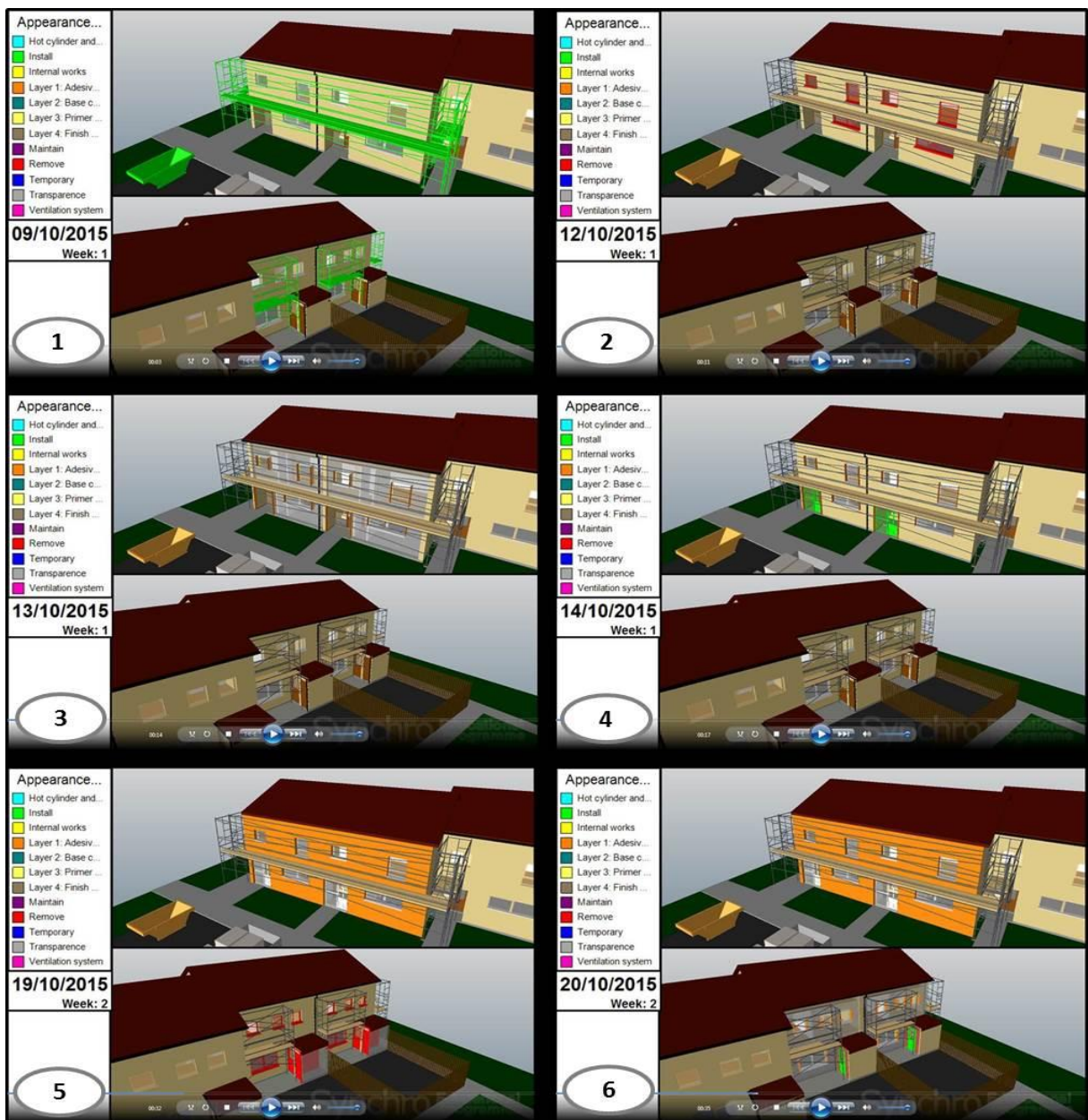


Figura 46: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S2\_parte 1.

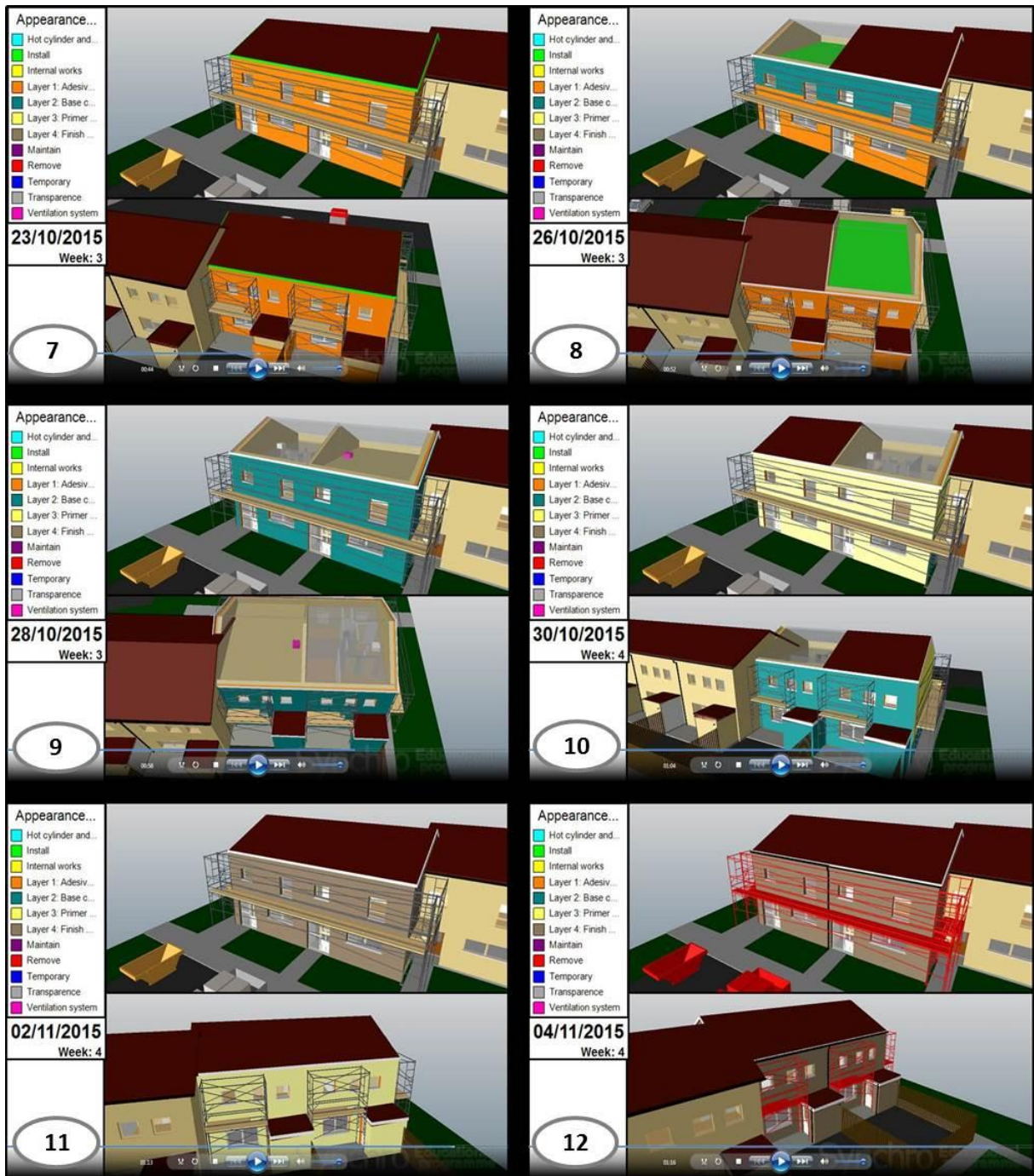


Figura 47: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S2\_parte 2.

LEGENDA	
	Aquecedor de AQ + Controle aquec.
	Intalar elemento
	Atividades internas
	Camada 1: placa de isolam. SEWI
	Camada 2: reboco 1ª camada
	Camada 3: reboco 2ª camada
	Camada 4: primer
	Camada 5: pintura/textura final
	Manter elemento
	Remover elemento
	Elemento temporário
	Transparência
	Sistema de ventilação

Figura 48: Legenda das simulações desenvolvidas para S3.

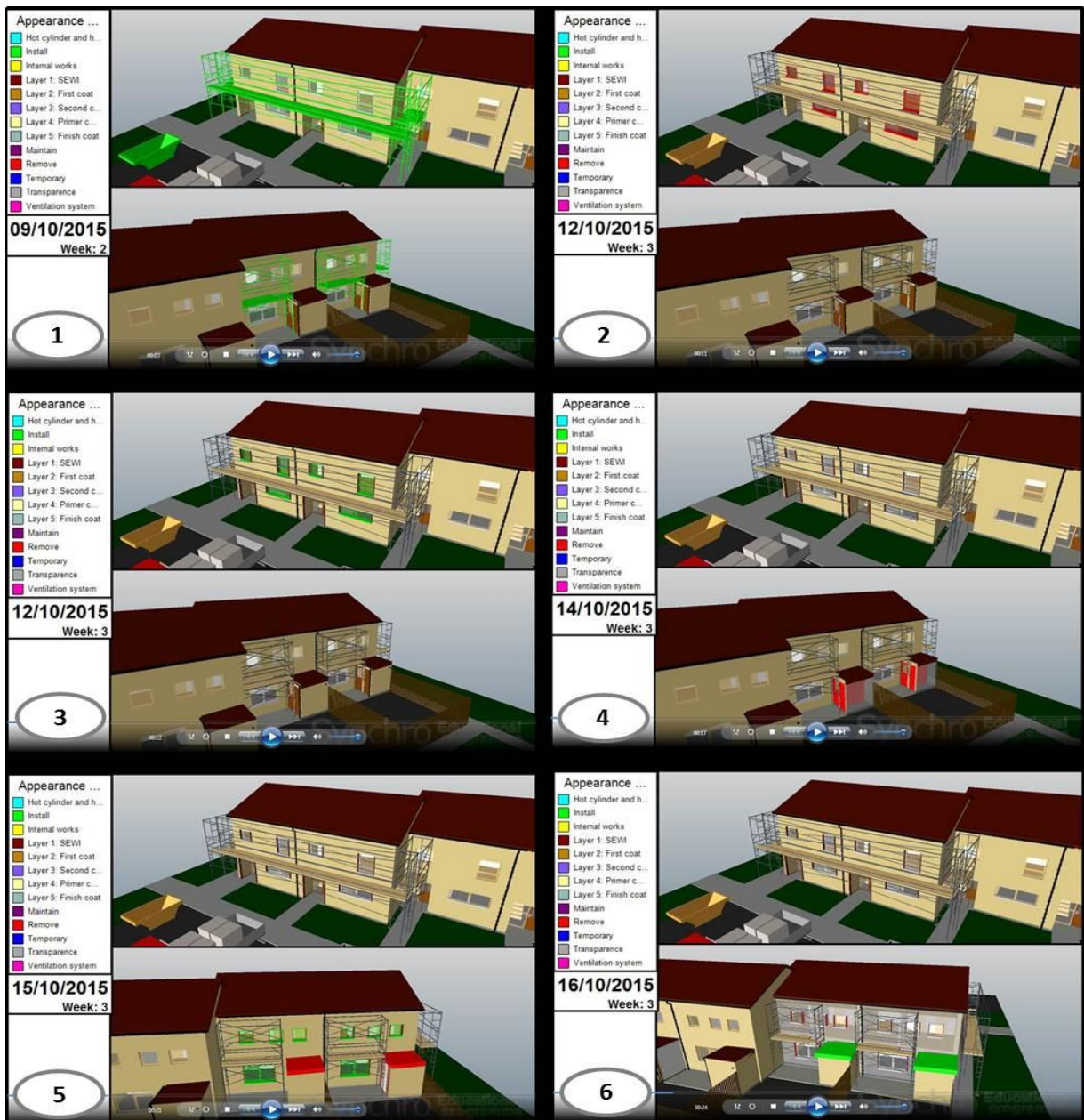


Figura 49: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S3\_parte 1.

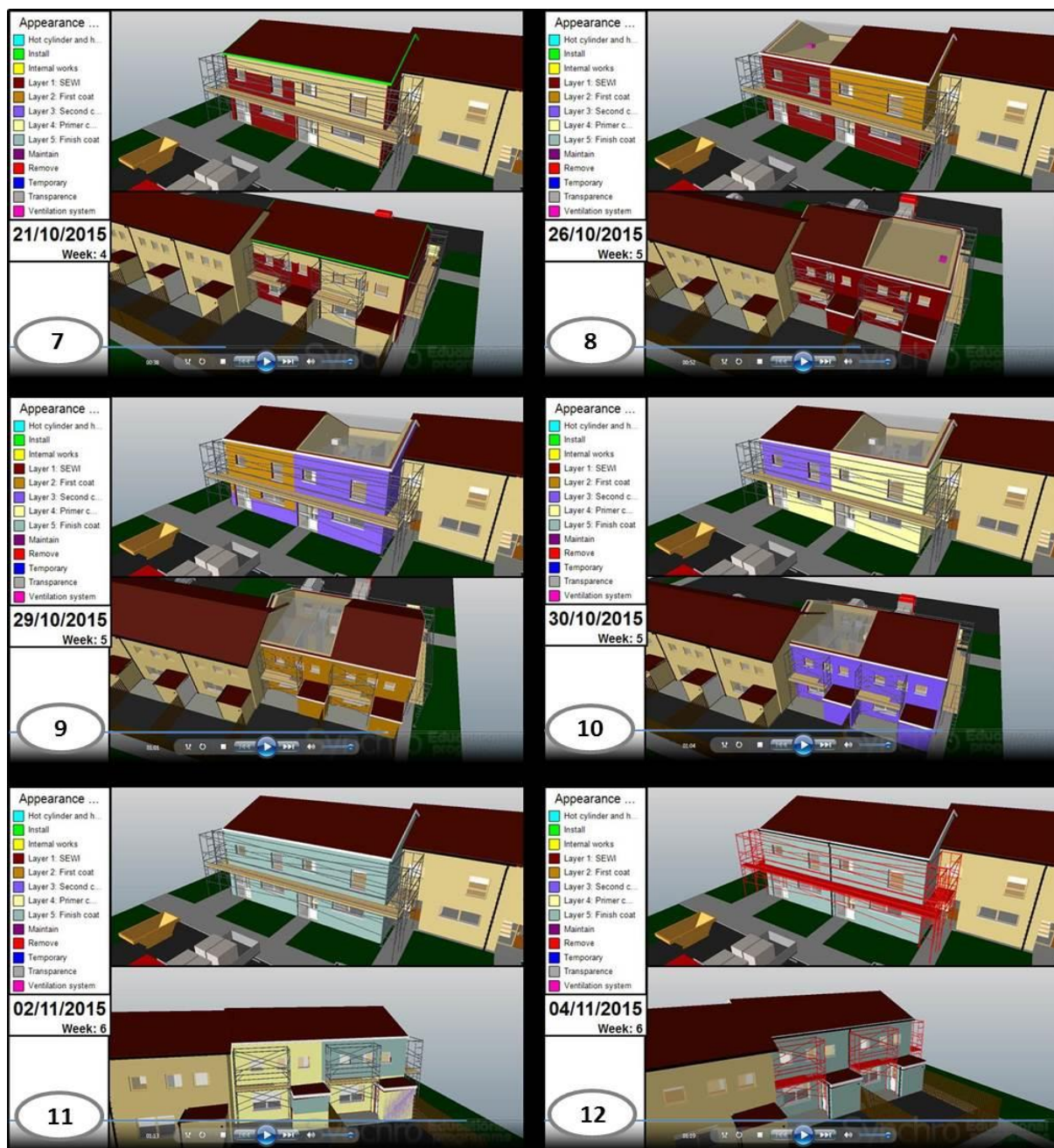


Figura 50: Imagens extraídas da simulação 4D para a solução técnica S3\_parte 2.

Para a construção dos cenários, foram utilizadas, além das simulações 4D, informações obtidas com as planilhas do processo de licitação e dados adicionais coletados em entrevistas, reuniões e observações. As informações referentes ao tempo de execução de *retrofit* e às perturbações para os usuários foram geradas pela pesquisadora. Os dados provenientes das planilhas do processo licitatório contêm informações sobre solução técnica, valor de investimento, custo do consumo de energia com a solução técnica adotada, valor de economia com relação ao custo de consumo de energia original, além da razão entre o investimento e as economias. Tais dados foram organizados pelo BRE em uma planilha, a partir das propostas

dos fornecedores envolvidos no processo licitatório. O fornecedor da solução técnica 3 foi contatado por inúmeras vezes, mas não demonstrou interesse em participar deste estudo. Assim, os cenários completos foram elaborados para as soluções técnicas S1 e S2. Como já mencionado, os cenários foram desenvolvidos considerando a simulação 4D da Fase 1B, ou seja, *retrofit* de duas habitações (44 e 45), sendo assim, as informações, tanto quantitativas quanto qualitativas consideram estas duas habitações.

Os parâmetros obtidos foram tabulados e inseridos em uma matriz de cenários. Esta matriz foi necessária para facilitar a comparação dos cenários, possibilitando ao tomador de decisão a identificação do cenário que apresentava um melhor potencial de execução. A matriz de cenários está representada na **Figura 51**.

MATRIZ DE CENÁRIOS									
		Fator	Qualidade	Custo		Economias		Tempo	Perturbação
		Parâmetro	Solução Técnica Adotada	Investimento/m <sup>2</sup>	Custo do Consumo de Energia Anual com a Solução Técnica Adotada	Economia em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original	Razão entre o Investimento e as Economias em Relação ao Custo do Consumo de Energia Original	Tempo de Construção	Avaliação da Perturbação
		Tipo de Parâmetro	Qualitativo	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Maior é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Quantitativo (Menor é Melhor)	Qualitativo
Cenário 1	44	Solução técnica S1	Com placas dinâmicas 100mm	£146,16	£633,00	39,9%	40,8	22 Dias	Verificar Análise de Perturbação detalhada
	45				£594,00	37,9%			
Cenário 2	44	Solução técnica S2	Com placas sólidas 150mm	£341,07	£445,00	57,7%	63,6	20 Dias	Verificar Análise de Perturbação detalhada
	45				£420,00	56,2%			

Figura 51: Matriz de cenários preenchidas com os dados dos cenários 1 e 2.

Segundo informações sobre o tipo de isolamento térmico 1 e o tipo de isolamento térmico 2, o material e a técnica empregada em ambos são recomendados para habitações com as características das residências 44 e 45. Através da matriz pode-se observar que o cenário 1 possui um custo de investimento menor do que o cenário 2, porém o custo de consumo e

energia para o cenário 1 é maior do que o cenário 2. Neste ponto, é pertinente o tomador de decisão avaliar se este investimento será a curto ou a longo prazo e quanto isso influenciaria na sua decisão. Além disso, os custos apresentados nos documentos consultados são custos que não consideram como as atividades são executadas, mas somente o custo de material e mão-de-obra. Um orçamento de caráter operacional, o qual reflete a forma como será executado determinada solução técnica seria mais eficaz para realizar esta análise.

A economia em relação ao custo do consumo de energia original é maior no cenário 2, porém como o custo de investimento neste cenário é maior, a razão entre o custo de investimento e a economia do consumo torna-se prejudicada. Ao analisar o tempo de construção, os dois cenários são bastante similares. No cenário 1 o plano simulado considerou o plano desenvolvido pelo gerente da obra para a Fase 1B. Já no cenário 2, o plano foi desenvolvido pela pesquisadora que, para algumas atividades, considerou equipes maiores de subempreiteiros, o que ocasionou em um tempo menor para a execução. Neste ponto, deve ser observado a influência do planejamento no custo de execução. No aspecto das perturbações, optou-se por desenvolver um quadro separado de apoio à simulação 4D, para que o tomador de decisão analisasse as mesmas. Este quadro (**Figura 52**) apresenta os fatores causadores de perturbação considerando a revisão bibliográfica e as entrevistas com os envolvidos no S-IMPLER, uma vez que, os questionários com os moradores não haviam sido aplicados.

Fatores causadores de perturbações para os usuários	Cenário 1: afeta ou não	Cenário 2: afeta ou não	Cenário 1: em qual nível?	Cenário 2: em qual nível?	Cenário 1 – Por quanto tempo?	Cenário 2 – Por quanto tempo?
Interrupção do fornecimento de gás	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Interrupção do fornecimento de eletricidade	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Interrupção do fornecimento de água	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Interrupção do acesso ao edifício	S	S	Baixo	Baixo	22 dias	20 dias
Interrupção do cotidiano dos usuários	S	S	Alto	Baixo	6-7 dias	4-6 dias
Necessidade de sair da habitação e ir para outro local	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Barulho	S	S	Baixo	Baixo	8-9 dias	6 dias
Sujeira (poeira, detritos, etc.)	S	S	Medio	Medio	8-9 dias	9 dias
Tirar dias de folga para acompanhar a obra	S	S	Alto	Alto	10 dias	11 dias
Movimentação de bens pessoais e móveis pelo usuário	S	S	Baixo	Baixo	3-4dias	4 dias
Interrupção do ambiente externo	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Interrupção das instalações externas (ex. estacionamento)	N	N	N/A	N/A	N/A	N/A
Perda de luz natural	S	S	Baixo	Baixo	3-4dias	4 dias
Interrupção do sinal de TV	S	S	Baixo	Baixo	0,5 dia	0,5 dia

Figura 52: Análise das perturbações encontradas nos cenários 1 e 2.

Com a conclusão do desenvolvimento dos cenários e da elaboração de uma matriz resumindo seus resultados, foi realizada uma entrevista com o representante do cliente. Tal entrevista teve como objetivo apresentar a matriz de cenários e discutir o conjunto de recomendações que estava sendo desenvolvido. Como o representante do cliente pode ser considerado um tomador de decisão no processo de *retrofit*, as suas considerações foram relevantes. Primeiramente, ele analisou a matriz dos cenários observando os parâmetros apresentados. Dentre todas as informações apresentadas, apenas as relacionadas aos custos foram consideradas como de limitada compreensão, uma vez que não representam os custos do escopo completo do projeto. Sendo assim, não se pode afirmar que de fato o cenário 2 possui um valor de investimento maior, uma vez que os custos apresentados pelo fornecedor

do cenário 1 durante o processo de licitação foram reformulados, após vencer a concorrência e antes de iniciar os trabalhos de execução. Contudo, ele considerou a matriz como uma ferramenta que agrega valor para a comparação rápida de ambas as propostas. Adicionalmente, ele sugeriu a inclusão de informações de tempo de retorno de investimento, pois considera um indicador amplamente adotado pelo mercado. Observando a matriz sob o ponto de vista de um cliente-proprietário público, ele acredita que as decisões sejam tomadas em primeiro lugar com relação à opção que possui o menor custo. Em segundo lugar, ele indica a opção que oferece uma maior economia com relação ao custo de energia.

Na segunda parte da entrevista, o representante do cliente analisou o conjunto de recomendações proposto nesta pesquisa. Ele considerou as recomendações apresentadas úteis em termos de compreender o caminho crítico para o produto final e para melhorar o prazo para tomar as decisões. Além disso, ele acredita que este conjunto de recomendações poderia ser utilizado na etapa 2 do *RIBA Plan of Works 2013*, que é a etapa de projeto conceitual. Esta etapa tem como objetivo preparar propostas e especificações resumidas, além de informações preliminares de custo.

### 5.3.2 Conjunto de recomendações para o uso de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*

Conforme mencionado no capítulo 4, o conjunto de recomendações foi desenvolvido gradualmente e de forma iterativa, ao longo do estudo empírico, sendo consolidado no final deste trabalho. Na etapa inicial, alguns passos deste conjunto de recomendações puderam ser construídos, como a identificação e captura dos principais requisitos do cliente e modelagem BIM 3D e 4D. Tais requisitos permitem desenvolver o processo de *retrofit* com mais eficiência e menos perturbação aos usuários finais. A modelagem 3D e 4D ao longo desta etapa permitiu definir-se um nível de detalhamento dos elementos que compreendem a modelagem. Na etapa intermediária, as modelagens 3D e 4D foram novamente utilizadas e novas considerações a respeito destas foram incorporadas ao conjunto de recomendações. Nesta mesma etapa, outros passos foram construídos. Estes estavam relacionados à caracterização das perturbações para os usuários finais, os demais parâmetros incorporados aos cenários e a estruturação dos cenários. Ainda nesta etapa, a caracterização das perturbações obtida inicialmente pôde ser analisada e efetivamente aplicada, nos modelos 4D da Fase 1B. Na etapa final os cenários foram elaborados e a matriz de cenários foi formulada.



Ambos foram aplicados nesta mesma etapa. Ao final desta etapa, obteve-se uma avaliação e, consequente, validação preliminar do conjunto de recomendações proposto.

A solução (conjunto de recomendações) proposta é apresentada na **Figura 53**, que indica a sequência dos passos para o uso de BIM 4D e a geração e escolha dos cenários do tipo *what-if* em empreendimentos habitacionais de *retrofit*. As setas cinzas apresentam o caminho sequencial desses passos. Já as setas vermelhas representam as possibilidades de *loops* existentes na solução proposta.

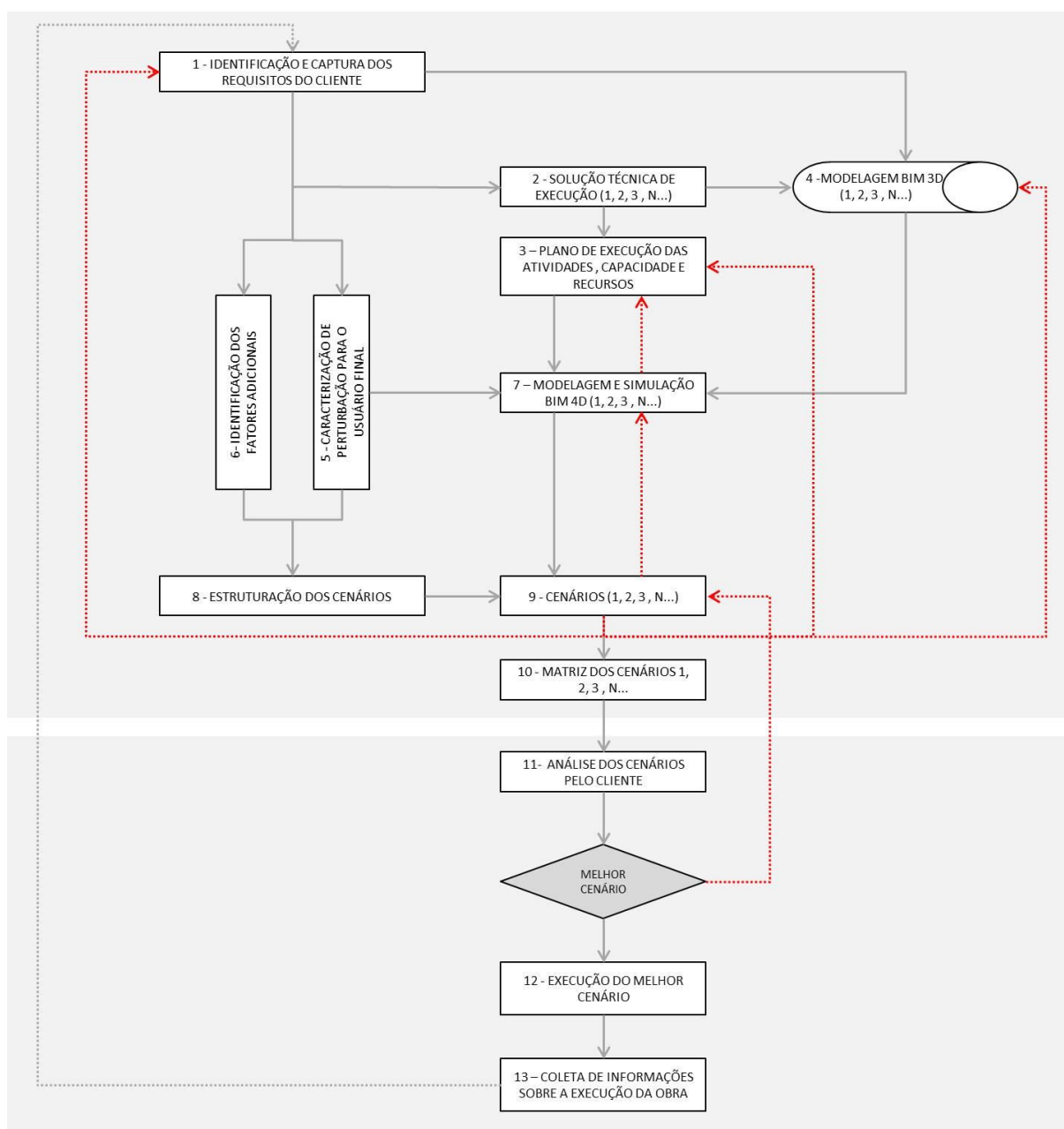


Figura 53: Conjunto de recomendações para utilizar BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*.

O conjunto de recomendações proposto é apresentado em mais detalhes a seguir.

O passo número 1 - **identificação e captura dos requisitos do cliente** - é um passo muito importante, pois, segundo Kalynaram e Krishnan (1997) *apud* Miron (2002), um produto bem-sucedido inicia a partir da identificação das necessidades dos clientes e tradução das mesmas em requisitos, para serem acompanhados ao longo do processo de desenvolvimento do produto, o qual é caracterizado neste estudo por habitações sociais reformadas. Segundo Baldauf (2013), a etapa de identificação dos requisitos do cliente deve definir o contexto do empreendimento e explicitar os objetivos do mesmo, identificar o grupo de clientes e responsáveis por tomar decisões e obter os requisitos dos clientes. No âmbito do processo de *retrofit* em habitações, os objetivos do empreendimento podem englobar diferentes requisitos. Neste trabalho, os requisitos necessários para os cenários do tipo *what-if* relacionados ao projeto são relativos à eficácia do sistema de isolamento térmico das paredes externas, ou o conjunto da solução técnica adotada, e também, relativos aos custos do empreendimento. O requisito da produção percebido está relacionado à definição do melhor plano de execução das atividades. Adicionalmente, existem os requisitos dos usuários finais, relacionados às perturbações causadas durante as obras. Considerando os clientes envolvidos no contexto de habitações, o processo de *retrofit* pode possuir dois clientes finais: cliente-proprietário e o cliente-usuário. O cliente-proprietário, que no projeto investigado é o provedor público de habitação, assume o papel como responsável por tomar diversas decisões de projeto e também de construção. Já o cliente-usuário, neste caso as famílias de baixa renda, tem o papel de inquilinos das habitações e permanecem ocupando as mesmas durante o período de execução do *retrofit*. Desta forma, nesta pesquisa os requisitos dos clientes foram identificados e capturados através de consulta a documentos do projeto S-IMPLER, além de entrevistas com o representante do cliente (*Housing Association*) e observação participante. Considerando o artefato de forma genérica, os requisitos podem e devem ser capturados não somente junto ao cliente-proprietário, mas necessariamente, junto aos usuários finais.

O passo seguinte é a **definição de opções de solução técnica**. Neste momento, antes de investigar alternativas de solução técnica para reformar a edificação, considerando os requisitos do cliente, é necessário fazer um levantamento detalhado da edificação, envolvendo medições atuais e identificação das tecnologias e materiais de construção utilizados. É possível que a edificação a ser reformada não possua uma documentação atualizada. Assim, estas informações levantadas, como a tecnologia construtiva utilizada quando o mesmo foi

concebido, facilitam na indicação dos tipos de solução técnica que podem ser adotadas. Segundo, se o empreendimento possui objetivos conflitantes, é importante compreender se estas soluções atendem a todos os objetivos. No presente trabalho, as habitações investigadas possuíam paredes construídas de concreto *in loco*, sem agregados finos. Um dos objetivos estabelecidos pelo S-IMPLER é atingir uma economia de 60% de eficiência energética. Sendo assim, a solução técnica adequada teve que adotar os materiais e técnicas eficazes para atender este objetivo, observando a tecnologia construtiva da edificação existente.

O terceiro passo é a **definição de plano de execução das atividades, capacidade e recursos**. Este passo depende do processo de execução da solução técnica previamente selecionada. Cada solução técnica possui um processo de construção que abrange um conjunto de diretrizes padrão de execução (por exemplo, aberturas precisam ser instaladas antes das placas de isolamento térmico das paredes externas, a fim de evitar futuros retrabalhos). As atividades críticas devem ser observadas no momento do desenvolvimento do plano de execução das atividades. Além da definição das tarefas, os tamanhos das equipes e os equipamentos a serem utilizados na execução da solução técnica devem ser dimensionados e definidos. Cada processo de execução pode gerar diferentes planos, dependendo de alguns fatores, tais como o tamanho das equipes de execução para cada pacote de tarefas. O número de alternativas deve ser definido pelo tomador de decisão nesta fase, que deve considerar a necessidade de minimizar a perturbação dos usuários finais durante as obras de *retrofit*. Sugere-se desenvolver o plano de execução das atividades por lotes de frente de trabalho. Neste estudo, por exemplo, dividiu-se as frentes de trabalho em fachada frontal, fachada lateral, fachada fundos, extensão fundos (para a parte construída anexa à habitação principal) e casa (para todos os serviços internos e externos, que não se enquadravam nos lotes citados). O plano de atividades pode ser desenvolvido em *software* específicos de planejamento ou ainda, diretamente no *software* 4D, quando este permitir. Esta informação de entrada é considerada na modelagem BIM 4D.

Após a definição de opções de solução técnica, deve-se prosseguir para o passo 4: **modelagem BIM 3D**. O grau de dificuldade deste passo depende das informações disponíveis a respeito da edificação existente. Como já destacado por Eastman *et al.* (2011), no capítulo de revisão de literatura (item 3.4.2), “o nível de detalhamento das informações em um modelo varia de acordo com o propósito do modelo, função para a qual ele será utilizado, ou o uso necessário para tomar decisões de projeto e prosseguir com o trabalho”. Neste trabalho o

modelo 3D serve de informação de entrada para a modelagem 4D, a qual objetiva visualizar o progresso do plano de execução das atividades e as perturbações causadas aos usuários durante os trabalhos. Todos os elementos e componentes principais relacionados à habitação foco do *retrofit* devem ser modelados e suas informações básicas inseridas no modelo. Desta forma, o modelo 3D deve apresentar um nível de detalhamento LOD 300, o qual possa representar todas as principais atividades de execução de *retrofit*. Por exemplo, se o processo de *retrofit* possui substituição das aberturas, estas devem estar claramente representadas no modelo para que possam ser visualizadas facilmente. Entretanto, detalhes construtivos das aberturas e acabamentos como fechaduras, maçanetas, tipo do vidro, entre outros, não foram relevantes neste estudo. Caso seja necessário, dados adicionais como quantidade e valores financeiros dos itens utilizados, esses devem ser inseridos no modelo para fins comparativos. O nível de detalhamento de elementos como entorno ou edificações vizinhas pode ser o LOD 200, ou seja, inferior aos dos elementos principais, uma vez que o interesse na modelagem destes elementos é apenas estético, considerando a finalidade dos modelos 4D. Portanto, os elementos principais do modelo são representados graficamente em um formato mais definido em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Cada solução técnica sugerida gera uma versão do modelo BIM 3D original, de acordo com os elementos que precisam ser adicionados. Esta informação de entrada é considerada na modelagem BIM 4D.

A **caracterização das perturbações causadas ao usuário final** durante a execução das obras, das habitações a serem reformadas também é uma informação de entrada da modelagem 4D. Sugere-se investigar, junto aos ocupantes das edificações a serem reformadas quais perturbações são toleráveis por eles e por quanto tempo elas são toleráveis. A investigação deve utilizar como base de referência uma lista de perturbações, tal como aquela proposta neste trabalho. Após a realização das obras, uma nova investigação deve ser realizada para avaliar a pertinência dos fatores apontados no início do processo. Este passo deve ser considerado na simulação 4D, para verificar qual plano de execução afeta menos os usuários finais.

Em paralelo ao passo anterior ou subsequente a ele, os demais fatores a serem considerados na criação dos cenários devem ser definidos neste momento, caso seja necessário. Este passo é denominado **identificação dos dados adicionais**. Entende-se por dados adicionais as informações referentes a custo, tempo, qualidade, saúde e segurança, entre outros. Neste trabalho, os dados adicionais foram descritos na estruturação dos cenários, final da etapa

intermediária. Eles foram obtidos através dos documentos do processo licitatório do S-IMPLER. Um dado adicional pertinente à criação de cenários que utilizam modelos 4D é o custo para cada plano de execução das atividades, pois envolve custos obtidos a partir do planejamento da produção. Neste trabalho, não foi possível identificar tais custos, somente o custo de material e mão-de-obra especificados no processo de licitação.

O passo número 7 é a **modelagem e simulação 4D**. Os usuários dos modelos 4D devem ser definidos previamente. Caso os usuários do modelo não possuam conhecimento da ferramenta BIM, eles devem receber treinamento da mesma. Os possíveis usuários dos modelos 4D são as pessoas envolvidas na gestão da construção, tais como o gerente da obra, mestre da obra, engenheiro da obra, incluindo empreiteiros e subempreiteiros, o cliente, entre outros. O modelo BIM 4D tem como informações de entrada o modelo BIM 3D da edificação existente acrescido da solução técnica selecionada e o plano de execução das atividades do empreendimento para a solução técnica correspondente. Neste trabalho, foi considerado um plano de execução para cada solução técnica, o que resulta em um modelo 4D por opção de solução técnica. Ou seja, definiu-se um plano de execução das atividades, com tempo definido de execução e tamanho da equipe de cada atividade, para a solução técnica S1, por exemplo. E, desta forma, apenas uma simulação 4D foi criada para a solução técnica S1.

Sugere-se que antes de importar o modelo BIM 3D, por arquivo IFC, para o *software* de modelagem 4D, faça-se uma verificação<sup>17</sup> do modelo 3D, observando se todos os elementos estão visíveis. Mesmo depois da verificação apontar que o modelo está completo para ser importado para o *software* 4D, alguns elementos podem necessitar ajustes como troca de cores, texturas, complementos de objetos, etc. dentro do *software* 4D. Isso depende da interoperabilidade entre os *softwares* BIM utilizados. É importante observar os casos nos quais os empreendimentos não possuem um plano previamente estabelecido e formulado em um *software* próprio para o desenvolvimento do planejamento das obras. Nesta condição, o plano deve ser desenvolvido diretamente no *software* para modelagem 4D, conforme mencionado no passo 3. Após a importação do plano de outro *software* ou desenvolvido no próprio *software* 4D, e do modelo 3D com os elementos necessários<sup>18</sup> no processo de *retrofit*, para o *software* 4D, tais elementos são conectados às atividades do plano, gerando modelos 4D. Destaca-se neste ponto, que os modelos 4D podem e devem ser gerados diversas vezes,

---

<sup>17</sup> Existem *software* BIM próprios para este tipo de verificação. Esta tarefa não é requisito para a modelagem 4D, mas serve como complemento e auxilia na identificação de “conflitos” no modelo, que podem ser corrigidos antes de iniciar a modelagem 4D.

<sup>18</sup> Como trata-se de *retrofit*, não são todos os elementos que compõem o modelo que serão conectados às atividades.

para diferentes alternativas, apresentando-se, assim, um número maior de cenários para o tomador de decisão.

Uma medida relevante é a diferenciação dos pacotes de trabalho por cores, já que se trata de um *retrofit* onde elementos são adicionados, subtraídos ou substituídos a partir do elemento principal, que é a edificação, conforme constatado no estudo de Chen *et al.* (2013). Como recomendação genérica, um conjunto ideal de cores para retratar o progresso da execução do *retrofit* deve ser elaborado. Aconselha-se a escolher cores diferentes para soluções técnicas diferentes, a fim de evitar dificuldades no momento da visualização das simulações. No presente trabalho, optou-se por aperfeiçoar a legenda com cores distintas para cada camada de isolamento térmico da parede externa, facilitando a visualização na simulação das atividades que abrangem estas camadas. Com o modelo 4D pronto, o próximo passo dentro da modelagem é a simulação 4D. Para a simulação sugere-se a utilização de duas câmeras ou mais, quando possível, para facilitar a visualização das atividades por diferentes ângulos. Como o processo de execução é rápido e muitas atividades são desenvolvidas simultaneamente em diferentes fachadas, torna-se impossível visualizar todo o processo com apenas um ponto de vista (uma câmera). Os vídeos devem possuir uma resolução alta suficiente, para que todos os elementos e cores das atividades sejam claramente visualizados. Se a forma de utilização da simulação for uma sequência de imagens a partir do vídeo (*screenshots*), a velocidade do vídeo não é relevante. Entretanto, tais imagens devem ser selecionadas a partir do vídeo de simulação, considerando os acontecimentos mais relevantes do processo de execução. Não há um número de imagens pré-estabelecido, pois este número depende de cada processo de execução. Neste trabalho, na Fase 1A o painel abrangia 36 imagens, enquanto na Fase 1B o painel compreendia 42 imagens. O importante é a simulação permitir que o usuário perceba, além do progresso de execução da obra, as perturbações causadas durante a mesma.

O passo número 8, **estruturação dos cenários** do tipo *what-if*, depende exclusivamente dos passos 5 e 6. Após a definição de todos os dados de entrada dos cenários, deve-se desenvolver uma estrutura de cenários contendo todos os parâmetros que serão preenchidos no passo seguinte. Os parâmetros considerados devem possibilitar a sua replicação e comparação direta. Estes parâmetros podem apresentar aspectos quantitativos, qualitativos ou ambos, os quais devem permitir uma análise de forma integrada. Quanto maior a variedade de parâmetros, maior é o número de informações disponibilizadas nos cenários, para facilitar a

tomada de decisão. Esta estrutura pode ser criada no formato de quadro como foi desenvolvida neste trabalho, apresentado na seção anterior. Neste trabalho utilizou-se parâmetros relacionados à diferentes opções de soluções técnicas para as habitações *no-fines solid wall*.

Após a estruturação dos cenários e simulação 4D desenvolvidas, deve-se **gerar os cenários** de fato. Este passo corresponde à criação de alternativas potenciais de *retrofit* para um processo de execução específico. O número de cenários *what-if* deve ser pré-estabelecido, a fim de avançar para o próximo passo. Devido a limitações já mencionadas neste trabalho, optou-se por gerar apenas um cenário a partir de cada simulação 4D. Contudo, sabe-se que quanto mais informações o tomador de decisão possuir, mais fácil torna-se o processo de tomada de decisão. Neste trabalho, cada cenário possui dados quantitativos (custo de investimento, por exemplo) e qualitativos (análise das perturbações para os usuários) referindo-se a uma única e respectiva solução técnica de construção. Neste passo, pode-se identificar a necessidade de refinar passos anteriores como a modelagem 3D, a modelagem 4D, o plano de execução das atividades, e até a identificação de requisitos, como representado no método pela Figura 53.

O passo número 10 é a **elaboração da matriz de cenários**. Depois que um número de cenários foi definido, eles devem ser comparados entre si através de uma matriz de cenários. A matriz deve conter, portanto, todos os cenários gerados. Esta matriz deve possibilitar a visualização e compreensão dos cenários de forma evidente. Um conjunto de critérios deve ser utilizado para auxiliar o processo de análise e seleção do melhor cenário como parte do processo de tomada de decisão realizado pelo tomador de decisão. O objetivo da matriz é apresentar resultados a partir de diferentes cenários para os tomadores de decisão.

A partir da matriz de cenários, o tomador de decisão fará uma **análise dos cenários**. Esta análise termina com a escolha do melhor cenário, ou seja, aquele que melhor atende os requisitos do cliente. Caso nenhum dos cenários seja considerado satisfatório pelo tomador de decisão, deve-se retornar para o passo 9 (gerar os cenários). Ainda assim, o tomador de decisão poderia apenas continuar fazendo análises do tipo *what-if* para tomar decisões posteriores.

Após a escolha do cenário mais adequado pelo tomador de decisão, um construtor pode ser definido e contratado pelo cliente, para a **execução do cenário escolhido**. Ou ainda, um, ou

mais de um, construtor poderia participar no processo de escolha do cenário, na etapa de criação e avaliação dos cenários.

Após a execução do melhor cenário, o tomador de decisão pode **coletar informações sobre a execução da obra**, a fim de obter informações adicionais para retroalimentar futuros empreendimentos de *retrofit*. Como exemplo de informações adicionais que podem ser obtidas a partir da execução das obras e da comparação entre os cenários estão a identificação das restrições encontradas na execução das obras, ou ainda, o resultado de uma pesquisa com os usuários para compreender se as perturbações previstas no início do processo aconteceram ou se novas perturbações emergiram.

### 5.3.3 Considerações finais

A solução proposta consiste em um conjunto de recomendações que tem como objetivo orientar ações a serem desenvolvidas, bem como direcionar as informações que precisam ser coletadas. Os 13 passos deste conjunto de recomendações foram desenvolvidos especialmente para o contexto de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Obras de *retrofit* apresentam dificuldades inerentes como as apresentadas no capítulo de revisão bibliográfica. O alto grau de incerteza estabelecido nestes empreendimentos está relacionado a fatores, que podem ser encontrados durante as obras. Tais fatores podem estar relacionados aos materiais prejudiciais à saúde como o amianto, ao impacto do empreendimento no meio-ambiente, ao estado de conservação da edificação, às características técnicas da edificação existente, entre outros. Enquanto isso, a variabilidade dificulta a padronização e o detalhamento dos processos em empreendimentos de *retrofit*, assim, este tipo de empreendimento não possibilita a definição de padrões, com antecedência. Além disso, são obras que demandam elevado grau de interdependência, envolvimento e cooperação dos diferentes envolvidos. A utilização de modelagem e simulação 4D somente na etapa de projeto não é o suficiente para o apoio à gestão de empreendimentos deste tipo, por isso são necessárias diversas rodadas de simulação e de desenvolvimento de cenários, criando-se a possibilidade de previsão das implicações de projeto e conseqüentemente de execução dos trabalhos. A caracterização das perturbações também é fundamental, para facilitar a interação entre os usuários finais e equipes de projeto e execução.



### 5.3.4 Avaliação teórico-prática da solução proposta

Nesta seção, os resultados deste trabalho foram analisados por meio dos constructos: utilidade e facilidade de uso e seus respectivos critérios.

#### 5.3.4.1 Utilidade

O constructo utilidade foi avaliado em relação a contribuição do conjunto de recomendações para o uso de BIM 4D em empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Dessa forma este constructo foi avaliado segundo os critérios: 1) análise das perturbações a serem causadas aos usuários finais, 2) análise de planos alternativos de execução da obra de *retrofit*, 3) análise de cenários alternativos para projeto de *retrofit*.

O conjunto de recomendações proposto utiliza simulações 4D para visualizar o progresso da execução do *retrofit* e identificar as perturbações causadas aos usuários finais. Um dos passos deste conjunto de recomendações é a caracterização das perturbações. Quando as perturbações são identificadas e analisadas, através das simulações, elas podem permitir a redução da insatisfação do usuário final, ao final da execução das obras. Isso foi verificado, em primeiro lugar, na revisão de literatura, que afirma que o usuário tolera vários tipos de perturbações desde que previamente informado sobre as mesmas. Além disso, trabalhos relacionados à reforma em edificações ocupadas destacaram algumas perturbações, que foram utilizadas para a elaboração de uma lista de perturbações. Em segundo lugar, foi verificado nas entrevistas com os envolvidos no projeto e execução, que destacaram novos fatores causadores das perturbações. No questionário aplicado com os moradores foi verificado que as análises das perturbações, quanto ao grau de intensidade e tempo de duração, podem variar e divergir de pessoa para pessoa. Também, foi verificado tanto pela pesquisadora quanto em reunião com o representante do cliente, a importância de caracterizar as perturbações de forma prévia para posteriormente identificá-las através das simulações 4D. Portanto, a análise das perturbações a serem causadas aos usuários finais é útil para o conjunto de recomendações, pois a partir destas perturbações serão gerados cenários do tipo *what-if*.

O conjunto de recomendações proposto considera a análise de diferentes planos de execução das atividades, aumentando o apoio à tomada de decisão na etapa de execução da obra. Tal análise foi possibilitada através da geração de diferentes alternativas de construção, a partir de simulações 4D. O gerente da obra pode decidir sobre o melhor plano de execução considerando tempo e perturbação dos usuários. Com base nestas simulações houve um maior

número de informações para apoiar as decisões de execução das obras de *retrofit*. Não foi possível testar diferentes alternativas de plano de execução, devido à falta de tempo até a conclusão deste trabalho. Porém, este subconstructo foi evidenciado através de entrevistas semiestruturadas realizadas com o gerente da obra e o mestre da obra, durante as Fases 1A e 1B, as quais apontaram as simulações 4D como ferramentas úteis para o planejamento da obra, em complemento ao painel de marcadores coloridos, já utilizado no canteiro. Ambos entrevistados acreditam que nas próximas fases do projeto S-IMPLER, as imagens provenientes das simulações 4D devem ser utilizadas.

O subconstructo análise de cenários alternativos para projeto de *retrofit* foi identificado em função das percepções observadas ao longo do estudo empírico e através da entrevista realizada com o representante do cliente, no papel de tomador de decisão do processo de projeto. Ele percebeu o conjunto de recomendações proposto como útil, pois os cenários do tipo *what-if* geraram um maior número de informações para apoiar as decisões de projeto.

#### 5.3.4.2 Facilidade de Uso

O constructo facilidade de uso foi avaliado em relação: 1) participação dos envolvidos no processo de modelagem BIM 4D, 2) esforço empregado na modelagem BIM 4D.

Quanto à participação dos envolvidos na execução das obras no processo de modelagem BIM 4D, tanto o gerente da obra quanto o mestre da obra fizeram considerações com relação ao dispositivo visual para demonstrar a simulação 4D. Ambos alegaram que através de vídeo a visualização e percepção do processo de execução como um todo ficava prejudicada, e que a sequência de imagens era uma forma mais fácil de explorar a simulação. Estes atores, bem como um dos fornecedores principais do projeto, fizeram considerações e solicitações com relação à ordem de algumas atividades dispostas no plano de execução, a partir da visualização da sequência de imagens da simulação. Desta forma ficou evidenciado a participação dos envolvidos no processo de execução na modelagem 4D e a importância desta participação no conjunto de recomendações proposto.

Analisando o esforço empregado na modelagem 3D e 4D das habitações objetos de estudo do projeto S-IMPLER, houve uma diminuição quanto ao tempo de modelagem da Fase 1A para a Fase 1B. Esta diminuição deve-se ao fato de que a mesma solução técnica utilizada na Fase 1A foi utilizada para a Fase 1B, alterando somente o tipo de edificação e desta forma, fazendo-se os ajustes necessários a ela. Além disso, como se tratava de habitações com

tipologias semelhantes e repetidas, com as atividades de execução comuns a todas, os elementos essenciais para a simulação 4D puderam ser aproveitados para todas as fases deste projeto. Entretanto, ao comparar o tempo empregado na modelagem das diferentes soluções técnicas aplicadas à Fase 1B (como estudo dos cenários), não houve uma diferença considerável entre as modelagens das três técnicas construtivas diferentes, pois com exceção das camadas de isolamento das paredes, as demais situações (substituição das aberturas, isolamento do forro do telhado, etc.) só precisaram ser reproduzidas. Estas situações evidenciam a facilidade de uso do conjunto de recomendações.

## 6 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada nesta dissertação propôs um conjunto de recomendações para a utilização de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. O conjunto de recomendações foi desenvolvido com base em dados obtidos nas etapas iniciais do projeto S-IMPLER, tendo ainda suporte do referencial teórico apresentado nos capítulos 2 e 3. Este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas, contribuições e, ao final do mesmo, são realizadas sugestões para trabalhos futuros.

### 6.1 ATINGIMENTO DOS OBJETIVOS

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa procurou-se atender o objetivo principal desta dissertação: **propor um conjunto de recomendações para a utilização de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit***. Com isso, buscou-se atingir os objetivos específicos do trabalho que eram: (a) definir as categorias de perturbações, que afetam os usuários finais durante a execução das obras de *retrofit* em empreendimentos habitacionais, (b) propor recomendações referentes à utilização de modelos BIM 4D durante o processo de *retrofit* em empreendimentos habitacionais, (c) propor o uso de cenários do tipo *what-if* a partir de modelos BIM 4D, identificando níveis de perturbações para o usuário final no contexto de *retrofit* em empreendimentos habitacionais.

A efetivação do objetivo de **definir as categorias de perturbações, que afetam os usuários finais durante a execução das obras de *retrofit* em empreendimentos habitacionais** iniciou com uma revisão de literatura de trabalhos que abordavam o tema de *retrofit* e que apontavam consequências da prática destes trabalhos para o usuário final. A literatura destaca como um grande desafio do processo de *retrofit* o fato de ter que executar as obras em edificações ocupadas, ou seja, os usuários finais permanecem dentro das edificações durante o desenvolvimento dos trabalhos. Obras de *retrofit* em edificações ocupadas geralmente causam perturbações, algumas das quais são toleráveis e outras não. Segundo o manual de boas práticas do CIRIA (2004), as perturbações toleráveis e as intoleráveis pelos usuários finais deveriam estar explícitas nos documentos de licitação dos trabalhos de execução das obras. Desta forma, a caracterização das perturbações é necessária, porque auxilia os profissionais envolvidos no planejamento a identificar e reduzir tais perturbações ou, até mesmo, evitá-las.

Porém, somente evidências procedentes da revisão de literatura não foram suficientes para compreender a natureza destas perturbações. Para isso, foram utilizadas múltiplas fontes de evidência: entrevista com os envolvidos nas etapas de projeto e produção do S-IMLER, observação direta, observação participante em reuniões de planejamento, e, também, questionários aplicados a moradores de habitações do tipo *no-fines solid wall*. A aplicação destes questionários deve ser compreendida como fonte de dados complementares, uma vez que não foi possível aplicar uma amostra expressiva dos mesmos. Entretanto, a investigação junto ao usuário final teve o objetivo de classificar as perturbações quanto ao seu nível de intensidade e seu tempo de duração. As respostas obtidas através destes questionários destacam que as percepções das perturbações podem variar de pessoa para pessoa. Além disso, as perturbações poderão ser mais ou menos toleráveis, dependendo do grau de comunicação estabelecido entre os intervenientes de execução das obras e o usuário final. A comunicação é importante quanto ao aspecto de gerenciar expectativas. Estas informações são necessárias para o processo de *retrofit* e podem contribuir para reduzir a insatisfação do usuário final. Observou-se que os trabalhos de *retrofit*, que são realizados nas dependências internas das edificações, causam um impacto maior na rotina dos usuários finais, trazendo mais aborrecimento a estes. As atividades ligadas a estes trabalhos internos devem receber uma atenção especial no planejamento da obra. Por isso, a caracterização das perturbações que afetam os usuários, considerando o grau de intensidade e tempo de duração das mesmas, apresentada nesta dissertação, pode apoiar o processo de planejamento de execução de *retrofit*.

Outro objetivo específico do trabalho foi **propor recomendações referentes à utilização de modelos BIM 4D durante a execução da obra de retrofit em empreendimentos habitacionais**. Assim como em construções novas, o uso de BIM mostrou-se eficiente em empreendimentos de *retrofit*, pois facilita o planejamento da execução das obras deste tipo de empreendimento. Apesar do painel com marcadores coloridos, utilizado atualmente no canteiro, ser um dispositivo visual de fácil manipulação, a simulação 4D permite a visualização de todos os trabalhos de forma integrada. Do ponto de vista de facilidade de uso destes modelos BIM 4D no canteiro de obras, a utilização de um painel com a sequência de imagens, originadas na simulação 4D, mostrou-se ser mais funcional do que a disponibilização de vídeos das simulações, para representar a execução das obras nos seus diferentes estágios. O uso de vídeos com as simulações exige a disponibilidade de equipamentos de tecnologia e ambiente físico adequado, o que pode tornar-se um possível

obstáculo. O uso do painel, contendo a simulação 4D em uma sequência de imagens, como um instrumento de gestão visual facilita a comunicação entre todas as partes envolvidas, incluindo os usuários finais, no processo de *retrofit*. Esta comunicação deve ser efetiva. As simulações BIM 4D devem ser utilizadas como forma de comunicação entre o cliente-proprietário e o cliente-usuário. Desta forma, o uso de simulações 4D facilitaria a compreensão do usuário final quanto ao escopo dos trabalhos a serem desenvolvidos em sua edificação, bem como, das possíveis perturbações que ele poderia vir a sofrer durante a realização das obras. Desta forma, os usuários finais poderiam expor as perturbações que são toleráveis por eles e quais não são. A apresentação da simulação para o usuário final pode ser realizada pelo cliente-proprietário, antes mesmo do início das obras, podendo, quando possível, contar com a participação de um representante da empresa construtora para explicar detalhes do processo de construção. Por fim, a utilização do modelo BIM 4D para identificar as perturbações causadas aos usuários finais mostra-se relevante. Dado que, a equipe envolvida no planejamento deve ter consciência da lista de todas as possíveis perturbações neste tipo de empreendimento, estudos adicionais podem buscar evidências complementares. A modelagem 4D é um processo iterativo, à medida que as simulações vão sendo geradas, visualizadas, analisadas e alteradas, até que se encontre a melhor alternativa para o plano de execução ou para a minimização de perturbações.

O último objetivo específico foi o de **propor o uso de cenários do tipo *what-if* a partir de modelos BIM 4D, identificando níveis de perturbações para o usuário final no contexto de *retrofit* em empreendimentos habitacionais**. É comum surgirem problemas inesperados em empreendimentos complexos que podem causar mudança de escopo dos trabalhos, e por consequência, aumentar o tempo e o custo na execução das obras. O uso de cenários do tipo *what-if* auxilia na redução destes problemas, uma vez que vários cursos de execução são simulados previamente, sugerindo diferentes alternativas de execução para os empreiteiros. Como destacado no desenvolvimento do conjunto de recomendações proposto, a identificação e captura dos requisitos dos clientes é muito importante para a criação dos cenários do tipo *what-if*, pois, a partir destes, são propostos parâmetros a serem considerados nos cenários. Os cenários simulados permitem não só o projetista considerar diferentes soluções de projeto, como também o cliente visualizar e avaliar diferentes alternativas. A partir destas alternativas, o cliente pode optar por aquela que melhor lhe convém, diante dos requisitos considerados, de forma mais rápida. Isso pode se repetir até que uma solução satisfatória seja alcançada. Os cenários propostos neste trabalho utilizaram informações obtidas a partir de modelos 4D, bem

como em documentos ligados ao processo licitatório do S-IMPLER. As informações referentes aos modelos, as quais identificavam as perturbações para o usuário final, ficaram no nível qualitativo, pois não foi possível mensurar de forma quantitativa a variável de perturbação.

Por fim, o objetivo principal **propor um conjunto de recomendações para a utilização de BIM 4D na gestão de empreendimentos habitacionais de retrofit** foi alcançado na medida que foram desenvolvidas recomendações que podem contribuir para o uso de BIM 4D, apoiando a gestão de empreendimentos habitacionais de *retrofit*, com um foco diferenciado nas perturbações para os usuários finais destes empreendimentos. Tais recomendações podem apoiar a gestão de empreendimentos deste contexto, uma vez que elas podem auxiliar na tomada de algumas decisões no processo de projeto e de produção, relacionadas ao desenvolvimento do empreendimento e perturbações para os usuários. As decisões de projeto podem estar relacionadas à escolha da melhor solução técnica, atendendo além do parâmetro perturbação para o usuário final, tempo total de execução das obras e custo de investimento. As decisões de produção podem estar relacionadas à escolha da melhor alternativa de execução das obras, atendendo principalmente aos parâmetros de perturbação para o usuário final e tempo de execução. Uma importante limitação do estudo foi o fato de que o conjunto de recomendações proposto foi avaliado preliminarmente, não sendo integralmente testado em diferentes fases do projeto S-IMPLER, em função da paralisação das obras. A Fase 1B não teve início até o fechamento desta dissertação.

## 6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho utilizou a estratégia de pesquisa DSR, tendo oferecido contribuições de caráter prescritivo para a gestão de empreendimentos de *retrofit*. A principal contribuição está relacionada ao desenvolvimento de um conjunto de recomendações, o qual descreve uma sequência de passos a serem contemplados pelo tomador de decisão em empreendimentos de *retrofit*, os quais são executados com a permanência dos usuários nas edificações. Poucos trabalhos foram publicados no contexto de gestão do processo de retrofit, principalmente relacionados às perturbações causadas aos usuários finais, embora a literatura destaque a necessidade de uma gestão eficaz das mesmas neste tipo de empreendimento. Uma contribuição relacionada ao conjunto de recomendações é o desenvolvimento de cenários *what-if*, os quais podem ser usados para orientar o tomador de decisão em suas escolhas no

processo de projeto e de produção. Na etapa de projeto a geração de cenários do tipo *what-if* possibilita a análise de alternativas de projeto, facilitando a identificação e escolha da melhor alternativa pelo cliente. Na etapa de produção, a geração de cenários auxilia na análise de diferentes planos de execução das obras de *retrofit*, facilitando a identificação e escolha do melhor plano pelo construtor. Além disso, este conjunto de recomendações suporta ser adaptado e estendido ao contexto de outros empreendimentos de *retrofit* com outros tipos de clientes. Para que este conjunto de recomendações seja consolidado em um método, tais recomendações necessitam ser aplicadas repetidamente e refinadas, principalmente quanto às perturbações percebidas e à elaboração de cenários do tipo *what-if*.

Nas entrevistas realizadas, foi discutido em que fase de projeto do empreendimento deve-se utilizar o conjunto de recomendações proposto. De forma geral, ficou claro que as recomendações podem ser aplicadas à fase conceitual do processo de projeto. Os potenciais beneficiados pela aplicação das recomendações são os clientes, os projetistas e os gerentes de execução. Partindo-se de uma plataforma colaborativa de projetos, as recomendações aqui propostas devem permear o processo de concepção, planejamento e execução do empreendimento.

Além do conjunto de recomendações proposto, outras duas contribuições foram resultantes desta pesquisa. A primeira contribuição é referente à caracterização de perturbações para os usuários finais reunidas em uma única lista, que beneficia, principalmente, os empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Espera-se que os gestores do empreendimento, durante as reuniões de planejamento de médio e curto prazo, utilizem a lista de perturbações desenvolvida. Desta forma, uma vez identificadas as perturbações que causam maior desconforto, ações específicas podem ser desenvolvidas no sentido de eliminar ou reduzir seus impactos. Tais ações poderiam referir-se às definições do plano de ataque à obra e do tamanho das equipes envolvidas na realização de determinada atividade, por exemplo. Estas ações devem ser discutidas e implementadas pelos principais envolvidos no processo de produção. Esta realidade não pode ser aplicada ao estudo realizado, devido às limitações já mencionadas neste trabalho.

A segunda contribuição é referente à modelagem 4D de empreendimentos habitacionais de *retrofit*. Como constatado por Heesom e Mahdjoubi (2004) e apresentado no capítulo de revisão de literatura, a finalidade do uso de um modelo 4D indica o nível de detalhe deste modelo. Sendo assim, neste estudo percebeu-se a necessidade de modelar não somente os



elementos principais, mas também o entorno próximo, como pavimentação, habitações vizinhas, cercas divisórias, entre outros. Esta necessidade está relacionada ao grau de interferência que a execução de atividades na edificação principal pode causar nas suas imediações. Por exemplo, a interferência que a remoção de uma cerca divisória entre uma habitação que está sendo reformada e uma habitação que não está envolvida no processo, pode ocasionar. O nível de modelagem dos elementos principais (a edificação e seus elementos de *retrofit*) deve atender no mínimo ao LOD 300. Demais elementos, os quais não serão vinculados ao plano de execução das atividades, podem atender um LOD 200. Esta definição de níveis de detalhamento dos modelos será relevante em empreendimentos maiores, nos quais se poderá modelar com LOD 400 ou superior, as operações, como a substituição das aberturas, por exemplo. Isso pode auxiliar na redução de perturbações e aumento da produtividade, já que esta é uma das principais atividades que causam perturbações aos usuários finais. Além disso, a elaboração da legenda e a associação das atividades aos elementos 3D devem ser cuidadosamente desenvolvidas, para facilitar a compreensão e visualização da simulação pelos envolvidos no planejamento e produção dos trabalhos. Vale destacar a importância do posicionamento das câmeras que geram os ângulos de observação da simulação e os intervalos de tempo estabelecidos. As observações realizadas nos últimos exemplos de simulações desenvolvidas neste trabalho (composição da legenda, posicionamento das câmeras, entre outros) devem ser considerados na elaboração de novas simulações de empreendimentos habitacionais de *retrofit*.

### 6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões para trabalhos futuros foram propostas, com base no desenvolvimento deste trabalho:

- a) Para que este conjunto de recomendações seja consolidado em um método, tais recomendações necessitam ser aplicadas e refinadas repetidamente, principalmente quanto às perturbações percebidas e à elaboração de cenários do tipo *what-if*.
- b) Fazer um levantamento mais amplo com usuários finais sobre a percepção das perturbações sofridas por eles durante as obras de *retrofit*, e analisar a relação entre tais perturbações com o perfil desses usuários;

- c) Fazer uso da simulação 4D num contexto mais amplo de *retrofit*, incluindo outros aspectos da execução da obra, tais como armazenamento de materiais, abastecimento de suprimentos, logística do canteiro, entre outros; e
- d) Desenvolver um conjunto de métricas e uma ferramenta de avaliação para mensurar o grau de impacto das perturbações, estratificar os resultados e elaborar um plano de trabalho para reduzi-las ou eliminá-las.

## REFERÊNCIAS

AGC. The Contractors' Guide to BIM, Associated General Contractors (AGC) of America. Disponível em: <https://www.agc.org/> Acesso em: 03 julho 2013.

AIA - The American Institute of Architects - **Document G202**. 2013.

ALI, A. S.; RAHMAT, I.; HASSAN, H. Involvement of Key Design Participants in Refurbishment Design Process. *Facilities*, v. 26, n. 9/10, p. 389-400, 2008.

ALSAADI, A. **Sustainability and BIM: The Role of Building Information Modeling to Enhance Energy Efficiency Analysis**. BIM Theory and Practice. University of Salford, UK. 2014.

ARAYICI, Y. **Towards building information modelling for existing structures**. *Structural Survey*, v. 26, n. 3, p. 210 – 222, 2008.

ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M. **BIM adoption and implementation for architectural practices**. *Structural Survey*, v. 29, n. 1, p. 7–25, 2011a.

ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; USHER, C.; O'REILLY, K. **Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice**. *Automation in Construction*, v. 20, n. 2, p. 189–195, 2011b.

ARGE, K. **Adaptable office buildings: theory and practice**. *Facilities*, v. 23, n. 3, p. 119-27, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR. 15.575. Edificações habitacionais–Desempenho parte 1: Requisitos gerais**, 2013.

AZHAR, S.; NADEEM, A.; MOK, N.; LEUNG, Y. **Building Information Modeling: A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects**. First International Conference on Construction in Developing Countries. Karachi, Pakistan. Jul. 2008.

BACCARINI, D. **The Concept of Project Complexity- a Review**. *International Journal of Project Management*, v.14, p. 201-204, 1996.

BACKER, C.; SMITH, L.; SWAN, W. **Make no assumptions: The selection of domestic retrofit improvements**. In: SWAN, W.; BROWN, P. *Retrofitting the built environment*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., p. 99-112, 2013.

BALDAUF, J. **Proposta de método para modelagem de requisitos de clientes de empreendimentos habitacionais de interesse social usando BIM**. 2013. 146f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean Construction : Stabilizing Work Flow In.: **Proceedings...IGLC** Santiago, 1994.

BEDRICK, J. **Organizing the development of a building information model**. The American Institute of Architects, v. 9, 2008.

BENBASAT, I., GOLDSTEIN, D., MEAD M. **The Case Research Strategy in Studies of Information Systems**. Management Information Systems Research Center, University of Minnesota. v. 11, n. 3, p. 369-386, Sep. 1987. Disponível em: <[http://www.jstor.org/stable/248684?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/248684?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 13/10/2014.

BIANCHINI, L., Estado Atual dos Empreendimentos Habitacionais do Centro de São Paulo (2000-2012). 2013. 168f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

BIM Forum. **Level of Development Specification: For Building Information Models**. Version 2014. Disponível em: < <http://www.bimforum.org/lod>>. Acesso em: 19/03/2015.

BIOTTO, C. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D**. 2012. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOARDMAN, B.; DARBY, S.; HINNELLS, M.; KILLIP, G.; LAYBERRY, R.; PALMER, J.; SINDEN, G. **40% House. ECI Research Report No. 31**, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, 2005.

BÖRJESON, L.; HÖJER, M.; DREBORG, K.; EKVALL, T.; FINNVEDEN. **Scenario types and techniques: towards a user's guide**. Futures, v. 38, n. 7, p. 723-739, 2006.

BOTON, C; KUBICKI, S; HALIN, G. **The Challenge of Level of Development in 4D/BIM Simulation Across AEC Project Lifecycle**. A Case Study. Procedia Engineering, v. 123, p. 59-67, 2015.

BRE - Building Research Establishment.: **The renovation of no-fines housing SSHA**. Watford/ UK, 1991.

BRE, Building Research Establishment.: **The structural condition of Wimpey No-Fines low-rise dwellings**. BRE. UK, 1989.

BREIT, M.; VOGEL, M.; HAUBI, F.; MARKI, F.; RAPS, M. **4D design and simulation technologies and process design patterns to support lean construction methods**. Tsinghua Science & Technology, v. 13, p. 179-184, 2008.

BRITO, D.; FERREIRA, E. **Strategies for Representation and Analyses of 4D Modeling Applied to Construction Project Management**. Procedia Economics and Finance, v. 21, p. 374-382, 2015.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. **The project benefits of building information modelling (BIM)**. International Journal of Project Management, v. 31, n. 7, p. 971-980, 2013.

BYNUM, P.; ISSA, R.; OLBINA, S. **Building information modeling in support of sustainable design and construction**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 139, n. 1, p. 24-34, 2012.

CAIXETA, M. **Design process: Interventions in healthcare buildings**. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CHAHAL, S.; SWAN, W.; BROWN, P. **Tenant perceptions and experiences of retrofit**. In Proceedings of Retrofit 2012 Conference, University of Salford, Salford, p. 24-36, 2012.

CHARTERED INSTITUTE OF BUILDING (CIOB). **Construction Information Quarterly**, v. 7, part 4, 2005.

CHEN Y.; TSAI M.; KANG S.; LIU C. **Selection and evaluation of color scheme for 4D construction models**. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 18, pg. 1-19, 2013.

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association. **A guide to the management of building refurbishment**. Report 133. London, UK, 1994.

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association. **Good practice guidance for refurbishing occupied buildings**. London: CIRIA, 2004.

CLG, 2011 – COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. **English Housing Survey**, GLC, London, 2011.

COATES, P.; ARAYICI, Y.; KOSKELA, L.; USHER, C.; O'REILLY, K. **The key performance indicators of the BIM implementation process**. In., Proceedings of the ICCBE Conference, June 30, Nottingham, 2010.

CODINHOTO, R.; KIVINIEMI A.; KEMMER, S.; ROCHA, C. **BIM Implementation: Manchester Town Hall Complex Research Report**, Manchester City Council: WORKING DRAFT / FINAL RELEASE, University of Salford, Manchester, 2011.

COLLIER, E.; FISCHER, M. **Visual-based scheduling: 4D modelling on the San Mateo County Health Center**. Proceedings, 3rd Congr. On Comp. in Civ. Engrg., ASCE, New York, p. 800–805, 1996.

CROITOR, E. **A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra**. 2008. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CROITOR, E.; MELHADO, S. **A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. 26p. São Paulo, 2009.

DAVE, B. **Developing a construction management system based on lean construction and building information modelling**. PhD thesis, University of Salford, Salford. 2013.

DAVE, B.; KOSKELA, L., KIVINIEMI, A., TZORTZOPOULOS, P.; OWEN, R. **Implementing lean in construction: lean construction and BIM**. 2013.

DAWOOD, N.; SIKKA, S. **The Value of Visual 4D Planning in the UK Construction Industry**. Intelligent Computing in Engineering and Architecture. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 127-135.

DCLG - Department for Communities and Local Government. **Review of the Sustainability of Existing Buildings: The Energy Efficiency of Dwellings—Initial Analysis**. London, 2006.

DECC – Department of Energy & Climate Change. **Climate Change Act**. 2008. Disponível em: < [http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/legislation/cc\\_act\\_08/cc\\_act\\_08.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/legislation/cc_act_08/cc_act_08.aspx) > Acesso em: 09/08/2014.

DEFRA – Energy Analysis Focus Report. **A Study of Hard to Treat Homes Using the English Housing Condition Survey**. Part 1: Dwelling and Household Characteristics of Hard to Treat Homes, Department for Environment, Food and Rural Affairs. 2008. Disponível em: <[http://randd.Defra.gov.uk/Document.aspx?Document=GA0218\\_7164\\_FRP.pdf](http://randd.Defra.gov.uk/Document.aspx?Document=GA0218_7164_FRP.pdf) > Acesso em: 21/05/2015.

DEUTSCH, R. **BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice**. 1st ed. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

DOUGLAS, J. **Building Adaptation**, 2nd ed. Butterworth Heineman, Oxford, 2006.

DOWSON, M.; POOLE, A.; HARRISON, D.; SUSMAN, G. **Domestic UK retrofit challenge: Barriers, incentives and current performance leading into the Green Deal**. Energy Policy 50, 2012, p. 294-305.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

EGBU, C. **Management education and training for refurbishment work within the construction industry**. PhD thesis, University of Salford, Salford. 1994.

EGBU, C. **Perceived degree of difficulty of management tasks in construction refurbishment work**. *Building Research and Information*, 23(6), p. 340-344. 1995

EGBU, C. **Refurbishment management: challenges and opportunities**. *Building Research and Information*, 25(6), p. 338-347. 1997.

EGBU, C.; YOUNG, B.; TORRANCE, V. **Planning and control processes and techniques for refurbishment management**. *Construction Management and Economics*, v. 16, p. 315-325, 1998.

EGBU, C.; YOUNG, B.; TORRANCE, V. **Refurbishment management practices in the shipping and construction industries — lessons to be learned**, *Building Research & Information*, v. 24 n. 6, p.329-338, 1996.

EUROPEAN COMMISSION - **Report from the Commission to the European Parliament and the Council**. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings. 16p. Brussels, 2013.

FAWCETT, T. **Exploring the time dimension of low carbon retrofit: owner-occupied housing**. *Building Research & Information*, v. 42, n. 4, p. 477-488, 2014.

FAWCETT, T.; KILLIP, G.; JANDA, K. **Building Expertise: Identifying policy gaps and new ideas in housing eco-renovation in the UK and France**. ECEEE summer study proceedings. p. 339 – 350, 2013.

FAWCETT, T.; MAYNE, R. **Exploring an ‘over time’ model of eco-renovation**. *Retrofit 2012*, 2012.

FISCHER, M.; HAYMAKER, J.; LISTON, K.; **Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers**. *4D CAD and Visualization in Construction-Developments and Applications*, p. 1-32, 2005.

FISCHER, M.; SOMU, C. **Quantifying effects of specific 4D tool functionalities on 4d modeling productivity**. *ItCon*. 2011

FROESE, T. **Future directions for IFC-based interoperability**. *ITcon Vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena*, p. 231-246.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. **Políticas permanentes de habitação**. A importância do programa minha casa minha vida. São Paulo, 2014.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil anos 2011 e 2012**. Belo Horizonte, 2014.

GEE, P.; CHIAPPETA, L. **Engaging residents in multifamily building retrofits: reducing energy consumption and enhancing resident satisfaction**. In: SWAN, W.; BROWN, P. Retrofitting the built environment. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., p. 157-169, 2013.

GHOLAMI, E.; SHARPLES, S.; SHOKOOH, J. **Exploiting BIM in Energy Efficient Refurbishment: A paradigm of future opportunities**. 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany. Sep, 2013

GIL, A. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; ARBOLEDA, C; LEE, S. **Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs**. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 23, n. 6, p. 391-404, 2009.

GRILO, A.; JARDIM-GONCALVES, R. **Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments**. Automation in Construction 19 (5), p. 522–530, 2010.

GSA - GENERAL SERVICES ADMINISTRATION - GSA. **GSA BIM Guide series 01: BIM guide overview - version 0.60**. Washington: General Administration Services, 2007. Disponível em: <<http://www.gsa.gov/bim>>. Acesso em: 12 maio 2014.

GSA - GENERAL SERVICES ADMINISTRATION - GSA. **GSA BIM Guide series 04: 4D Phasing - version 1.0**. Washington: General Administration Services, 2009. Disponível em: <<http://www.gsa.gov/bim>>. Acesso em: 24 janeiro 2015.

GUIMARÃES, L. **O retrofit e a modelagem de informações como ferramenta na análise de projetos**. 2014. 63 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HAINES, V.; MITCHELL, V. **A persona-based approach to domestic energy retrofit**. Building Research & Information, v. 42, n. 4, p. 462-476, 2014.

HAMMOND, R.; NAWARI, N.; WALTERS, B. **BIM in Sustainable Design: Strategies for Retrofitting/Renovation**. Computing in Civil and Building Engineering, 2014.

HARTMANN, T. **4D models to support safe planning of hospital renovations**. In: Proceedings of CIB W. 2011. p. 1-10.



HARTMANN, T.; FISCHER, M.; HAYMAKER, J. **Implementing information systems with project teams using ethnographic–action research.** *Advanced Engineering Informatics*, n. 23, p. 57-67, 2009.

HARTMANN, T.; VAN MEERVELD, H.; VOSSEBELD, N.; ADRIAANSE, A. **Aligning building information model tools and construction management methods.** *Automation in construction*, v. 22, p. 605-613, 2012.

HARTY, C.; WHYTE, J. **Emerging hybrid practices in construction design work: role of mixed media.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 136, n. 4, p. 468-476, 2009.

HEESOM, D.; MAHDJOUBI, L. **Trends of 4D CAD Applications for Construction Planning.** *Construction Management and Economics*, n.22, p. 171-182, 2004.

HER MAJESTY’S GOVERNMENT (HM GOVERNMENT). **Building Information Modelling—Industrial Strategy: Government and Industry in Partnership**; London, UK, 2012.

HER MAJESTY’S GOVERNMENT (HM GOVERNMENT). **Final Report. Low Carbon Construction – Innovation and Growth Team.** London, UK, 2010.

HO, P. **An Automated Method to Identify Occupant Interactions in Renovations of Occupied Buildings.** PhD thesis. Stanford University. 2009.

HOLM, G. **Service management in housing refurbishment: a theoretical approach.** *Construction Management and Economics*, v.18, n.5, p. 525-533, 2000.

HOLMSTROM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A. **Bridging Practice and Theory : A Design Science Approach**, v.40, n.1, p.65–88, 2009.

ITARD, L.; MEIJER, F.; VRINS, E.; HOITING, H. **Building renovation and modernisation in Europe: state of the art review.** Final report. OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies. Delft University of Technology. Netherlands, 2008.

JONES, A. **Investigating deep retrofits for Toronto’s financial district office towers.** *JOSRE*, v. 5, n. 1, 2013.

JUDSON, E.; MALLER, C. **Housing renovations and energy efficiency: insights from homeowners’ practices.** *Building Research & Information*, v.42, n.4, p. 501-511, 2014.

JUNGERMANN, H. **Inferential processes in the construction of scenarios.** *Journal of Forecasting*, v. 4, n. 4, p. 321-327, 1985.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. **The constructive approach in management accounting research.** *Journal of Management Accounting Research*, v. 5, p. 293, 1993.

KASSEM, M.; DAWOOD, N.; CHAVADA, R. **Construction workspace management within an Industry Foundation Class-Compliant 4D tool**. *Automation in Construction*, v. 52, p. 42-58, 2015.

KELSEY, J. **Drawing the line: balancing the spatial requirements of customer and contractor in occupied refurbishment**. International Symposium of CIB Working Commissions: W55 (Building Economics), W65 & W107, National University of Singapore, p. 1-13, 2003.

KEMMER, S.; KOSKELA, L. **Developing a Lean Model for Production Management of Refurbishment Projects**. Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, CA. USA, 2012.

KEMMER, S.; KOSKELA, L. **Understanding Production Management of Refurbishment Projects of a Housing Association – An Exploratory Case Study**. Proceedings for the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway, 2014.

KIM, H.; ANDERSON, K.; LEE, S.; HILDRETH, J. **Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology**. *Automation in Construction*, v.35, p. 285–295, 2013.

KIM, K.; PARK, K. **BIM Feasibility Study for Housing Refurbishment Projects in The UK**. *Organization, technology and management in construction journal*. v. 6. p. 765-774. 2013.

KLOSTERMAN, R. **The what if? Collaborative planning support system**. *Environment and Planning B*, v. 26, p. 393-408, 1999.

KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Stanford: CIFE, 1998. 135p.

KRIPHAL, M.; GRILO, A. **Compatibility between design and construction building information models**. In: Proceedings of ECPPM Proceedings. p. 447-452. 2012.

KYMMEL, W. **Building Information Modeling. Planning and managing construction project with 4D and simulations**. McGraw-Hill, 2008.

LEE, H. **Renovation scheduling to minimize user impact of a building that remains in operation**. *Automation in Construction*, v.22, p. 398-405, 2012.

LEICHT, R.; MESSNER, J. **Comparing traditional schematic design documentation to a schematic building information model**. In: Bringing ITCKnowledge to Work: 2Proceedings of the 24th W78 Conference, Maribor. 2007.

LEITE, F. **Contribuições para o gerenciamento de requisitos do cliente em empreendimentos do programa de arrendamento residencial**. 2005. 173f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOVEDAY, D.; VADODARIA, K.; HAINES, V.; HEWITT, N.; HYDE, T.; GRIFFITHS, P.; CRITOPH, B.; EAMES, P.; BANFILL, P.; GILLOTT, M.; DARLINGTON, R.; HALL, M.; TSANG, E. **Refurbishing the UK's' hard to treat' dwelling stock: Understanding challenges and constraints**. CIBSE Technical Symposium. DeMontfort University, Leicester, UK, 2011.

LUKKA, K. **The Constructive Research Approach**. In Ojala, L. & Hilmola, O-P. (eds.). Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration: Serie B1, p.83-101, 2003.

MADEIRA, C. **A Reabilitação Habitacional em Portugal – Avaliação dos Programas RECRIA, REHABITA, RECRIPH e SOLARH**. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2009.

MANSFIELD, J. **Sustainable refurbishment: policy direction and support in the UK**. Structural Survey, 27(2), 2009.

MANSFIELD, J. **What's in a name? Complexities in the definition of "refurbishment"**. Property Management, v. 20:1, p. 23 – 30, 2002.

MARCH, S.; SMITH, G. **Design and natural science research on information technology**. Decision Support Systems, 5, p. 251-266, 1995.

MARQUES DE JESUS, C. **Análise de Custos para Reabilitação de edifícios para Habitação**. 2008. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politecnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARQUES DE JESUS, C.; BARROS, M. **Recomendações para elaboração de orçamento de obras de reabilitação de edifícios habitacionais: Guidelines for estimating costs of residential building rehabilitation projects**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 57-72, abr./jun. 2011.

McADAM, B. **Building information modelling: the UK legal context**. International Journal of Law in the Built Environment, v. 2, n. 3, p. 246-259, 2010.

McKIM, R.; HEGAZY, T.; ATTALLA, M. **Project Performance Control in Reconstruction Projects**. Journal of Construction Engineering and Management. 126(2), 137–141, 2000.

McKINNEY, K.; FISCHER, M. **Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools**. Automation in Construction 7, p. 433–447, 1998.

MENEZES, G. **Breve histórico de implantação da plataforma BIM**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v.18, n.22, 2011.

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. **Beyond the BIM utopia: Approaches to the Development and Implementation of Building Information Modeling**. Automation in Construction 43, p. 84–91, 2014.

MILLER, E.; BUYS, L. **Retrofitting commercial office buildings for sustainability: tenants' expectations and experiences**. Management and Innovation for a Sustainable Built Environment, 20 – 23 June 2011, Amsterdam, The Netherlands, 2011.

MOAKHER, P.; PIMPLIKAR, S. **Building Information Modeling (BIM) and Sustainability – Using Design Technology in Energy Efficient Modeling**. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE). v. 1, n.2, p. 10-21, Jul./Aug. 2012.

MORAES, V.; QUELHAS, O. **O desenvolvimento da metodologia e os processos de um “retrofit” arquitetônico**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão v.7, p 448-461, 2012.

NAARANOJA, M.; UDEN, L. **Major problems in renovation projects Finland**. Building and Environment v.42, p. 852–859, 2007.

NINGAPPA, G. **Use of Lean and Building Information Modeling (BIM) in the Construction Process; Does BIM make it Leaner?** (PhD Thesis). School of BUILDING CONSTRUCTION. Georgia Institute of Technology. May 2011.

NOVIKOVA, A.; VIEIDER, F.; NEUHOFF, K.; AMECKE, H. **Drivers of Thermal Retrofit Decisions – A Survey of German Single- and Two- Family Houses**. CPI Report, Climate Policy Initiative, 2011.

OLIVEIRA, M. **Um método para obtenção de indicadores visando a tomada de decisão na etapa de concepção do processo construtivo: A percepção dos principais intervenientes**. 1999. 382f. Tese (Doutorado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

**Oxford Advanced Learner's Dictionary**, 8th edition. Oxford: Oxford University Press, 2010.

PAPAMICHAEL, K. **Application of information technologies in building design decisions**. Building Research & Information, v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999.

RAVETZ, J. **State of the stock – What do we know about existing buildings and their future prospects?** Energy Policy, v.36, p. 4462 – 4470, 2008.

RIBA - Royal Institute of British Architects. **Plan of Work 2013**. London, 2013.

RIBA - Royal Institute of British Architects. **Residencial Retrofit: 20 Case studies**. London, 2013.

RICHARDSON, R. **Pesquisa Social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RISCHMOLLER, L.; ALARCÓN, L.F. **4D-PS: Putting an IT new work process into effect**. In: Proceedings of CIB w78 2002 Conference on Construction Information Technology. p. 109-114. 2002.

RITTER, F.; SCHUBERT, G.; GEYER, P.; BORRMANN, A.; PETZOLD, F. **Design Decision Support–Real-time Energy Simulation in the Early Design Stages**. In: Computing in Civil and Building Engineering. ASCE. p. 2023-2031. 2014.

ROCHA, C. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector**. (PhD Thesis), Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RODRIGUES, A. **O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas**. 2006. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RUSCHEL, R.; VALENTE, V., CACERE, E.; DE QUEIROZ, S. **O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 7, n. 3, 2013.

RUSSELL, A.; CHIU, C.; KORDE, T. **Visual representation of construction management data**. Automation in Construction, v. 18, n. 8, p. 1045-1062, 2009.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, C. **Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete**. Automation in Construction v.13, p.291–312, 2004.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. **Visualization of work flow to support lean construction**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, 2009.

SANVIDO, V.; RIGGS, L. **Managing retrofit projects**. 1991. Final report submitted to The Construction Industry Institute. Technical report nº 25. University of Texas, Austin, 1991.

SAYEGH, S. **Da teoria à prática: Mercado de requalificação tecnológica de edifícios estimula inovações em prol da sustentabilidade**. Técnica, São Paulo, n.134, p. 38, maio 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/134/artigo2854321>> Acesso em: 11/04/2015.

SCHRAMM, F. **Projeto de sistemas de produção na construção civil utilizando simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão**. 2009. 297f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SHAPIRA, A.; LAUFER, A.; SHENHAR, A. J. **Anatomy of decision making in project planning teams**. International Journal of Project Management, v. 12, n. 3, p. 172-182, 1994.

SHETH, A. **A Refurbishment Framework with an Emphasis on Energy Consumption of Existing Healthcare Facilities**. Thesis in Doctor of Philosophy. Loughborough University, UK, 2011.

SHETH, A., PRICE, A., GLASS, J. **BIM and refurbishment of existing healthcare facilities**. In: Procs 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010, Leeds, UK, Association of Researchers in Construction Management, p.1497-1506.

SINGH, Y. **A framework for production management of renovation projects**. (MSc Thesis). Michigan State University, Michigan. 2007.

SMITH, D.; TARDIF, M. **Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers**. John Wiley & Sons, Inc., 2009.

SOMMERVILLE, J.; CRAIG, N.; CHARLES, A. **No-fines concrete in the UK social housing stock: 50 years on**. Structural Survey. v. 29 n. 4, p. 294-302, 2011.

SONNENWALD, D. **Communication roles that support collaboration during design process**. Design Studies, v. 17, p. 277-301, 1996.

SOUZA, L. **Diagnóstico do uso do BIM em empresas de projeto de arquitetura**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in Construction v.18, p.357–375, 2009.

SUNIKKA, M. **Sustainable housing policies and the environmental potential of the existing housing stock in Europe**. Building research and information, 2006.

SUNIKKA-BLANK, M.; CHEN, J.; BRITNELL, J.; DANTSIOU, D. **Improving energy Efficiency of social housing areas: A case study of a retrofit achieving an “A” energy performance rating in the UK**. European Planning Studies v. 20, n. 1, Jan. 2012.

SWAN, W.; BROWN, P. **Retrofitting the built environment**. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd., 2013.

TAKIN, R.; HARRIS, M.; NAWAWI, A. **Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction (AEC) industry**. Procedia - Social and Behavioral Sciences v.101, p.23 – 32, 2013.

TAUSCHER, E.; SMARSLY, K.; KÖNIG, M.; BEUCKE, K. **Automated Generation of Construction Sequences using Building Information Models**. In: In: Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Orlando USA. 2014. p. 745-752.

TEZEL, B. **Visual management: an exploration of the concept and its implementation in construction**. (PhD Thesis). The University of Salford, Salford. 2011.

TILLMANN, P. **Proposta de um modelo conceitual para a melhoria do suporte á geração de valor em projetos complexos**. 2012. 232f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UENO, K. **Residential exterior wall superinsulation retrofit details and analysis**. Building Science Corporation, Research Report, v. 1012, 2010.

VADODARIA, K.; LOVEDAY, D.; HAINES, V.; MITCHELL, V.; MALLABAND, B.; BAYER, S. **UK solid-wall dwellings-thermal comfort, energy efficiency refurbishment and the user perspective-some preliminary analysis from the CALEBRE project**. Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, April 2010. London, 2010.

VAINIO, T. **Building renovation: A new industry?** Management and Innovation for a Sustainable Built Environment MISBE 2011, Amsterdam, The Netherlands, June 20-23, 2011. CIB, Working Commissions W55, W65, W89, W112; ENHR and AESP, 2011.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology**. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2007.

VAN AKEN, J. **Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Techonology Rules**. Journal of Management Studies, v. 41, n. 2, p. 219-246., 2004.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs**. Automation in Construction, v.38, p.109-127, 2014.

WALLACE, P. **Tenanted refurbishment: The community way**. Property Management, v. 4 n. 2, p. 99 – 109, 1986.

WATSON, P. **The key issues when choosing adaptation of an existing building over new build**. Journal of Building Appraisal, v. 4, n. 3, p. 215-223, 2009.

WEBB, R.; HAUPT, T. **The potential of 4D CAD as a tool for construction management**. In: ISSA, R.; FLOOD, I.; O'BRIEN, W. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, p. 227-242, 2005.

WHITEMAN, W.; IRWIG, H. **Disturbance scheduling technique for managing renovation work**. Journal of construction engineering and management, v. 114, n. 2, p. 191-213, 1988.

WHYTE, J. **Managing digital coordination of design: emerging hybrid practices in an institutionalized project setting**. Engineering project organization journal, v. 1, n. 3, p. 159-168, 2011.

WILLIAMS, T. **The Need for New Paradigms for Complex Projects**. International Journal of Project Management. v. 17. n. 5, p. 269-273, 1999.

WILSON, C.; CRANE, L; CHRYSOCHOIDIS, G. **Why do people decide to renovate their homes to improve energy efficiency?** Working Paper. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, UK. 2014.

YAN, H.; DAMIAN, P. **Benefits and barriers of building information modelling**. In: 12th International conference on computing in civil and building engineering. 2008.

YIN, R. **Case Study Research: Design and Methods**. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, 2003.

YOLE NETO, J. **Diretrizes para o Estudo de Viabilidade da Reabilitação de Edifícios Antigos na Região Central de São Paulo Visando a Produção de HIS: estudo de casos inseridos no Programa de Arrendamento Residencial (PAR-Reforma), edifícios Olga Bernário, Labor e Joaquim Carlos**. 2006. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politecnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.



## APÊNDICE A:

### QUESTIONÁRIO APLICADO AOS USUÁRIOS FINAIS

#### Identification of users disruption from construction works – questionnaire

1) House typology:

( ) End-terrace ( ) Mid-terrace ( ) Bungalow ( ) Other \_\_\_\_\_

2) Users profile (Please, fill with numbers):

(a) How many people live in this house? \_\_\_\_\_

(b) How many working adults? \_\_\_\_ ( ) full time ( ) part-time ( ) retired

(c) How many children? \_\_\_\_ ( ) under five years old ( ) school age children

3) Was this house retrofitted? ( ) No ( ) Yes

4) What construction works were carried out?

\_\_\_\_\_

5) There was any kind of disruption for you and your family caused by the retrofit works?

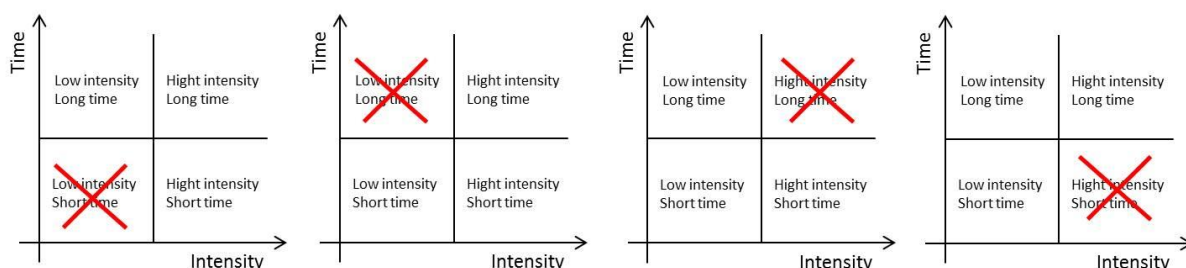
( ) No ( ) Yes – please describe:

\_\_\_\_\_

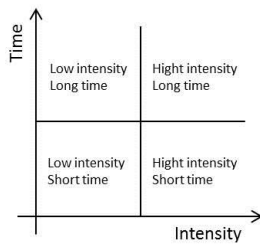
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

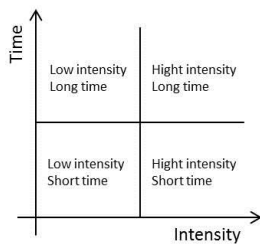
6) There are some disruption types shown below. Based on these, could you please classify how each one affected you / your family? (Please use the respective chart to classify each one, such as in the models). Chart Model examples:



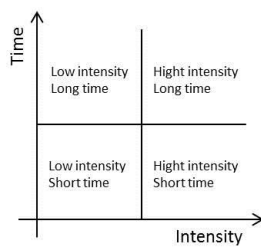
a) ( ) **Disruption of gas provision:** happens when retrofit works affect the continuity of gas supply.



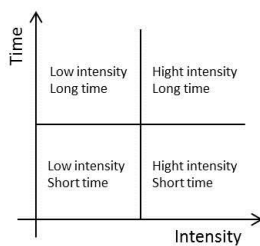
- b) ( ) **Disruption of electricity provision:** happens when retrofit works affect the continuity of electricity supply.



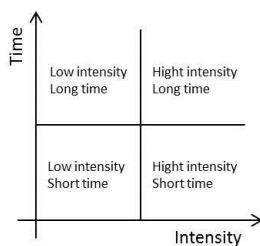
- c) ( ) **Disruption of water provision:** happens when retrofit works affect the continuity of water supply.



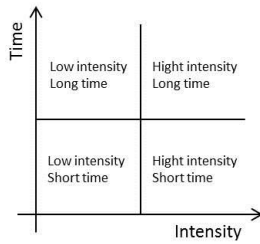
- d) ( ) **Disruption of access to the building:** it happens when retrofit works block or limit the access of users to their homes.



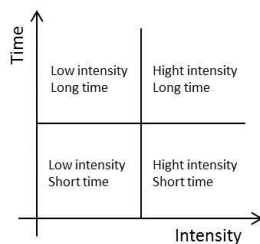
- e) ( ) **Disruption of everyday life:** it happens when retrofit works disrupt the daily activities of residents, such as studying, cooking, taking a nap, etc.



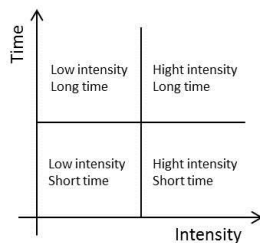
- f) ( ) **Need to temporarily move out:** happens when retrofit works require that users move out of their homes and stay in temporary accommodation for a period of time.



- g) ( ) **Disruption by noise:** happens when retrofit works generate different levels of noise pollution as a consequence of the use of tools such as hammers, mallets, etc.



- h) ( ) **Disruption by dirt:** happens when retrofit works generate different levels of physical waste such as dust, debris, etc.



- i) ( ) **other types of Disruption not mentioned above.**
- 

