

Bruna Kevellyn Rodrigues Bezerra

Avaliação de diferentes estratégias de incorporação
de imagens térmicas em modelos

Dissertação de Mestrado

Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos F. de Almeida

Professor Doutor Mário Arlindo Paz Irrigaray



Abril de 2022

RESUMO

A procura por tecnologias mais avançadas na área da construção civil está bem patente no crescente interesse na implementação da metodologia BIM. A possibilidade de acompanhamento do processo construtivo na sua totalidade por todos os envolvidos impacta diretamente na qualidade do produto final, em que, esta metodologia foi implementada.

A termografia de infravermelhos é uma técnica inovadora, não intrusiva e que, sem necessidade de contacto, permite aferir a temperatura de uma determinada superfície sob a forma de mapa de cores, designado por termograma. No âmbito da construção civil esta técnica não-destrutiva apresenta um enorme potencial, permitindo, por exemplo, complementar inspeções que conduzam a diagnósticos confiáveis e de fácil interpretação, associados a várias situações de patologias ou apoiar estudos de análises de conforto térmico.

Neste trabalho aborda-se a evolução das ferramentas de desenho assistido por computador (CAD) até às mais atuais ferramentas BIM, as dimensões da metodologia BIM, incluindo as suas principais vantagens e dificuldades de implementação. Por outro lado, abordam-se os princípios físicos da termografia de infravermelhos, seus tipos de análise e as suas principais vantagens e desvantagens. Por fim, são apresentadas e discutidas diversas possibilidades de integração dos resultados da inspeção termográfica na modelação BIM.

Desta forma, esta dissertação teve como intuito analisar a viabilidade de integração de imagens termográficas em elementos construtivos modelados em programas que utilizam a metodologia BIM. Para este efeito, foram necessários três estudos de caso, onde foram utilizados os programas Revit, Navisworks Manage e Rhinoceros. Os resultados foram analisados e permitiram identificar quais tipos de análise que cada programa pode desenvolver, discutindo-se as potencialidades e limitações associadas a cada caso de estudo.

ABSTRACT

The search for more advanced technologies in the area of civil construction is clear in the growing interest in the implementation of the BIM methodology. The possibility of monitoring the construction process in its entirety by all those involved has a direct impact on the quality of the final product, in which this methodology was implemented.

Infrared thermography is an innovative, non-intrusive technique that, without the need for contact, allows measuring the temperature of a given surface in the form of a color map, called thermogram. In the field of civil construction, this non-destructive technique has enormous potential, allowing, for example, to complement inspections that lead to reliable and easy-to-interpret diagnoses, associated with various pathological situations or to support studies of thermal comfort analysis.

This work addresses the evolution of computer-aided design (CAD) tools to the most current BIM tools, the dimensions of the BIM methodology, including its main advantages and implementation difficulties. On the other hand, the physical principles of infrared thermography, its types of analysis and its main advantages and disadvantages are discussed. Finally, several possibilities for integrating thermographic inspection results into BIM modeling are presented and discussed.

Thus, this dissertation aimed to analyze the feasibility of integrating thermographic images in constructive elements modeled in programs that use the BIM methodology. For this purpose, three case studies were needed, where the programs Revit, Navisworks Manage and Rhinoceros were used. The results were analyzed and allowed to identify which types of analysis that each program can develop, discussing the potentialities and limitations associated with each case study.

PALAVRAS CHAVE

Modelagem da informação da construção (BIM)

Termografia de infravermelhos

Revit

Navisworks Manage

Rhinoceros

KEY WORDS

Building Information Modeling (BIM)

Infrared thermography

Revit

Navisworks Manage

Rhinoceros

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho é um grande orgulho para mim. Sinto-me extremamente honrada e realizada profissionalmente. Contudo, de nada valeria meu esforço sem o apoio dos que estiveram ao meu lado neste período, contribuindo de alguma maneira. À estes presto meus mais sinceros agradecimentos.

Primeiramente a Deus e a toda a minha família, que acreditaram em mim todo o tempo. Sem a ajuda de vocês nada disso seria possível!

Ao meu querido orientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, por compartilhar seu conhecimento e dar todo o suporte, tempo cedido, paciência, compreensão, dedicação em meio a tantas dificuldades.

À Engenheira Mestre Tânia Soares, pela disponibilização das imagens termográficas obtidas em seu estudo, já que, infelizmente, a pandemia me impediu de ir a campo obtê-las.

Ao tão querido professor Doutor Gustavo Lacerda Dias que sempre prestou todo apoio a nós alunos do curso de Engenharia Civil.

Ao Engenheiro e amigo Mateus Beraldi que tanto me assessorou e retirou várias dúvidas relacionadas à sua área de conhecimento.

Ao senhor Arquiteto e Engenheiro Azhar Khan que não mediu esforços em me ajudar com seus conhecimentos, mesmo sem me conhecer.

A todos os meus colegas e amigos, sejam de Aparecida, de Pato ou de Viseu. Todos vocês que me acompanharam de perto ou de longe e sempre me encorajaram a prosseguir, o meu agradecimento mais sincero!

Agradeço mais uma vez a todos que participaram da minha trajetória nesse período, direta ou indiretamente.

Sem vocês, memórias tão boas não teriam sido construídas.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABELAS	xix
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivos do trabalho	2
1.3 Organização e estrutura do trabalho	2
2. Metodologia BIM	4
2.1 Enquadramento histórico	4
2.2 Dimensões do BIM	7
2.3 Vantagens do uso do BIM	8
2.4 BIM na inspeção de edifícios.....	10
2.5 Dificuldades da implementação do BIM	11
3. Termografia	12
3.1 Enquadramento histórico	12
3.2 Princípios físicos.....	14
3.2.1 Espectro eletromagnético e raios infravermelhos.....	14
3.2.2 Radiação dos corpos negro e não negro	15
3.2.3 Emissividade.....	18
3.3 Principais abordagens termográficas	19
3.3.1 Análise quantitativa e qualitativa	19
3.3.2 Termografia passiva e ativa.....	19
3.4 Sistemas de medição	20
4. BIM e termografia na inspeção de edifícios	22
4.1 Aspectos gerais	22
4.2 Aplicações da termografia em inspeções e inclusão no modelo BIM	23
5. Metodologia.....	30
5.1 Considerações iniciais.....	30

5.2	Equipamentos e programas	30
5.3	Procedimentos.....	33
6.	Integração das imagens termográficas nas ferramentas BIM	36
6.1	Integração no Revit	36
6.2	Integração no Navisworks Manage.....	58
6.3	Integração no Rhinoceros	63
7.	Exemplos de aplicação	71
7.1	Integração no Revit	71
7.1.1	Ferramenta Decalque	71
7.1.2	Ferramenta Material	75
7.1.3	Plugin de importação de tabelas TableGen	77
7.2	Integração no Navisworks Manage.....	78
7.3	Integração no Rhinoceros	79
7.3.1	Extração de dados RGB.....	79
7.3.2	Linha do tempo.....	81
7.4	Análise comparativa entre os modos de integração utilizados	82
8.	Conclusões.....	84
8.1	Considerações finais	84
8.2	Trabalhos futuros	85
	Referências	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelação através de desenho assistido por computador (CAD) no passado (PROCONCEPT, 2018).	4
Figura 2: Modelação 3D assistida por computador na atualidade (NICOLAY, 2020). ...	5
Figura 3: Abrangência do conceito BIM (Adaptado de RAHEEM, 2004)	6
Figura 4: Comparativo de processos (Adaptado de THOMASSEN, 2011)	7
Figura 5: Dimensões da metodologia BIM (GARIBALDI et al, 2020)	8
Figura 6: Ciclo BIM relacionado à área da construção civil (adaptado de THOMASSEN, 2011).....	9
Figura 7: Interação dos envolvidos no sistema (esquerda) e modelação BIM aplicada à construção civil (direita) (adaptado de THOMASSEN, 2011)	10
Figura 8: Imagem real (esquerda) e termograma (direita) de um edifício em Berlim, Alemanha (Retirado de SOARES, 2014)	12
Figura 9: Experiência realizada por Herschel (SOARES, 2014)	13
Figura 10: Espectro eletromagnético (MARINS; MELO; ANDRETI, 2012).....	14
Figura 11: Espectro visível e espectro dos infravermelhos (SOARES, 2014)	15
Figura 12: Radiação do corpo negro em função da temperatura e do comprimento de onda (LIMA, 2013).	16
Figura 13: Radiação do corpo não negro (ALBCOSGON, 2014).....	17
Figura 14: Variação da emissividade de diferentes materiais em função do comprimento de onda (GAUSSORGUES, 1994).....	18
Figura 15: A esquerda termômetro pontual e a direita scanner de linha	20
Figura 16: Câmera termográfica.....	21
Figura 17: Condições da área de estudo (NATEPHRA et al., 2016)	24
Figura 18: Metodologia adotada no trabalho de Natephra et al. (2016).....	24
Figura 19: Exemplo de visualização de informações termográficas 4D (NATEPHRA et al., 2016).....	25
Figura 20: Área de estudo e localização dos sensores (NATEPHRA et al., 2017).....	25
Figura 21: Metodologia adotada no segundo estudo de Naephra et al. (2017)	26
Figura 22: Termogramas ao longo de um dia de estudo (NATEPHRA et al., 2017).....	26
Figura 23: Avaliação das condições de conforto térmico utilizando o modelo adaptativo (NATEPHRA et al., 2017)	27
Figura 24: Metodologia adotada no estudo de Lagüela et al. (2014)	27
Figura 25: Nuvem de pontos final, adquirida a partir das 3 posições de escaneamento, necessárias para a captura completa da geometria do edifício (LAGÜELA et al., 2014)	28
Figura 26: Estrutura do gbXML mostrando o relacionamento entre os elementos usados para gerar o esquema do BIM térmico (LAGÜELA et al., 2014)	29

Figura 27: À esquerda vê-se o código gbXML resultante dos dados geométricos e térmicos da composição da construção. À direita, é apresentada uma visualização tridimensional através do software de análise, Ecotect (LAGÜELA et al., 2014).....	29
Figura 28: Câmera termográfica utilizada (SOARES, 2014).....	31
Figura 29: Metodologia do trabalho	33
Figura 30: Extração de dados de temperatura (a vermelho) e escala de temperatura (a roxo).	34
Figura 31: Visão frontal (esquerda) e visão em perspectiva (direita) da parede sem abertura.	37
Figura 32: Visão frontal (esquerda) e visão em perspectiva (direita) da parede com abertura.	37
Figura 33: Localização da ferramenta Decalque no Revit.	37
Figura 34: Fluxograma de trabalho para criação de um decalque.....	38
Figura 35: Início da etapa III, onde é localizada a ferramenta.	38
Figura 36: Criando um novo decalque.	39
Figura 37: Criando a nomenclatura do novo decalque.	40
Figura 38: Separador de configuração do novo decalque.....	41
Figura 39: Escolha da imagem que constituirá o decalque.	42
Figura 40: Criação de decalque finalizada.	43
Figura 41: Procedimento de inserção de um decalque na modelagem.....	43
Figura 42: Inserindo um novo decalque.	44
Figura 43: Posicionando e redimensionando do decalque aplicado.	44
Figura 44: Localização da ferramenta “Material” no Revit.	45
Figura 45: Procedimento para a criação de um novo material.	45
Figura 46: Criar um novo material.	46
Figura 47: Configurações de gráficos do novo material.....	47
Figura 48: Definição de nomenclatura do novo material.	48
Figura 49: Configurações de aparência do novo material.	49
Figura 50: Inserção da imagem que comporá o novo material.	49
Figura 51: Configurações do material definido pelo arquivo de imagem.	50
Figura 52: Procedimento para a adição de um novo material nem um elemento/objeto do modelo.	50
Figura 53: Localização da ferramenta de edição de propriedades do tipo de parede adotada no modelo.	51
Figura 54: Propriedades de tipo da parede modelo.	52
Figura 55: Configurações dos materiais constituintes da parede.	53
Figura 56: Procedimento para exportar dados numéricos de uma imagem termográfica no Flir Tools.	53
Figura 57: Importando imagens termográficas no programa Flir Tools.	54
Figura 58: Exportando dados numéricos de uma imagem termográfica no Flir Tools. .	54
Figura 59: Planilha contendo os dados numéricos da imagem termográfica.	55
Figura 60: Processo de importação de uma tabela para o Revit.....	56

Figura 61: Localização da ferramenta TableGen.	56
Figura 62: Importação de dados numéricos no Revit: primeira fase.	56
Figura 63: Importação de dados numéricos no Revit: segunda fase.	57
Figura 64: Importação de dados numéricos no Revit: terceira fase.	57
Figura 65: Imagens termográficas inseridas como material e representação das paredes com e sem imagens termográficas suas superfícies.	58
Figura 66: Procedimento para importação de arquivo no Navisworks Manage.	59
Figura 67: Localização da ferramenta utilizada para abrir o arquivo .RVT.	59
Figura 68: Seleção do arquivo .RVT.	59
Figura 69: Localização das ferramentas “ <i>Selection Tree</i> ” e “ <i>TimeLiner</i> ”	60
Figura 70: Todas as tarefas criadas para realizar a animação térmica.	60
Figura 71: Procedimento para associar um elemento a uma tarefa.	61
Figura 72: Configuração dos dados da animação.	62
Figura 73: Localização da ferramenta de exportação da animação.	62
Figura 74: Exportação da animação para formato .AVI.	63
Figura 75: Como acessar ao <i>plugin</i> Grasshopper.	64
Figura 76: Tela inicial de edição do <i>plugin</i> Grasshopper.	64
Figura 77: Importação de uma imagem a partir do comando “Image Sampler”.	65
Figura 78: Selecionando o comando Image Sampler.	65
Figura 79: Algoritmo utilizado para extrair os dados RGB e reuni-los num único objeto.	65
Figura 80: Processo de importação do modelo criado no Revit para o Rhinoceros.	66
Figura 81: Localização das ferramentas de importação no programa.	66
Figura 82: Parede modelo criada e duas superfícies retangulares criadas (a maior ao fundo a preto e a menor a amarelo).	67
Figura 83: Primeira etapa do desenvolvimento do algoritmo.	68
Figura 84: Segunda etapa do desenvolvimento do algoritmo.	69
Figura 85: Terceira etapa do desenvolvimento do algoritmo.	69
Figura 86: Algoritmo completo	70
Figura 87: Decalque em toda superfície do elemento.	72
Figura 88: Dois decalques inseridos na mesma parede sem sobreposição entre eles.	72
Figura 89: Três decalques inseridos na mesma parede com sobreposição e consequente perda de informação.	73
Figura 90: Decalque aplicado no subelemento vidro.	73
Figura 91: Decalque aplicado no subelemento caixilho.	74
Figura 92: Decalques aplicados aleatoriamente nos subelementos da parede.	74
Figura 93: Erro apresentado ao aplicar o decalque no subelemento caixilho.	75
Figura 94: Material aplicado com resolução idêntica as dimensões da parede modelo.	76
Figura 95: Material com resolução diferente das dimensões da parede modelo.	76
Figura 96: Material replicado em toda extensão da parede modelo.	76
Figura 97: Materiais aplicados em todos os subelementos na mesma proporção sem replicação.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 98: Materiais aplicados em todos os subelementos na mesma proporção de forma replicada.....	77
Figura 99: Dados numéricos importados como tabela.	78
Figura 100: Animação criada através da ferramenta Time Liner: a) instante $t = 0,5$ segundos; b) instante $t = 4$ segundos c) instante $t = 5$ segundos d) $t = 8$ segundos.....	79
Figura 101: Extração de dados RGB.	80
Figura 102: Visualização da imagem termográfica vista em uma das faces da parede modelo e suas demais vistas	81
Figura 103: Algoritmo utilizado (esquerda) e visualização da imagem termográfica vista em uma das faces da parede modelo (direita).....	82
Figura 104: Imagem térmica associada à parede modelo.....	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores típicos dos diferentes parâmetros, em função do comprimento de onda, para determinados corpos (retirado de SOARES, 2014).....	18
Tabela 2: Análise comparativa entre os modos de integração utilizados	83

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

Com a implementação da metodologia BIM, as melhorias obtidas no setor da construção civil incluem menores interferências, redução da quantidade de trabalhos complementares e um maior controle sobre os custos dos empreendimentos.

Ao mesmo tempo, a termografia de infravermelhos é uma técnica inovadora, não intrusiva e que, sem necessidade de contacto, permite aferir a temperatura de uma determinada superfície sob a forma de mapa de cores, designado por termograma. No âmbito da construção civil esta técnica não-destrutiva apresenta um enorme potencial, permitindo, por exemplo, complementar inspeções que conduzam a diagnósticos confiáveis e de fácil interpretação associados a várias situações de patologias ou apoiar estudos de análises de conforto térmico.

A compatibilização da metodologia BIM com a termografia de infravermelhos é uma área que ainda se encontra pouca explorada, sendo, claramente, necessários mais estudos por parte da comunidade científica. É, no entanto, unânime que, aliando-se essas duas tecnologias, pode-se alargar o potencial de utilização da termografia, realizando-se análises quer visuais, quer numéricas, que não seriam possíveis sem o recurso ao modelo digital do edifício oferecido por esta metodologia.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho é identificar, testar, analisar e discutir diferentes possibilidades de integração de imagens termográficas em modelos digitais BIM. Para tal, foram definidos alguns objetivos parciais, nomeadamente:

- Identificar ferramentas BIM que permitem a integração de imagens térmicas;
- Identificar possibilidades de análise, visuais e/ou numéricas, associadas a cada ferramenta;
- Testar as formas de integração das imagens térmicas nas ferramentas BIM e discutir as potencialidades e limitações associadas a cada uma delas.

1.3 Organização e estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 8 capítulos:

- No capítulo 1 é apresentado o seu enquadramento geral do trabalho, assim como os principais objetivos a alcançar.
- No capítulo 2 aborda-se a metodologia BIM, iniciando pelo seu contexto histórico, suas dimensões, suas vantagens, como aplicá-la na inspeção de edifícios e as dificuldades de sua implementação.
- No capítulo 3 apresenta-se uma breve revisão de literatura sobre o espectro infravermelho, enfatizando os princípios físicos que regem a termografia de infravermelho e finaliza-se a abordagem comentando sobre seus tipos de análise e sistemas de medição.
- No capítulo 4, aborda-se a integração entre metodologia BIM e termografia de infravermelhos. Inicialmente há uma breve contextualização seguida por uma revisão bibliográfica feita através de uma análise aos trabalhos realizados por outros autores sobre o tema.
- No capítulo 5, de caráter experimental, apresentam-se detalhadamente os métodos utilizados para a realização deste estudo.
- No capítulo 6, de caráter experimental, apresentam-se as integrações entre metodologia BIM e termografia de infravermelhos. Para isso, são utilizados programas que permitam a inserção de dados termográficos em elementos construtivos que permitam realizar diferentes tipos de análises, isto é, visuais e/ou numéricas.
- No capítulo 7, apresentam-se os exemplos de aplicação obtidos através da aplicação do item anterior. É realizada, também, uma breve análise da eficiência de cada ferramenta utilizada para desenvolver os diferentes tipos de estudos.
- No capítulo 8, apresentam-se as principais conclusões retiradas do presente trabalho, assim como algumas considerações para eventuais trabalhos futuros.

- Por último, além dos capítulos descritos, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas.

2. Metodologia BIM

2.1 Enquadramento histórico

Ao observar o cenário atual da construção, desde logo se percebe a rápida e eficiente melhoria ocorrida na área do projeto. As ferramentas utilizadas no passado foram renovadas, garantindo a competitividade no mercado, por meio da implantação e generalização de programas de desenho assistido por computador (Figura 1), isto é, Computer Aided Design (CAD) (ISHIBARO, 2015).



Figura 1: Modelação através de desenho assistido por computador (CAD) no passado (PROCONCEPT, 2018).

No início a mudança foi sutil, sendo que a diferença era deixar de lado a execução manual de desenhos, substituindo-a por estruturas de arame 2D compostas por um conjunto de linhas. Com o passar do tempo, como se pode ver, na Figura 2, o surgimento de softwares

de modelação 3D ganharam espaço, permitindo a modelação de sólidos de maneira eficiente. Ao mesmo tempo os programas com metodologia CAD aumentaram as suas funcionalidades ao ponto de “facilitar o compartilhamento das informações entre as partes interessadas, assim como diminuir o esforço quando eram necessárias alterações” (ISHIBARO, 2015).

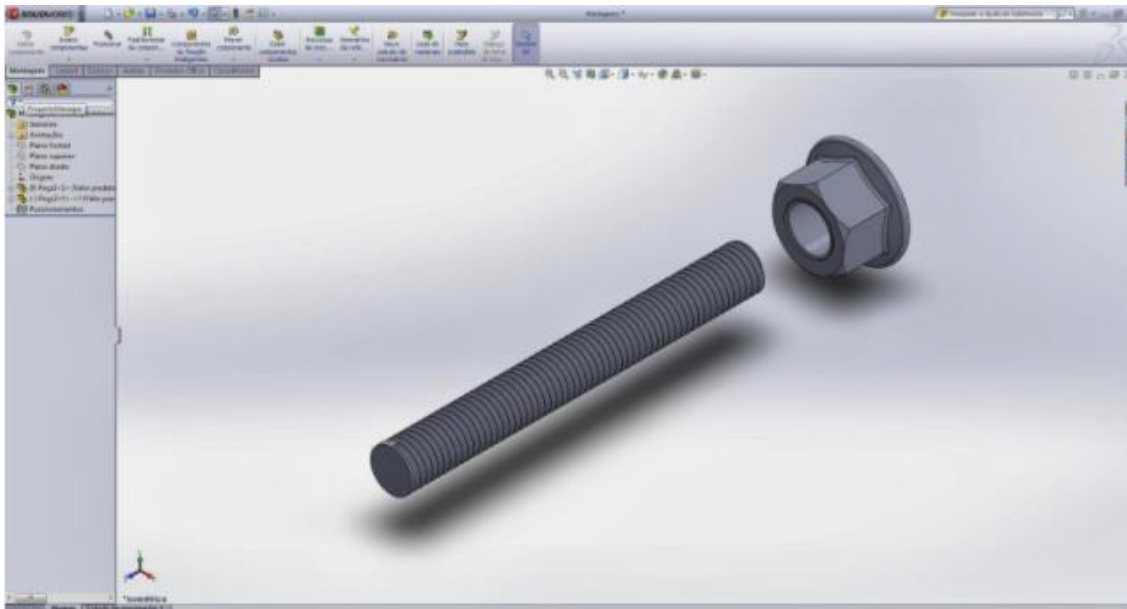


Figura 2: Modelação 3D assistida por computador na atualidade (NICOLAY, 2020).

Estimulados pela concorrência crescente e pela popularização do uso destas ferramentas, evoluiu-se até os dias de hoje, seguindo a evolução no domínio da informática. Em um período de 30 anos houve uma verdadeira revolução no setor da engenharia relativamente às potencialidades das ferramentas informáticas de desenho e modelação. No início surgiu apenas um sistema de computação gráfica aplicável a diferentes projetos de engenharia, que se foi modernizando gradualmente e transformando-se em softwares cada vez mais específicos para cada tipo de projeto.

Para os menos informados, pensar em Building Information Modelling remete apenas para a modelação 3D, visto que este é um dos catalisadores da sua grande ascensão no mercado. No entanto, o conceito BIM tornou-se conhecido apenas por volta dos anos 2000, enquanto a modelação 3D já estava ativa desde o início da década de 70 por meio de tecnologias CAD direcionadas a objetos sólidos. Desta forma, “o conceito BIM mostrou-se inovador ao possibilitar a adição de ‘textura’ informativa aos objetos projetados” (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2017).

De acordo com Lopes (2017), o BIM é uma ferramenta totalmente moderna que permite modelar e analisar todos os pormenores durante o ciclo de vida das construções, conforme evidenciado na Figura 3. Isto é, a partir dele pode-se gerir todas as informações inseridas no projeto e trabalhar no seu processo de controle e gestão de uma maneira muito mais dinâmica e precisa. Oraee et al. (2019) afirmam que “o BIM pode ser definido como uma metodologia com componentes tecnológicos, agenciais e gerenciais”.

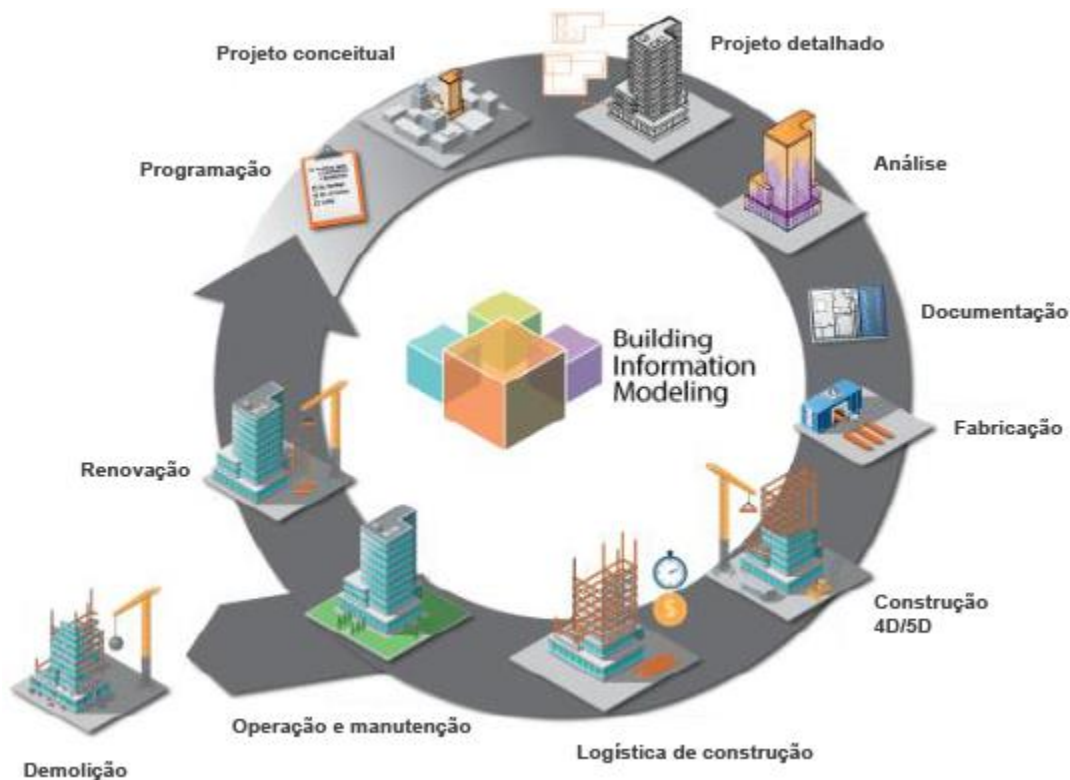


Figura 3: Abrangência do conceito BIM (Adaptado de RAHEEM, 2004)

De acordo com Moreira e Ribeiro (2015), o BIM é produto dos conceitos CAD, já que se encontra incorporado no processo de projeto, porém revela-se muito mais abrangente, uma vez que possibilita a visualização e análise de todo o ciclo de vida da edificação de maneira colaborativa, onde as tarefas são descritas de forma precisa e otimizada.

O ciclo de vida das construções reúne uma quantia incontável de informações sobre cada etapa de sua existência. No entanto, na maioria dos casos esse conteúdo possui informações altamente complexas e, por vezes, fragmentadas e dispersas. Assim sendo, essa ferramenta poderosa emergiu da necessidade de conexão entre essas quantidades enormes de dados sobre os projetos, além de possibilitar o seu compartilhamento entre os diferentes intervenientes de maneira eficaz. Este fluxo de informação colaborativo dá início à era da gestão integrada de projetos (ZHANG et al., 2020). A Figura 4, apresenta o processo tradicional e o processo colaborativo.

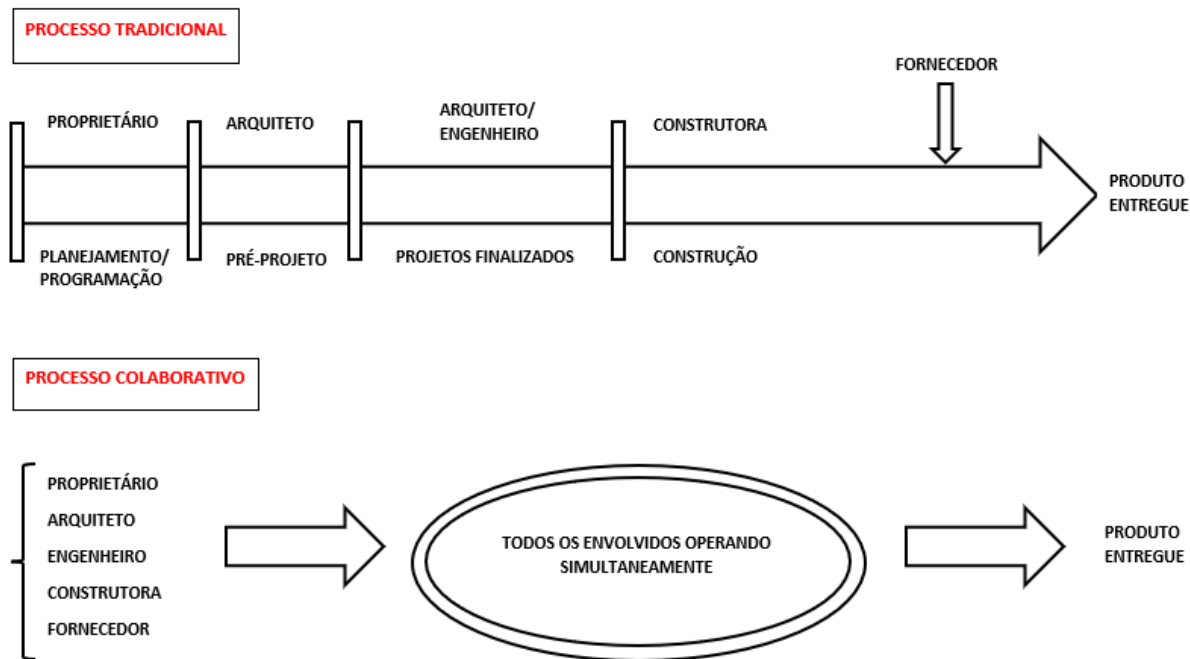


Figura 4: Comparativo de processos (Adaptado de THOMASSEN, 2011)

Segundo Al-Ashmori et al (2020) “a tecnologia BIM pode melhorar a produtividade e a eficiência, aprimorar a construção, minimizar os erros e economizar tempo e custo”. Com esta nova tecnologia os erros causados por incompatibilidade de projetos são minimizados ou mesmo eliminados devido à sua performance automatizada, a qual possibilita a partilha de informações eficientemente entre todas as partes envolvidas num projeto, seja de construção nova, seja de reabilitação (LOPES, 2017).

2.2 Dimensões do BIM

As diferentes dimensões da metodologia BIM – chamados “Ds” – trazem uma visão ainda mais inovadora a todo o conceito. As duas primeiras são as mais conhecidas e referem-se à capacidade de trabalhar em três planos diferentes (3D) e ao tempo (4D). Na primeira o processo já se tornou algo insignificante e comum, contudo, quando se fala do segundo o interesse aumenta. Por exemplo, ao inserir um elemento simples como uma janela, pode-se associar informações sobre a fase do projeto a que ela pertence – nova construção ou edificação existente. Assim, o cronograma relativo ao plano de trabalhos pode ser dividido de forma automática de acordo com as fases construtivas. Essa capacidade de criar uma memória ao objeto é primária e aceitável como uma dimensão (KOUTAMANIS, 2020).

As dimensões seguintes do modelo arreferem-se à incorporação de informação relativa ao custo (5D), facilitando a projeção de cenários económicos assim como a apresentação de relatórios financeiros mais rigorosos, minimizando ou evitando deslizes orçamentais, e à análise de desempenho ambiental (6D), contribuindo para a realização de simulações

de desempenho funcional e promovendo a adoção de medidas e estratégias mais sustentáveis. Por último surge, a adição de informações relacionadas ao custo total de vida do empreendimento, incluindo as fases de operação e manutenção do edifício (7D), auxiliando no acesso e compartilhamento de informações e, conseqüentemente, na melhoria na gestão dos espaços. A Figura 5 ilustra o conceito das diferentes dimensões associadas à metodologia BIM.



Figura 5: Dimensões da metodologia BIM (GARIBALDI et al, 2020)

Salienta-se que já há alguns estudos preliminares sobre a implementação de uma nova dimensão no BIM, a 8D, que se refere à segurança do trabalho. Esta componente será responsável por englobar informação relativa a alertas de sinais de riscos e conseqüentes sugestões de medidas de segurança a fim de mitigar possíveis problemas futuros (KOUTAMANIS, 2020).

2.3 Vantagens do uso do BIM

A tecnologia BIM pode ser utilizada em várias situações diferentes, como por exemplo a detecção de conflitos, otimização do projeto, gerenciamento do processo construtivo, apoio à otimização logística do local da obra, entre outros recursos (KOUTAMANIS, 2020).

A possibilidade de transferência de dados entre aplicações de softwares distintos (interoperabilidade) é uma das principais mais-valias da metodologia BIM pois permite a uma determinada organização manter uma equipa multidisciplinar sem que haja necessidade de contato entre os utilizadores. Conforme visto na Figura 6, desta forma é desenvolvido um fluxo de trabalho cíclico por meio de um processo colaborativo integrado (THOMASSEN, 2011).



Figura 6: Ciclo BIM relacionado à área da construção civil (adaptado de THOMASSEN, 2011)

Com o crescente foco da construção civil nas questões da sustentabilidade, deve destacar-se o papel relevante que a metodologia BIM pode desempenhar, nomeadamente para a redução do impacto ambiental associado às construções (pontes, barragens, canais, túneis e edifícios). Por exemplo, a eliminação, ou redução, das incompatibilidades entre projetos de diferentes especialidades, conduz, necessariamente, a uma redução da produção de resíduos. Simulações de soluções mais sustentáveis, ainda na etapa de projeto, visando a redução da quantidade de energia e emissão de CO₂, assim como redução nos custos de manutenção ao longo da vida útil da construção.

Ainda dentro das questões relacionadas com a sustentabilidade, destaca-se a possibilidade de realizar simulações térmicas e energéticas e estudos de iluminação, contribuindo decisivamente para a gestão energética do edifício, assim como para o seu conforto térmico interior.

Outra vantagem muito expressiva da metodologia BIM é o alargamento do campo das partes interessadas. Engenheiros, arquitetos e empreiteiros estão treinados para a leitura e interpretação de projetos, no entanto os proprietários das obras (dono de obra) por vezes têm dificuldade em compreender as peças desenhadas. Nesse sentido, a visualização 3D avançada e realista trouxe a possibilidade de aproximação do real para o proprietário do empreendimento. A Figura 7 à esquerda ilustra essa interação entre todos os envolvidos no ecossistema BIM, enquanto a figura à direita exemplifica um software de modelação com metodologia BIM aplicado à construção civil.

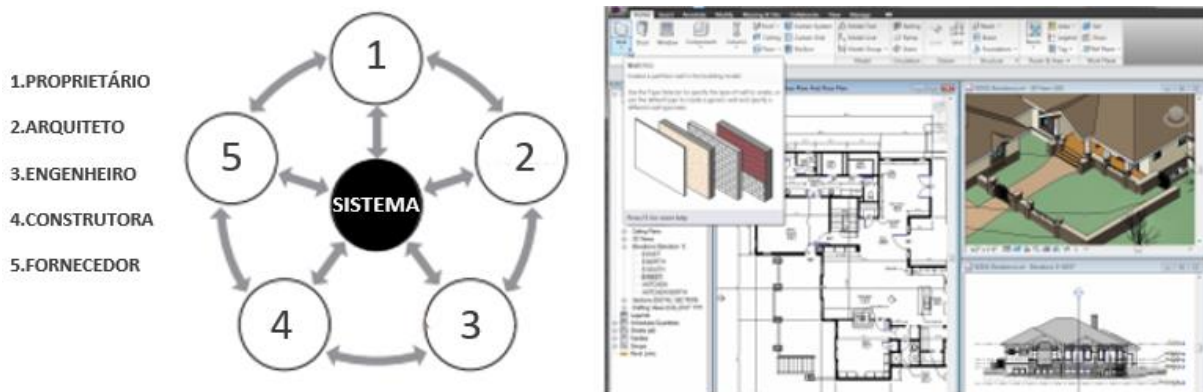


Figura 7: Interação dos envolvidos no sistema (esquerda) e modelação BIM aplicada à construção civil (direita) (adaptado de THOMASSEN, 2011)

Em conclusão, a versatilidade da metodologia BIM viabiliza e potencia a sua utilização em diferentes processos e análises de gestão da construção de um modo geral, descomplicando muitos dos procedimentos, contribuindo para uma melhoria generalizada da performance da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (AL-ASHMOMRI et al., 2020).

2.4 BIM na inspeção de edifícios

A inspeção de uma construção pode acontecer antes, durante ou após a sua execução. “Todo o processo de investigação de patologia necessita identificar as anomalias, quantificá-las e determinar a gravidade das mesmas. São vários os instrumentos e as metodologias empregados nesse processo investigativo” (BAUER et al., 2014). Desta forma, os métodos de inspeção de edifícios podem ser utilizados numa lógica preventiva e/ou corretiva.

O objetivo da inspeção preventiva é verificar o estado da edificação a fim de garantir que atenda ao que fora proposto, mesmo que não haja indícios de anomalias. Já a inspeção corretiva possui o intuito de apontar e corrigir defeitos já identificados que estejam de alguma forma interferindo na saúde e/ou desempenho da edificação.

A metodologia BIM pode e deve desempenhar um papel de destaque no apoio à inspeção de edifícios. Nesse sentido, recentemente têm surgido alguns trabalhos de investigação neste domínio.

Por exemplo, Sousa et al. (2020) utilizaram diversas dimensões do BIM para criar um plano de manutenção eficiente para um edifício reabilitado. Os autores, apesar de indicarem algumas pequenas ressalvas, constataram as vantagens da utilização dessa metodologia uma vez que a mesma proporcionou e facilitou a implementação de diferentes rotinas de manutenção.

Ao realizar uma inspeção de um edifício é habitual recorrer-se a ensaios, que podem ser destrutivos ou não. Os ensaios não destrutivos são técnicas que não produzem danos à edificação, isto é, não ocorre perda permanente das propriedades do elemento

inspecionado, ao contrário dos destrutivos que podem resultar até mesmo na inutilização do material. Os resultados obtidos em ambos ensaios podem ser carregados no modelo digital do edifício, disponibilizando-se assim informação útil para o gestor do empreendimento, que poderá tomar decisões mais fundamentadas no domínio da gestão e manutenção do edifício.

O uso de uma plataforma integrada baseada na metodologia BIM pode auxiliar também na tomada de decisão - no que diz respeito a manutenções identificadas como necessárias para a recuperação das características do elemento, possibilitando a análise do impacto que dada manutenção causaria nas demais partes constituintes da construção.

2.5 Dificuldades da implementação do BIM

Segundo Lino, Azenha e Lourenço (2016), a implementação da metodologia BIM sofre de algumas condicionantes de ordem técnica, as quais tem sido amplamente discutidas pelos responsáveis pelos softwares e demais envolvidos nesta área, e em relação ao processo de adaptação pessoal/organizacional, sendo esta mais difícil de resolver por conta da singularidade dos indivíduos. Os autores destacam ainda as seguintes dificuldades associadas à implementação da metodologia BIM:

- dificuldades financeiras associadas ao processo de implantação, uma vez que não se trata apenas da compra do software (que é, por si só, um alto investimento), é necessário pensar no custo de aprendizagem dos profissionais;
- lentidão na aprendizagem, uma vez que os programas BIM, embora possuindo muitas funcionalidades, apresentam uma certa complexidade, o que dificulta o processo de aprendizagem e domínio das ferramentas. Além disso, há a necessidade de se trabalhar internamente ao nível da empresa na conscientização do conceito, de modo que provoque uma nova percepção sobre o processo de modelação, evidenciando-se mais-valias associadas à nova metodologia;
- deficiente aplicação da metodologia colaborativa devido à falta de interação da equipa de projetistas. Isto é, nestas circunstâncias, uma das principais vantagens do conceito BIM é descartada e pode resultar em problemas futuros ou repetição do trabalho, que poderia ser evitado com a participação de todos os envolvidos no processo criativo de maneira interativa;
- possibilidade de falhas no processo de integração e manipulação dos produtos desenvolvidos em diferentes plataformas pelos outros colaboradores, associadas a questões ainda não resolvidas de interoperabilidade entre programas;
- a obrigatoriedade de estabelecer uma forma como será de partilha do modelo entre todos os intervenientes, projetistas e também o construtor (ou demais envolvidos), de modo que não fira os direitos do autor e deixe clara a responsabilidade de cada integrante do processo.

3. Termografia

3.1 Enquadramento histórico

A termografia de infravermelhos é uma técnica que permite medir a temperatura superficial de um corpo através da radiação infravermelha emitida por ele. Câmaras infravermelhas são utilizadas para traduzir essas informações convertendo-as nas chamadas imagens térmicas ou termogramas, conforme pode ser demonstrada, por Soares, (2014) na Figura 8. Com isso, entre outras aplicações, é possível identificar anomalias por meio de regiões ou pontos contidos na imagem onde se verifica discrepância com o padrão predeterminado para o corpo em análise (ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO, 2012).

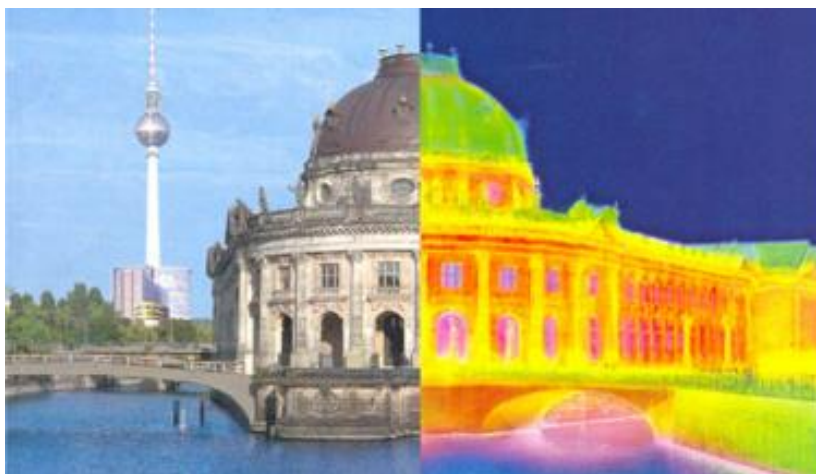


Figura 8: Imagem real (esquerda) e termograma (direita) de um edifício em Berlim, Alemanha (Retirado de SOARES, 2014)

Os raios infravermelhos foram descobertos no século XVIII por Sir Frederick William Herschel. No momento em questão, a intenção dele era determinar a quantidade de calor que atravessara filtros coloridos que usara para observar o Sol e qual destas cores era mais relevante para o aquecimento dos corpos (INCROPERA, 2014).

A partir da sua pesquisa, surgiu-lhe o conceito de que os diversos níveis de calor eram resultado das muitas cores que formam a luz branca. Assim, Herschel realizou uma experiência (Figura 9) para averiguar a validade da sua teoria. Nesse sentido, utilizou um prisma de vidro onde permitiu a passagem de luz solar a fim de desagrupar as cores do espectro visível, ou seja, as cores que variam entre o vermelho e o violeta, para que fosse possível realizar a medição da temperatura de cada uma delas separadamente. Feito isso, constatou o aumento da temperatura à medida que variava do violeta para o vermelho, e ainda, uma temperatura mais alta na região imediatamente seguida da cor vermelha, onde não havia luz solar evidente (INCROPERA, 2014).

Desta forma, Herschel conclui – associado a outras experiências – que havia radiações invisíveis ao olho humano, as quais eram as causadoras do aquecimento dos objetos, designando-as raios infravermelhos. Herschel também descobriu com novas experiências que estes raios se comportavam semelhantemente ao visível, ou seja, refletiam, refratavam, eram absorvidos e transmitidos (INCROPERA, 2014).

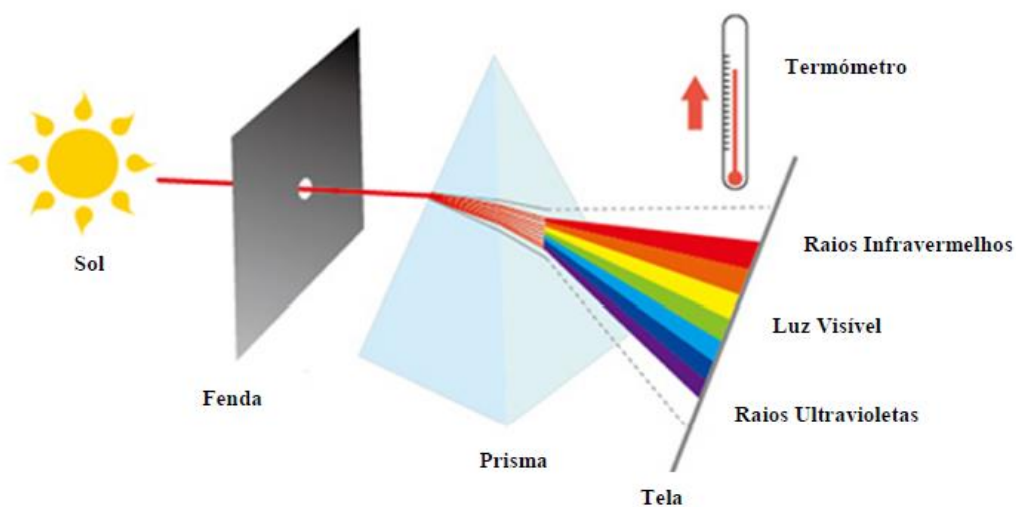


Figura 9: Experiência realizada por Herschel (SOARES, 2014)

Leopoldi Nobili, baseado no Efeito Seebeck, encontrou uma maneira de detetar essa energia irradiada, conectando termopares em série, formando uma termopilha. Posteriormente, Sir John Herschel, filho de William Herschel, em 1840, produziu a primeira imagem termográfica a partir da evaporação diferencial de um filme fino de óleo exposto a um padrão de calor. A criação do bolómetro, 40 anos depois, por Samuel Pierpont Langley, propiciou uma melhoria considerável da sensibilidade na deteção de raios infravermelhos. O equipamento consiste na utilização de elementos de platina

enegrecida, que, uma vez aquecidas pela radiação infravermelha, sofriam modificações mensuráveis da sua resistência (KYLILI et al., 2014).

Após o decorrer de 30 anos, foi possível reduzir o tempo de resposta e aumentar a precisão das medições já que o progresso tecnológico permitiu que a forma de deteção fosse alterada, sendo os detetores quânticos os responsáveis por esta melhoria, contudo todos os detetores necessitavam de arrefecimento (INCROPERA, 2014).

As primeiras aplicações da termografia foram para usos militares, onde na década de 40 o primeiro scanner de infravermelho disponibilizava imagens em horas. Posteriormente, em 1960, esse tempo foi reduzido significativamente, podendo formar-se imagens instantaneamente, abrindo espaço para câmaras de infravermelhos comerciais no final dessa década (ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO, 2012).

Outros avanços consideráveis na tecnologia referem-se ao peso e, conseqüentemente, tamanho das câmaras termográficas, que são bastante compactas. Destacam-se ainda as melhorias na resolução e qualidade das imagens, que podem ser vistas prontamente no écran do medidor ou guardadas para posterior uso e manipulação em softwares especializados (SOARES, 2014).

3.2 Princípios físicos

3.2.1 Espectro eletromagnético e raios infravermelhos

O espectro eletromagnético é composto por diversos tipos de ondas, sendo dividido de acordo com os respetivos comprimentos das ondas, conforme visto na Figura 10. Os raios infravermelhos encontram-se na faixa das ondas com comprimentos maiores, assim como as micro-ondas e as ondas de rádio. Já os raios ultravioletas, raios x e raios gama constituem a região com comprimentos de ondas menores, sendo nesta onde se encontra a gama do visível, ou seja, a área do espectro eletromagnético à qual o olho humano é sensível (INCROPERA, 2014).



Figura 10: Espectro eletromagnético (MARINS; MELO; ANDRETI, 2012)

De acordo com Cortizo, 2007, “todo corpo com temperatura acima do zero absoluto ($-273,15$ °C ou 0 K) emite radiação”. Isso ocorre devido à agitação dos seus átomos e moléculas. Contudo, como a radiação infravermelha é formada por um comprimento de

onda muito longo, torna-se insensível ao olho humano. Entretanto, ao longo dos anos têm-se criado equipamentos sensíveis às demais faixas do espectro eletromagnético, permitindo trabalhos em novas áreas científicas e tecnológicas, e proporcionando facilidades quotidianas. Logo, os raios infravermelhos podem ser captados e medidos de modo que “quanto mais elevada for a temperatura do objeto, maior será a radiação infravermelha irradiada” (INCROPERA, 2014).

Por meio da Figura 11, verifica-se que os raios infravermelhos se podem subdividir de acordo com seus comprimentos de onda – entre próximos (0,75 a 1,5 μm), médios (1,5 a 20 μm) e extremos (20 a 1000 μm) (INCROPERA, 2014).



Figura 11: Espectro visível e espectro dos infravermelhos (SOARES, 2014)

3.2.2 Radiação dos corpos negro e não negro

O corpo negro é um conceito importante para o entendimento das propriedades radiantes das superfícies. Uma vez que ele está em equilíbrio térmico, as suas taxas de emissão e absorção atingem o mesmo valor. Ao contrário do corpo não negro - que depende do material que é formado - este é um objeto não refletor perfeito, capaz de absorver toda a radiação que nele incida, independente de qual for o comprimento de onda, sendo influenciado somente pela temperatura absoluta (INCROPERA, 2014).

Este fenómeno é demonstrado pela lei de Planck, equação (1):

$$\frac{\partial R(\lambda, T)}{\partial \lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\frac{\partial R(\lambda, T)}{\partial \lambda}$	$[W \cdot m^{-3}]$	Poder emissivo por unidade de superfície do corpo negro e por comprimento de onda
$h = 6,626176 \times 10^{-34}$	$[J \cdot s]$	Constante de Planck
$k = 1,380662 \times 10^{-23}$	$[J \cdot K^{-1}]$	Constante de Boltzmann
$c = 2,998 \times 10^8$	$[m \cdot s^{-1}]$	Velocidade da luz
T	$[K]$	Temperatura absoluta do corpo negro
λ	$[\mu m]$	Comprimento de onda

Na Figura 12, é possível observar que os corpos negros produzem radiação constante quando estão a uma temperatura uniforme, isto é, nota-se que conforme a temperatura diminui, o pico da curva da radiação de um corpo negro se desloca para menores intensidades e maiores comprimentos de onda.

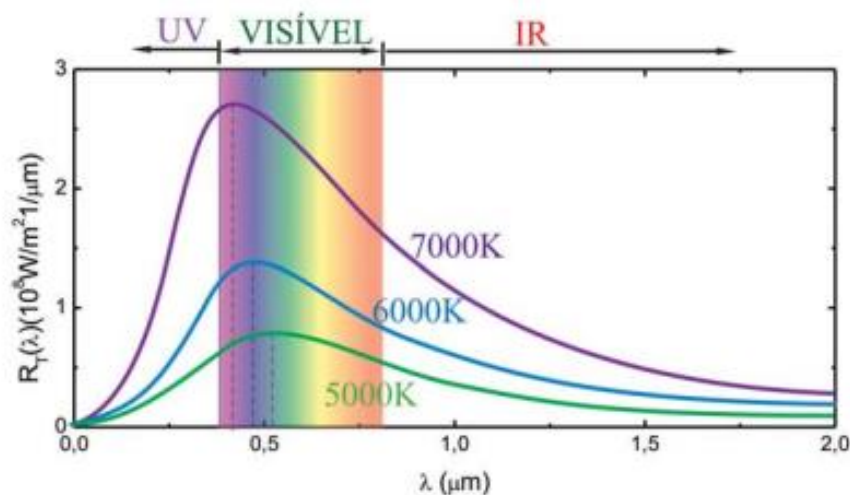


Figura 12: Radiação do corpo negro em função da temperatura e do comprimento de onda (LIMA, 2013).

Ao derivar a Lei de Planck em relação ao comprimento de onda (λ), obtém-se a Lei de Wien, que traduz o deslocamento do valor máximo da radiância espectral em função da temperatura, conforme evidenciam as equações (2) e (3) (INCROPERA, 2014):

$$\lambda_{max} = \frac{298}{T} \quad [\mu m] \quad \text{Equação (2)}$$

$$\frac{\partial R(\lambda, T)}{\partial \lambda} = 1,286 \cdot 10^5 \cdot T^5 \quad [W \cdot m^{-3}] \quad \text{Equação (3)}$$

O resultado da integração da Lei de Planck no domínio $[\lambda=0; \lambda=\infty]$, é a Lei de Stefan-Boltzmann, equação (4). Esta equação permite obter o valor total da radiância espectral de um corpo negro para uma certa temperatura T (INCROPERA, 2014).

$$R_1 = \sigma \cdot T^4 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

R_1	$[W \cdot m^{-2}]_1$	Radiância espectral total do corpo negro
$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$	Constante de Stefan-Boltzmann
T	$[K]$	Temperatura absoluta do corpo negro

Ao passar de um modelo ideal para o modelo real em que surgem os corpos não negros, têm de se considerar algumas outras características, nomeadamente a capacidade de refletir e transmitir parte da radiação que é incidida sobre o objeto (Figura 13), além da capacidade de absorver como fora visto anteriormente no corpo negro. Estas componentes dependem do comprimento de onda e a sua relação está expressa na equação 5.



Figura 13: Radiação do corpo não negro (ALBCOSGON, 2014)

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad \text{Equação (5)}$$

$\alpha(\lambda)$	[ad]	Absorção espectral, isto é, razão entre a radiância absorvida pelo objeto e a radiância total que incide sobre o mesmo, para determinado comprimento de onda
$\rho(\lambda)$	[ad]	Reflexão espectral, isto é, razão entre a radiância refletida pelo objeto e a radiância total que incide sobre o mesmo, para determinado comprimento de onda
$\tau(\lambda)$	[ad]	Transmissão espectral, isto é, razão entre a radiância transmitida pelo objeto e a radiância total que incide sobre o mesmo, para determinado comprimento de onda

A energia emitida pelo corpo não negro é designada por emissividade espectral, $\varepsilon(\lambda)$. Para que haja equilíbrio do sistema, ela tem de ser compensada pela energia absorvida inicialmente pelo objeto. Segundo a Lei de Kirchoff, equação 6, verifica-se que qualquer material com determinado comprimento de onda e dada temperatura apresenta emissividade e absorção espectrais iguais (INCROPERA, 2014).

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad \text{Equação (6)}$$

Alguns materiais possuem valores próprios para os diferentes parâmetros como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores típicos dos diferentes parâmetros, em função do comprimento de onda, para determinados corpos (retirado de SOARES, 2014)

	Emissividade (ε)	Reflexão (ρ)	Transmissão(τ)
Corpo negro	1	0	0
Corpo transparente	0	0	1
Espelho perfeito	0	1	0
Superfície opaca	$\varepsilon + \rho = 1$		0
Corpo cinzento	Constante	Constante	0

A Figura 14 elucida o comportamento das diferentes categorias de materiais em função da emissividade e do comprimento de onda.



Figura 14: Variação da emissividade de diferentes materiais em função do comprimento de onda (GAUSSORGUES, 1994)

3.2.3 Emissividade

A emissividade é a propriedade mais importante de um objeto quando se pretende o estudo da energia infravermelha. A partir dela, sabe-se qual a capacidade que o corpo tem de emitir essa radiação, quando comparado a um corpo negro à mesma temperatura. É extremamente importante entender que esta característica se comporta de maneira diferente em função de alguns parâmetros, para que assim não ocorram leituras

equivocadas. Essas variáveis são, por exemplo, o comprimento de onda, o ângulo de observação, a temperatura e o tipo de superfície do objeto. (BARREIRA; ALMEIDA; SIMÕES, 2021).

Desta forma, foram desenvolvidas algumas técnicas para que seja possível identificar qual a emissividade de um objeto. Por exemplo, partindo do princípio de que alguma parte do objeto fique preta, para que funcione como corpo negro. Para tal, cola-se um pedaço de fita isolante ou até mesmo pinta-se uma porção do objeto.

Existem vários outros métodos para determinar a emissividade de um determinado material, como através da utilização de um emissómetro, mas o essencial é que seja escolhido o método mais adequado para cada situação, para que não ocorram erros durante a execução do ensaio, evitando-se assim resultados falsos.

3.3 Principais abordagens termográficas

3.3.1 Análise quantitativa e qualitativa

O tipo de análise mais adequada depende, obviamente, do objetivo do estudo e das propriedades do objeto em questão. Assim, caso seja preciso apenas identificar anomalias com base na confrontação das mesmas com padrões térmicos, isto é, uma rápida avaliação com interpretação facilitada, pode recorrer-se ao método qualitativo, em que os valores absolutos da temperatura não são relevantes. Já para a análise quantitativa, os resultados obtidos têm por finalidade indicar a gravidade das irregularidades, a partir da quantificação das variações de temperatura na superfície do objeto estudado, tornando o estudo mais completo, rigoroso e demorado. É importante frisar que independentemente do método adotado, é altamente recomendado que os profissionais responsáveis pelo estudo sejam capacitados, a fim de diminuir os erros de interpretação das imagens, assim como, indicarem os meios de correção dos defeitos da maneira mais adequada possível (ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO, 2012; SOARES 2014).

3.3.2 Termografia passiva e ativa

Para que o sensor termográfico consiga gerar as imagens, é imprescindível que ele seja estimulado pela radiação, mas nem sempre o local onde se encontra o objeto permite que isso aconteça. Isto é, nem sempre a energia térmica do alvo consegue ativar os sensores do recetor. Devido a este fenómeno, podemos classificar a técnica da termografia de infravermelhos em: passiva e ativa. Na primeira abordagem, considera-se que o corpo em estudo possui energia térmica armazenada internamente ou que uma fonte natural de calor seja capaz de promovê-la. Já quando se fala na abordagem ativa, os objetos em análise estão sujeitos a uma fonte artificial de energia, ou seja, são aquecidos ou arrefecidos a

fim de que o fluxo de calor criado atenda às necessidades para a criação da imagem térmica (ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO, 2012).

3.4 Sistemas de medição

Os dispositivos de medição de temperatura por infravermelhos trabalham convertendo a radiação térmica emitida pelo alvo em impulsos elétricos que serão amplificados e convertidos em sinais digitais, sem que seja necessário qualquer contato entre ambos. Existem três tipos de sistemas de medição: os que fornecem a temperatura de um ponto na superfície, denominados termômetros pontuais (Figura 15 à esquerda), os scanners de linha (Figura 15 à direita), que geram um perfil de temperatura ao decorrer de uma linha na face do objeto, e os medidores que produzem imagens térmicas, chamadas câmaras termográficas (Figura 16) (OLIVEIRA, 2013; ALTOÉ; OLIVEIRA FILHO, 2012).



Figura 15: A esquerda termômetro pontual e a direita scanner de linha



Figura 16: Câmera termográfica

4. BIM e termografia na inspeção de edifícios

4.1 Aspectos gerais

Atualmente onde os trabalhos na área da construção civil encontram-se cada vez mais automatizados e, o sucesso desta automatização está obrigatoriamente ligado ao uso conjunto de diversos softwares. Tendo em conta que um projeto inclui a participação de vários ramos específicos, é fundamental a busca por meios e métodos que possibilitem a interação entre estudos e projetos desenvolvidos separadamente e/ou a manipulação de informações obtidas por diferentes intervenientes.

Nesse sentido, a compatibilização dos resultados obtidos na inspeção termográfica de um edifício com o modelo digital BIM implica a utilização de diferentes ferramentas informáticas. Como descrito nos trabalhos de Natephra et al (2016) e Lagüela et al. (2014), por exemplo, o uso do BIM em conjunto com imagens termográficas pode potenciar a riqueza de dados que podem ser extraídos de uma determinada edificação. Desta forma, fica evidente o enorme potencial associado à combinação destas técnicas na esfera das inspeções das construções.

Basicamente ambos autores possuem como objetivo em seus trabalhos a caracterização térmica de uma edificação, realizar um estudo do conforto térmico da edificação. Para tal, nos dois trabalhos é utilizada a termografia.

A termografia é um ensaio não destrutivo, totalmente apropriado para a inspeção de edifícios já que propicia resultados confiáveis através de métodos fáceis que não prejudicam a edificação estudada. “No entanto, a imagem térmica 2D carece de informações complementares, como geometria, volume de espaço e localização real do edifício” (NATEPHRA et al., 2016).

Com a metodologia BIM é possível eliminar as lacunas citadas anteriormente. A armazenagem de dados obtidos na inspeção termográfica no modelo BIM aumenta assim o interesse da termografia. Por exemplo, pode inserir-se dados temporais no modelo digital de modo que a identificação e evolução de possíveis defeitos seja notada no tempo real em que ocorreram. Além disso, reconhecer e armazenar a informação relativa a diferentes comportamentos, em diferentes condições, a que a edificação esteja submetida é mais um grande benefício.

De acordo com Wang, Cho e Gai (2013), há três fases para a criação de um modelo térmico 3D, sendo eles respectivamente:

- 1) Obtenção de imagens termográficas para o modelo 3D;
- 2) União dos termogramas com imagens digitais para verificar os dados térmicos;
- 3) Estruturar as imagens térmicas para nuvens de pontos 3D.

É interessante destacar o fundamental processo de manipulação de dados que ocorre até à obtenção do modelo final. De facto, para que a imagem térmica chegue finalmente ao seu destino – o modelo digital – é preciso realizar anteriormente diversas manipulações em seus dados. Para este fim, existem alguns programas que fazem este procedimento de conversão de forma mais ou menos automática, conforme visto nos trabalhos descritos mais a frente neste capítulo.

Após a criação do modelo térmico, a identificação de patologias torna-se muito mais eficiente. “O modelo termográfico 4D resultante possui um potencial de servir como uma ferramenta para visualização e diagnóstico das condições de construção” (NATEPHRA et al., 2016).

4.2 Aplicações da termografia em inspeções e inclusão no modelo BIM

A integração das imagens termográficas nos modelos BIM pode ser realizada de várias formas. A estratégia mais simples de adicionar termogramas em modelos BIM, como por exemplo no software Revit, tem por base o uso de ferramentas básicas como: inserção de materiais ou texturas na superfície do elemento com as ferramentas “Materiais” e “Decalque”, respectivamente. Todos esses instrumentos partem do princípio de que há uma imagem térmica que pode ser inserida na modelação 3D, a fim de apenas produzir uma visualização simples, eventualmente útil para uma rápida interpretação e análise de um fenómeno específico. Todavia, há outros métodos mais complexos que exigem mais das dimensões que essa plataforma oferece mas que permitem armazenar mais informação, aumentando assim o interesse técnico-científico do trabalho.

No estudo de Natephra et al. 2016, os métodos termográficos foram aplicados utilizando a metodologia quantitativa. Isto é, um dos objetivos era não somente a identificação das possíveis anomalias, que estivessem a causar ineficiências energéticas, mas, também a sua quantificação a fim de viabilizar o diagnóstico do desempenho térmico e do nível de

conforto da sala em estudo, e, portanto, fundamentar as medidas de melhoria necessárias para a otimização da performance do espaço.

Os autores escolheram uma sala de jantar retangular de aproximadamente 24 m² da Universidade de Osaka, no Japão, como caso de estudo (imagens retangulares da Figura 17). Os dados foram obtidos no período de setembro a outubro do ano de 2015, variando entre dias nublados e dias de céu limpo (imagens circulares da Figura 17).

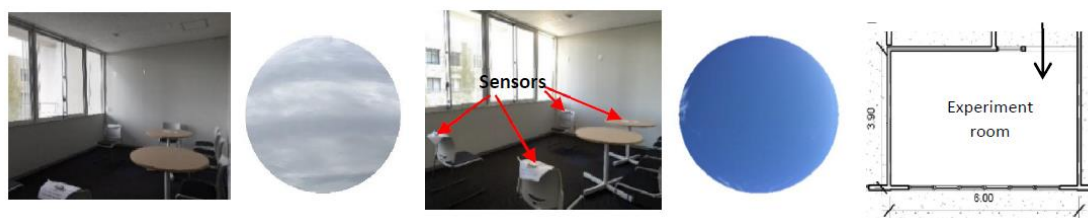


Figura 17: Condições da área de estudo (NATEPHRA et al., 2016)

A metodologia adotada no trabalho em questão compreendeu de quatro etapas descritas na Figura 18.

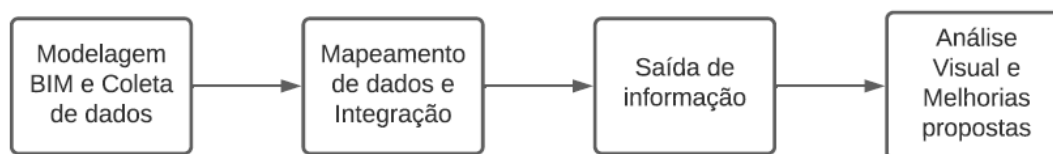


Figura 18: Metodologia adotada no trabalho de Natephra et al. (2016)

Resumidamente, a primeira etapa tinha como objetivo a coleta de dados térmicos, de temperatura e humidade do local, bem como a criação do modelo 3D contendo as devidas informações geométricas e propriedades dos materiais. Para tal, foi utilizado o software Revit. Em seguida foram utilizados outros softwares para realizar o mapeamento de imagens termográficas e o seu necessário tratamento a fim de promover a integração entre os dados numéricos e os visuais. Para isso, programas como Rhinoceros, com o seu plugin Grasshopper, e a ferramenta TimeLiner, do Navisworks Manage, foram utilizados para incorporar os dados codificados por tempo e temperaturas.

É interessante destacar que, devido à sua dimensão, nem sempre é possível capturar o alvo apenas com um disparo de câmara infravermelha. Nessas circunstâncias, cerca de 30% da área dos termogramas devem ser destinados a sobreposição, ou seja, uma parcela será utilizada para o processo de unificação das imagens com o intuito de se obter uma única imagem da superfície examinada. Logo, na maior parte dos casos as imagens térmicas devem passar por um processo de ajuste para garantir a eficácia de determinada pesquisa. Este procedimento foi utilizado no trabalho de Natephra et al. (2016). Problemas de perspectiva e grandes quantias de fotos são alguns fatores que devem e foram corrigidos de modo que o produto final se tornasse adequado para manuseio.

A terceira etapa do trabalho consistiu na obtenção de resultados após a conclusão de todo o processo anterior. Ou seja, vários tipos de arquivos puderam ser obtidos após a aplicação da metodologia proposta. Por exemplo, foram extraídos dados térmicos 3D, imagens 4D e dados estatísticos de níveis de conforto térmico ao longo do tempo.

Por fim, com a quarta etapa foi possível criar um modelo que viabiliza a elucidação de dados térmicos em 4D, ou seja, há informações geométricas, termográficas e carimbos de hora, todos com componentes de fácil visualização. Desta forma, pode, por exemplo, analisar-se o comportamento das áreas de temperatura mais elevada ao longo do dia assim como localizar zonas de perda/geração de calor e, portanto, trabalhar em melhorias para cada problema encontrado (Figura 19).

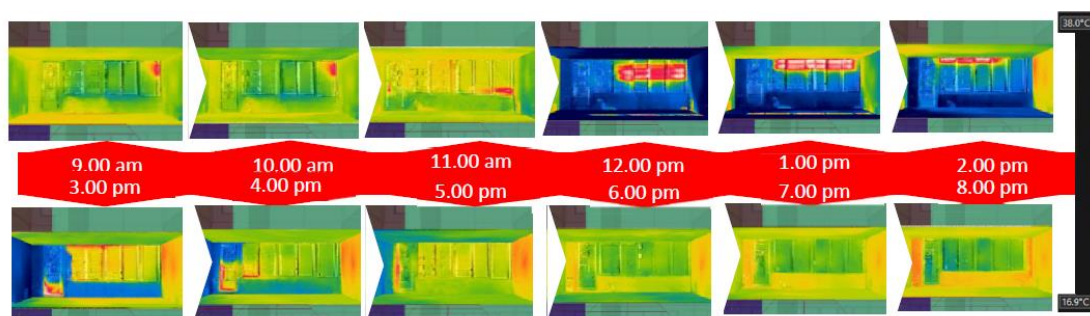


Figura 19: Exemplo de visualização de informações termográficas 4D (NATEPHRA et al., 2016)

Ainda nesse trabalho é mencionada a continuação da investigação sobre o tema de modo a pormenorizar e potenciar os resultados já alcançados. Nesse sentido, Natephra et al. (2017) utilizaram a mesma área experimental mantendo as janelas fechadas durante a análise (que foi realizada no mesmo período de setembro e outubro) e o local continha somente ventilação natural sem sistema *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) atribuído (Figura 20).

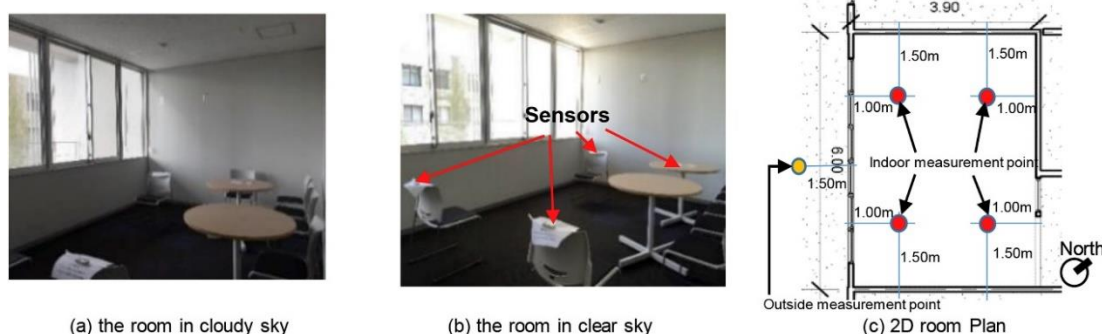


Figura 20: Área de estudo e localização dos sensores (NATEPHRA et al., 2017)

A metodologia adotada (Figura 21) compõe-se de seis etapas, incluindo a avaliação do conforto térmico dos ambientes através do cálculo de equações de conforto descritas nas normas ASHRAE 55 e ISO 7730. A principal diferença em relação ao trabalho anterior, prende-se com a segunda etapa, onde os autores criaram uma base de dados térmicos com

valores numéricos, utilizando um script visual para importar as leituras do sensor térmico armazenadas num arquivo de excel, obtendo assim um modelo mais rico em termos de informação disponível.

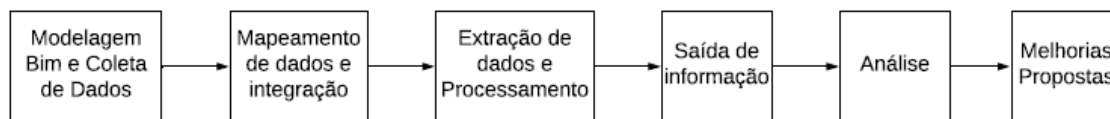


Figura 21: Metodologia adotada no segundo estudo de Naephra et al. (2017)

Salienta-se que não foi preciso utilizar uma fonte de energia externa para que as imagens térmicas fossem capturadas, logo o procedimento adotado na inspeção termográfica foi totalmente passivo. Todas as imagens capturadas foram de superfícies interiores da sala estudada, contando apenas com dados externos referentes à temperatura do ambiente e humidade relativa do ar (que também foram registrados no interior da sala interiormente para fins comparativos).

O produto da terceira etapa é o modelo BIM 3D a contendo as imagens termográficas codificadas, usando-se para o efeito o pelo plugin Grasshopper do Rhinoceros. Após, a criação deste modelo, foram gerados, além dos arquivos 3D e 4D, dados estatísticos a partir do valor RGB extraído das imagens térmicas, pixel a pixel, possibilitando também o cálculo da temperatura média radiante a partir das temperaturas das superfícies.

Na quinta fase do processo já é possível identificar problemas na edificação, nomeadamente através da comparação com o estudo térmico espaço-temporal já realizado na pesquisa anterior. Nesta fase, são ainda calculados os valores das variáveis térmicas necessárias para calcular o nível de conforto térmico na etapa seguinte.

Por fim, na sexta e última etapa foram apresentados os possíveis cenários de melhoria por meio da análise das Figuras 22 e 23. A partir delas ficou evidente que a sala estudada necessita de melhorias pois não atende aos requisitos impostos pelo padrão ASHRAE no período de verão.

O estudo realizado confirma que a integração dos dados termográficos no modelo digital BIM não só visualizar as condições térmicas dos edifícios mas também calcular o valor do conforto térmico interno de forma automática.

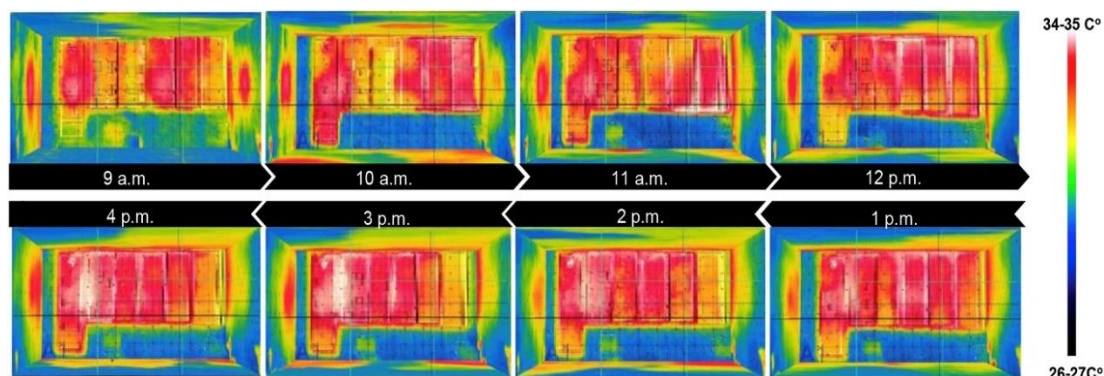


Figura 22: Termogramas ao longo de um dia de estudo (NATEPHRA et al., 2017)

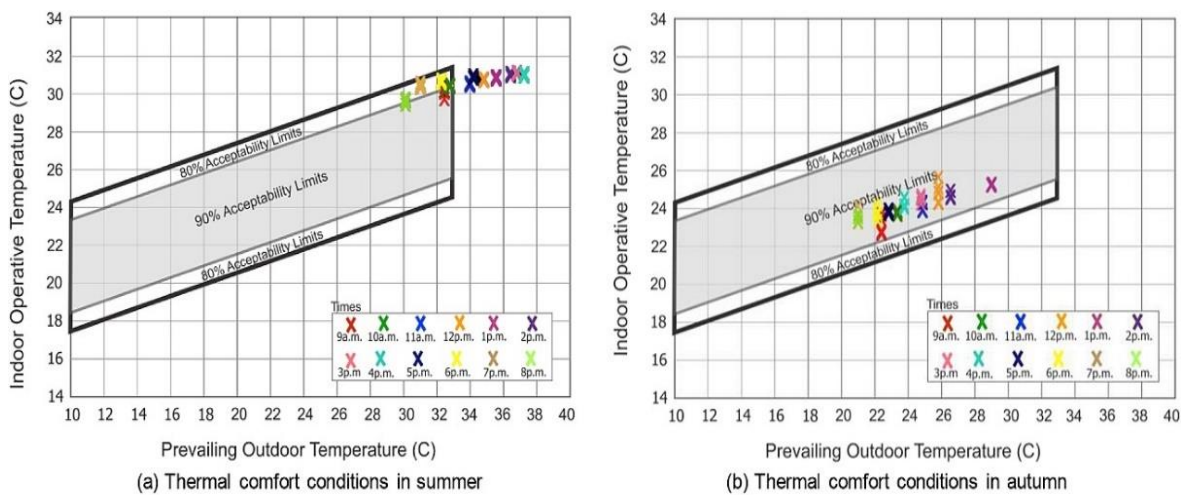


Figura 23: Avaliação das condições de conforto térmico utilizando o modelo adaptativo (NATEPHRA et al., 2017)

Os autores Lagüela et al. (2014), tinham como objetivo construir um modelo digital fiel ao real para ser considerado num software de análise energética. Para esse efeito, foi utilizado um laser scanner, para capturar a realidade de forma precisa, independentemente da simplificação comumente feita à posteriori no software energético, com o intuito de reduzir o tempo computacional durante a execução do programa. A metodologia utilizada nesse trabalho está descrita na Figura 24.

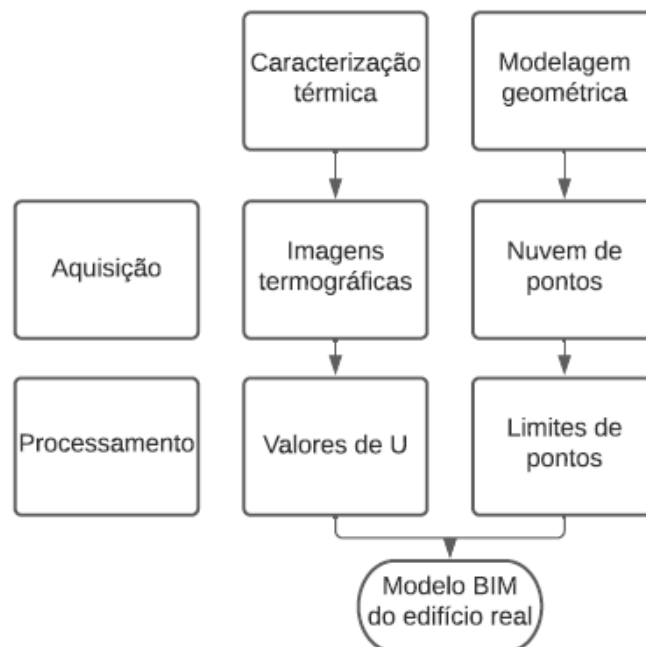


Figura 24: Metodologia adotada no estudo de Lagüela et al. (2014)

Para construir o modelo foram essenciais várias técnicas computacionais. A captura da realidade para a construção da nuvem de pontos é a parte mais simples, uma vez que, de

seguida, é preciso manipular e tratar os dados para que no fim se obtenha um modelo limpo, sem interferência das características do ambiente que o envolve, assim como unificar as diferentes visualizações. Pode-se ver na Figura 25 o resultado da estratégia utilizada pelos autores para conseguir os dados externos.

Porém para a termografia foi fundamental conhecer diversos dados do interior da edificação, tais como, a espessura da parede e do teto, de quais materiais esses elementos eram compostos assim como outros constituintes da envoltória, já que eles têm influência direta na caracterização térmica do local.

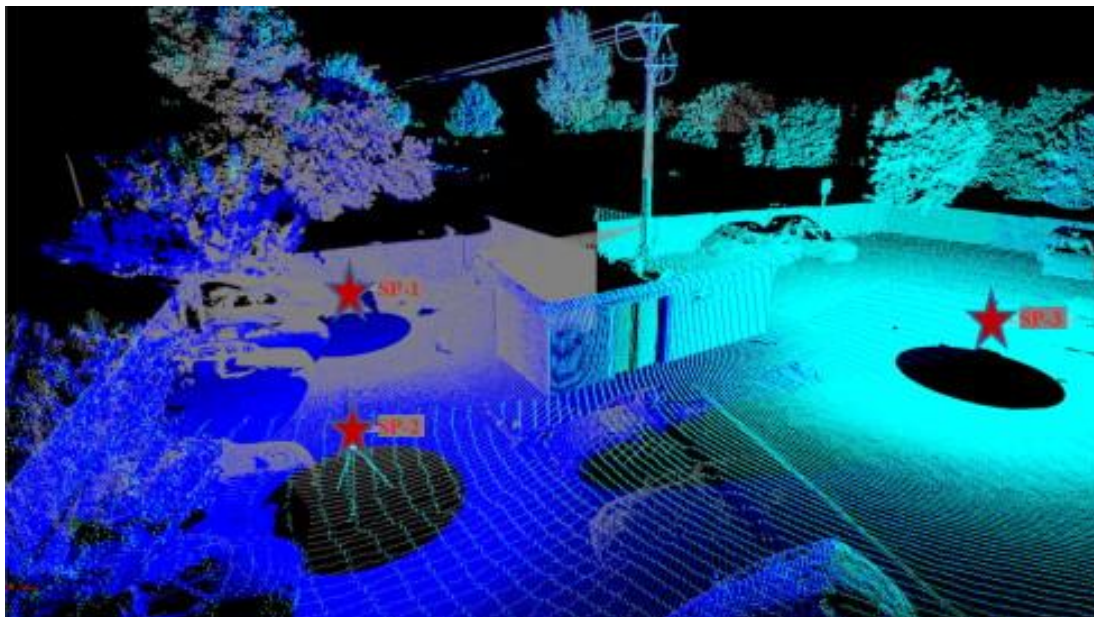


Figura 25: Nuvem de pontos final, adquirida a partir das 3 posições de escaneamento, necessárias para a captura completa da geometria do edifício (LAGÜELA et al., 2014)

Neste caso, a termografia foi utilizada novamente de modo quantitativo, uma vez que o objetivo era a determinação do coeficiente de transmissão térmica (U). Aqui o processo termográfico foi dividido entre paredes e teto, uma vez que a sua constituição construtiva era diferente.

Ao contrário dos trabalhos citados anteriormente, neste caso adotou-se o método termográfico ativo, ou seja, foi artificialmente manipulada a temperatura no interior do ambiente para que se pudesse chegar às condições climáticas adequadas, que neste caso correspondem a uma diferença mínima de 10° entre o interior e o exterior. Outro ponto interessante é que as imagens térmicas foram capturadas nas faces interiores do edifício para que não houvesse interferências térmicas exteriores que levassem a um falso valor de U.

A metodologia adotada também incluiu a utilização da interface gráfica gbXML (Green Building XML), que permite simplificar e acelerar a entrada da linguagem de definição de elementos e dos seus atributos de maneira simplificada. Esta ferramenta é particularmente vantajosa neste contexto, pois é totalmente compatível com o software de simulação energética.

“No processo de geração de BIMs, o primeiro passo é reorganizar as informações necessárias, geométricas e térmicas, em estruturas capazes de serem usadas para escrever o esquema”. Desta forma, o sistema gbXML trabalha vinculando informações descritivas à geometria do objeto estudado (Figura 26).

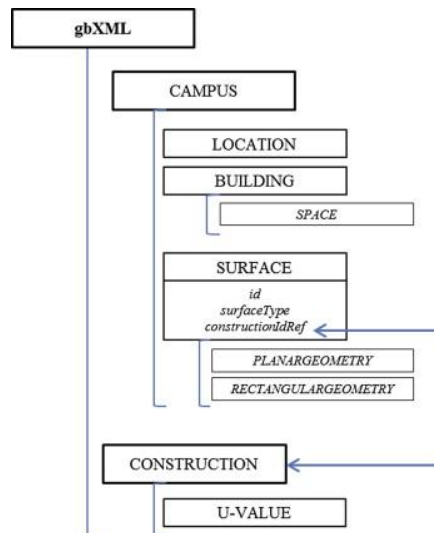


Figura 26: Estrutura do gbXML mostrando o relacionamento entre os elementos usados para gerar o esquema do BIM térmico (LAGÜELA et al., 2014)

A informação geométrica fica definida dentro do elemento *campus* e seus elementos (localização, edifício e superfícies). Assim, é possível utilizar as demais ferramentas para relacionar as superfícies às propriedades térmicas de cada material constituinte, a partir de representações geométricas em dois planos cartesianos diferentes.

Aplicando esse método ao edifício, foi possível criar um modelo de informações do edifício (Figura 27), utilizando técnicas de inspeção não destrutivas e alta automatização de processos. Ressalva-se que este método gbXML não se pode aplicar a pontes térmicas e outras anomalias por possuir, exclusivamente, propriedades térmicas de componentes de construção por inteiro.

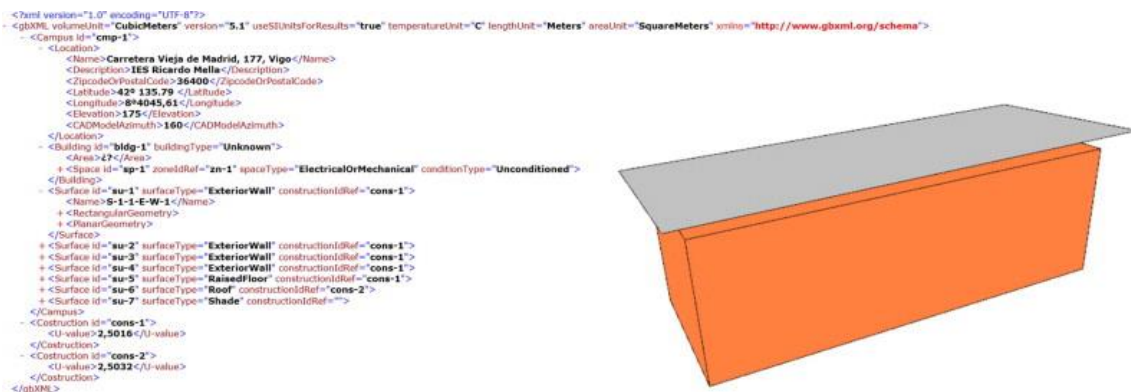


Figura 27: À esquerda vê-se o código gbXML resultante dos dados geométricos e térmicos da composição da construção. À direita, é apresentada uma visualização tridimensional através do software de análise, Ecotect (LAGÜELA et al., 2014).

5. Metodologia

5.1 Considerações iniciais

O intuito inicial deste trabalho era utilizar um dos edifícios da ESTGV como caso de estudo. A ideia era capturar imagens termográficas do edifício para que posteriormente fossem utilizadas no modelo BIM do edifício. Contudo, devido às restrições associadas à pandemia foi necessário ajustar o plano inicial. A solução encontrada passou pela utilização de algumas imagens termográficas já existentes, disponíveis no trabalho desenvolvido por Soares (2014). Estas imagens foram testadas numa parede genérica a fim de poder executar as análises de integração entre os recursos termográficos e a metodologia BIM. Apesar desta condicionante, considera-se que os objetivos iniciais da dissertação não ficaram defraudados, uma vez que as análises e conclusões que dado o seu caráter genérico, as análises e conclusões que foram retiradas são extrapoláveis para qualquer caso de estudo.

O trabalho teve, assim, como novo foco encontrar alternativas para visualizar as informações oferecidas pelas imagens termográficas nos softwares BIM a fim de posteriormente viabilizar análises confiáveis sobre as condições dos edifícios, seja somente de maneira visual, ou ainda aproveitando as suas características de armazenamento da informação (numérica ou de outra natureza).

5.2 Equipamentos e programas

- **Câmara termográfica**

Conforme descrito por Soares (2014), as imagens termográficas foram capturadas pela câmara termográfica de infravermelho modelo ThermaCAM E300 fabricada pela Flir Systems, Inc. (Figura 28 a esquerda). Esta empresa possui diversos equipamentos no mercado no campo de detecção por meio de sistemas de imagens térmicas, de luz visível, localizadores, medição e diagnóstico. A autora utilizou um tripé a fim de garantir a estabilidade na captura de imagens, como mostra a Figura 28 a direita.



Figura 28: Câmera termográfica utilizada (SOARES, 2014).

- **Flir Tools**

O software Flir Tools é uma ferramenta gratuita, simples e prática para a manipulação de imagens termográficas. A partir dele é possível importar, editar, desenvolver análises e até mesmo criar relatórios personalizados. O Flir Tools foi também desenvolvido pela *FLIR Systems, Inc.*, a mesma empresa fabricante da câmara termográfica com que foram capturadas as imagens térmicas citadas acima. Este programa apenas permite tratar imagens térmicas capturadas com equipamentos da mesma marca.

Algumas funcionalidades citadas pelo fabricante em Sense (2021) são:

- importar imagens direto da câmara portátil via USB ou cartão SD;
- ajustar o nível e a amplitude térmica;
- trocar a paleta de cores
- ajustar emissividade
- ajustar temperatura refletiva
- criar relatórios com cabeçalhos, rodapés ou logotipos;
- exibir informações do GPS nos relatórios.

- **Revit 2019**

O software Revit versão 2019 é uma plataforma comercializada pela *Autodesk Inc.* que possui tecnologia BIM e que possibilita o trabalho conjunto e simultâneo de profissionais de diversas áreas. Idealizado para profissionais de engenharia da construção e arquitetura, pelas suas ferramentas colaborativas que contemplam todas as fases de um projeto, o Revit, além de uma avançada interface gráfica, dispõe de recursos que permitem a inserção “imediate e contínua de informações confiáveis, de alta qualidade e totalmente coordenadas sobre o modelo, quantificação e custo do projeto” (JUSTI, 2008).

Para atender às necessidades de tantas áreas da construção (hidráulica, elétrica, estrutural, entre outras), o programa conta também com *plugins* que possibilitam a interação entre dados de diferentes softwares na mesma plataforma. Desta forma, o programa permite a saída de ficheiros em vários formatos. Apesar de disponibilizar várias possibilidades para essa interoperabilidade de dados entre programas, o formato .IFC continua a ser o mais utilizado para essa finalidade.

- **Navisworks Manage 2019**

O software Navisworks Manage versão 2019 tem como um de seus principais objetivos a promoção da análise simultânea de projetos de diferentes ramos da construção com o intuito de identificar conflitos entre elementos. Apesar de existirem outras versões do programa (*Freedom e Simulate*), esta é a versão mais completa pois incorpora todas as funcionalidades das outras, impedindo problemas antes da execução dos projetos.

É interessante salientar que o software possui outras funções atraentes, como a produção de animações que ilustram o processo construtivo e o cálculo de custos totais da obra. Para esse detalhamento de tempo e custos é possível incorporar planejamentos anteriormente feitos em softwares de gestão como o *MS Project*.

O Navisworks Manage é capaz de importar mais de 30 formatos de ficheiros, o que o torna muito acessível e prático. Além disso, contém três formatos de ficheiros de saída nativos, sendo eles o .NWC, .NWF e .NWD. Todos eles comprimem o tamanho inicial do arquivo e podem ou não conter vínculos ativos com o ficheiro original (CARREIRÓ, 2018).

- **Rhinoceros 6**

O software Rhinoceros versão 6 é mais popular entre os profissionais de design, arquitetura e engenharia mecânica, pois permite modelar geometrias extremamente complexas ou ricas em detalhes com alta precisão, baseadas na tecnologia *NURBS (Non Uniform Rational Basis Spline)*. No início, o programa era apenas um plugin para o AutoCAD da Autodesk, porém, com o passar do tempo, tornou-se um aplicativo autónomo justamente pela sua grande capacidade de modelação 3D.

Além disso, o software conta com *plugins* com as mais variadas propriedades a fim de melhorar os produtos dos utilizadores. A tecnologia BIM presente no programa também

engrandece a experiência do usuário uma vez que é possível incorporar diversas informações no modelo por meio da sua integração com várias outras plataformas BIM (FARIAS, 2020).

O Rhinoceros importa ficheiros de vários formatos (mais de 30) oriundos de outras plataformas de modelação, sejam elas 2D ou 3D, assim como exporta seus ficheiros em vários formatos, como por exemplo o nativo .3dm e o mais usual no mundo BIM, o ficheiro .IFC.

O software incorpora ainda a ferramenta Grasshopper, que se destaca devido à sua grande versatilidade e interoperabilidade. A sua maior vantagem está na facilidade de utilização, já que sua interface é do tipo Canvas, onde os elementos são interligados através de *inputs* e *outputs* (FARIAS, 2020). Com isso, a ferramenta possibilita gerar programas de apoio ao desenvolvimento de modelos tridimensionais complexos, controlar parâmetros de diversos *plugins* e elaborar estudos de projeto.

5.3 Procedimentos

O foco principal deste estudo é avaliar as potencialidades e verificar quais as vantagens de se trabalhar com a integração entre os recursos termográficos e a metodologia BIM. Para isso foram escolhidos três softwares de referência na área do BIM, que possuem ferramentas com algumas semelhanças, porém são usualmente utilizados com objetivos diferentes.

A metodologia de trabalho que foi aplicada está descrita na Figura 29 e inclui 4 etapas. As duas primeiras correspondem a uma fase de preparação, incluindo: i) a primeira etapa que consiste na recolha e seleção das imagens termográficas; ii) a segunda etapa que corresponde à eventual manipulação das imagens termográficas, com o intuito de melhorar o seu aspeto e, caso seja necessário, extrair dados numéricos da temperatura em cada pixel. Após este trabalho preliminar, iniciam-se os procedimentos para a análise das possibilidades oferecidas por cada software utilizado (etapas iii) e iv)), ou seja, verificar se ele dispõe ou não de recursos que permitam a análise visual da edificação com inserção da imagem térmica ou a análise mais quantitativa baseada nos dados numéricos da matriz de temperatura que foram previamente extraídos para uma folha de cálculo do Microsoft Excel.

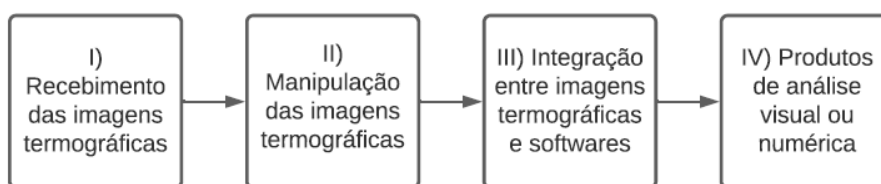


Figura 29: Metodologia do trabalho

O procedimento descrito acima pode então ser implementado da seguinte maneira:

I) Recebimento das imagens termográficas

As imagens termográficas utilizadas neste trabalho foram capturadas conforme descrito no capítulo 4 de Soares (2014). Nesse trabalho, a autora tinha como objetivo “monitorizar a evolução da secagem de quatro paredes ao longo de seis dias consecutivos, em cinco momentos diferentes”.

Foram recebidas cerca de 60 imagens termográficas, subdividas em quatro casos de estudo em que cada um dizia respeito a uma fachada específica da ESTGV. As imagens térmicas foram tiradas entre as 10 e as 18 horas e contemplam zonas da fachada com e sem aberturas.

II) Manipulação das imagens termográficas

As imagens termográficas foram recebidas em seu estado natural, isto é, sem nenhuma alteração, e em seguida foram manipuladas no software Flir Tools onde as escalas de temperaturas foram ajustadas da mesma maneira que a adotada pela autora a fim de preservar as suas características. Além disso, o software permitiu que fosse extraída uma base de dados contendo uma matriz com os valores da temperatura em cada pixel da imagem em formato .CSV, para posterior importação no Excel. Este procedimento está retratado na Figura 30.

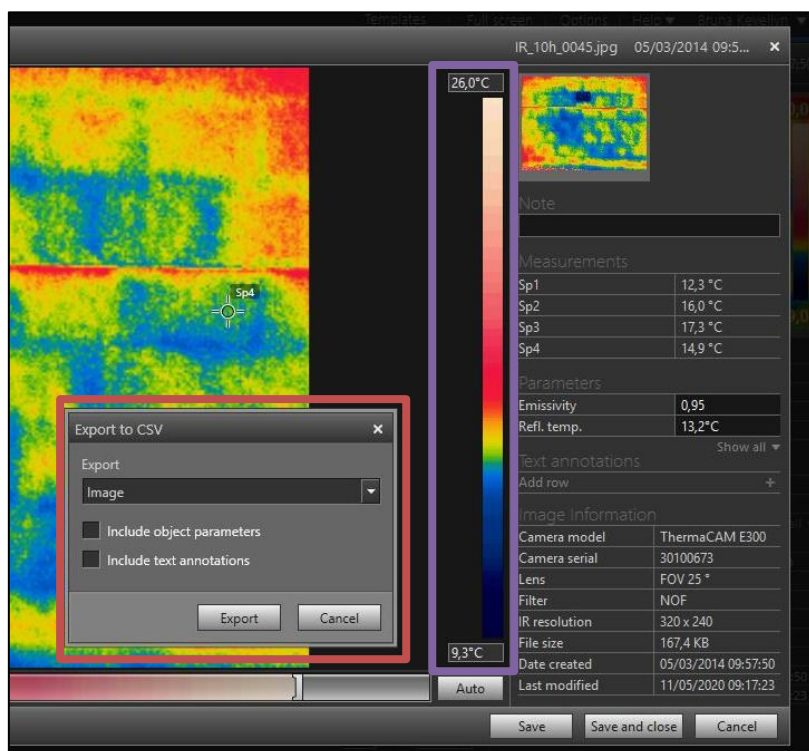


Figura 30: Extração de dados de temperatura (a vermelho) e escala de temperatura (a roxo).

III) Integração entre imagens termográficas e softwares

Os softwares com tecnologia BIM utilizados foram escolhidos com base nos trabalhos de autores citados no capítulo 3. Nesses trabalhos a ideia principal foi a criação de uma animação que permitisse a visualização da situação da fachada estudada ao longo do dia. Esta animação seria conseguida a partir da “substituição” sucessiva de várias imagens térmicas que foram capturadas ao longo do dia. Os procedimentos utilizados em cada programa para implementar esta metodologia estão descritos em detalhe no capítulo seguinte.

IV) Produtos de análise visual ou numérica

Após a aplicação de todos os procedimentos citados anteriormente os produtos desejados são obtidos e estão prontos para análise, seja ela visual ou de outra natureza. Nesse sentido, é possível verificar tanto o comportamento da edificação ao longo do tempo, como as maneiras adequadas para a correção de possíveis anomalias que estejam prejudicando o desempenho da edificação.

6. Integração das imagens termográficas nas ferramentas BIM

6.1 Integração no Revit

A primeira ferramenta BIM que foi testada foi o Revit, provavelmente o programa de maior implementação entre os profissionais do setor da arquitetura, engenharia e construção.

Neste programa foram selecionadas e testadas algumas das suas potencialidades, quer apenas com o objetivo de tentar incorporar as imagens térmicas no modelo, permitindo uma análise qualitativa, quer para incluir a informação relativa à temperatura associada a cada pixel, permitindo uma abordagem quantitativa. Para testar as capacidades do programa utilizou-se uma parede genérica de 5,0 metros de largura por 3,0 metros de altura, constituída por um pano de alvenaria simples com revestimento em argamassa (Figura 31). Foi criado também um modelo semelhante ao citado anteriormente, porém com uma abertura, ou seja, uma janela de 3,0 metros de largura por 1,0 metro de altura (Figura 32). Salienta-se que estas paredes também foram os casos de estudo analisados nos outros softwares.

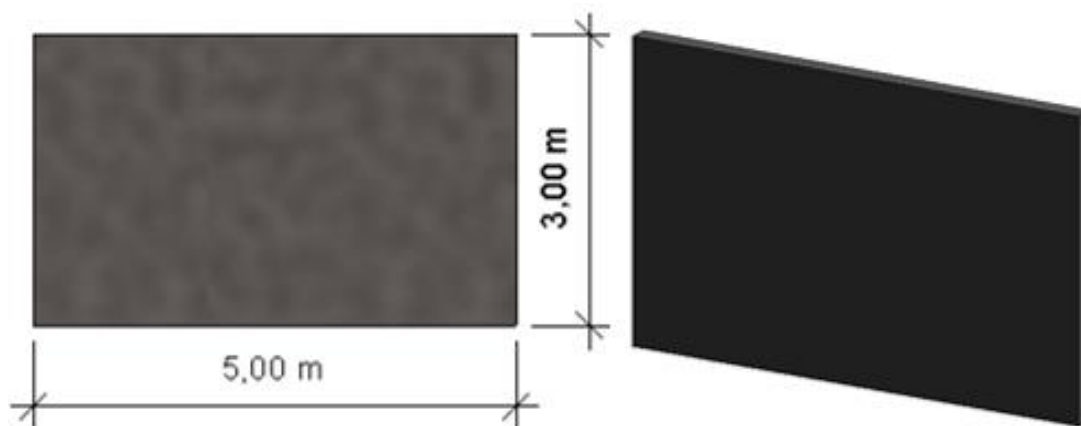


Figura 31: Visão frontal (esquerda) e visão em perspectiva (direita) da parede sem abertura.

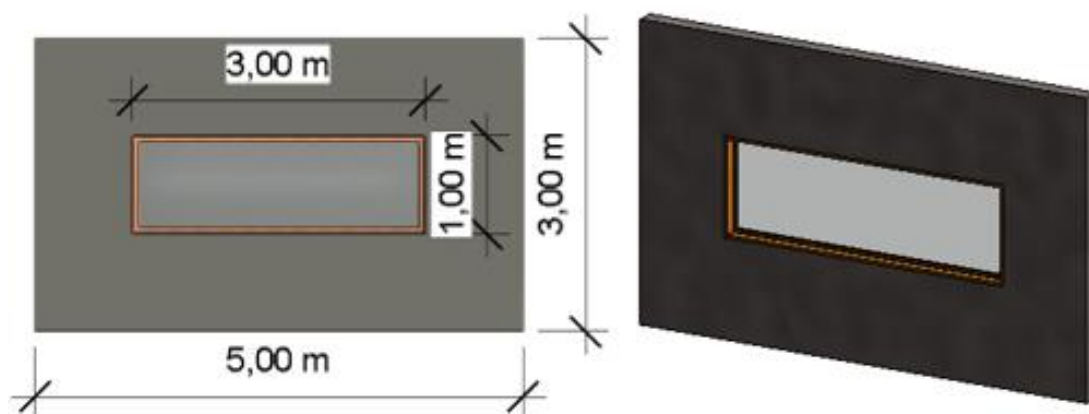


Figura 32: Visão frontal (esquerda) e visão em perspectiva (direita) da parede com abertura.

Após o estudo prévio do programa, verificou-se que várias ferramentas podiam ser úteis e adequadas ao objetivo deste trabalho. Identificaram-se os seguintes comandos como tendo potencial para a ligação às imagens térmicas: “Decalque”, “Material”, “Fases” e o “*Plugin TableGen*”.

a) Ferramenta “Decalque”

A ferramenta “Decalque” está disponível no Revit no separador Inserir, no painel Vínculo (Figura 33).

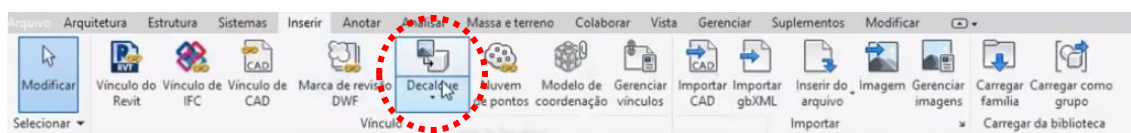


Figura 33: Localização da ferramenta Decalque no Revit.

A ferramenta “Decalque” coloca uma imagem numa determinada superfície de um objeto do modelo para renderizá-lo. O primeiro passo para a utilização desta ferramenta foi a

criação dos decalques a partir das imagens termográficas. A Figura 34 mostra o fluxo de procedimento para a aplicação do decalque. As Figuras 35 a 40 exemplificam cada etapa do processo de introdução dos decalques utilizados neste trabalho.

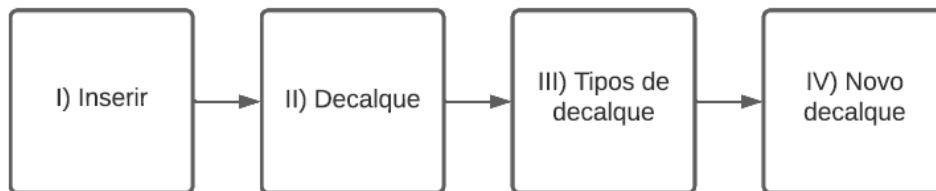


Figura 34: Fluxograma de trabalho para criação de um decalque.

Após localizar a ferramenta “Decalque”, deve-se inicialmente clicar em “Tipos de decalque” para que todos os decalques sejam criados, e, só posteriormente inseridos na parede. A Figura 35 ilustra esse processo na caixa a vermelho.

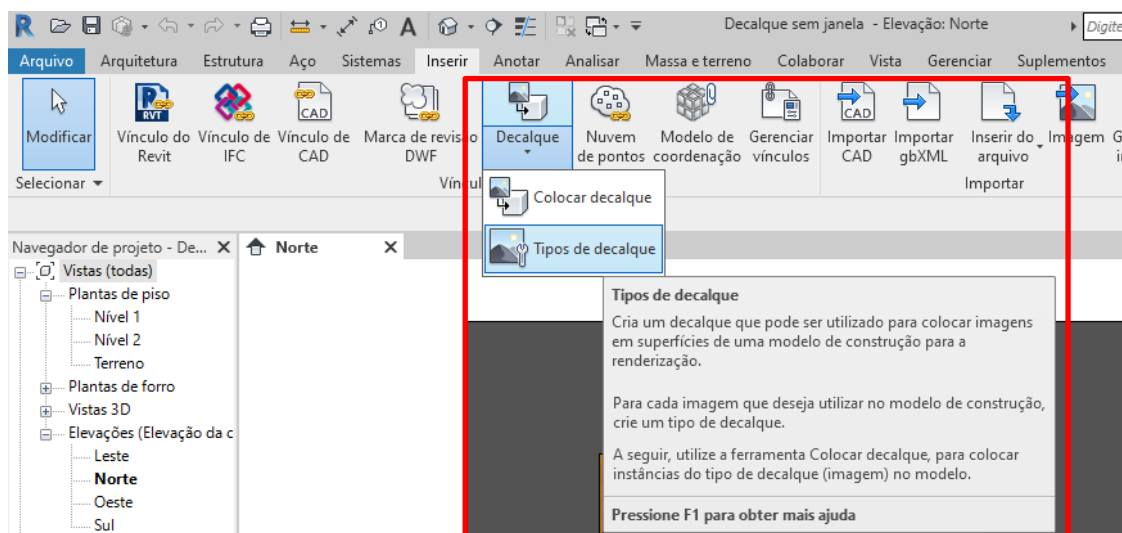


Figura 35: Início da etapa III, onde é localizada a ferramenta.

Em seguida, clica-se em “novo decalque” (caixa vermelha indicada na Figura 36). A partir desse ponto, será possível configurar as propriedades do novo decalque.

É importante salientar que na caixa “tipos de decalques no projeto” (caixa a roxo) constam os decalques já existentes (carregados) no projeto. Caso o utilizador ainda não tenha criado nenhum, este espaço aparece vazio.

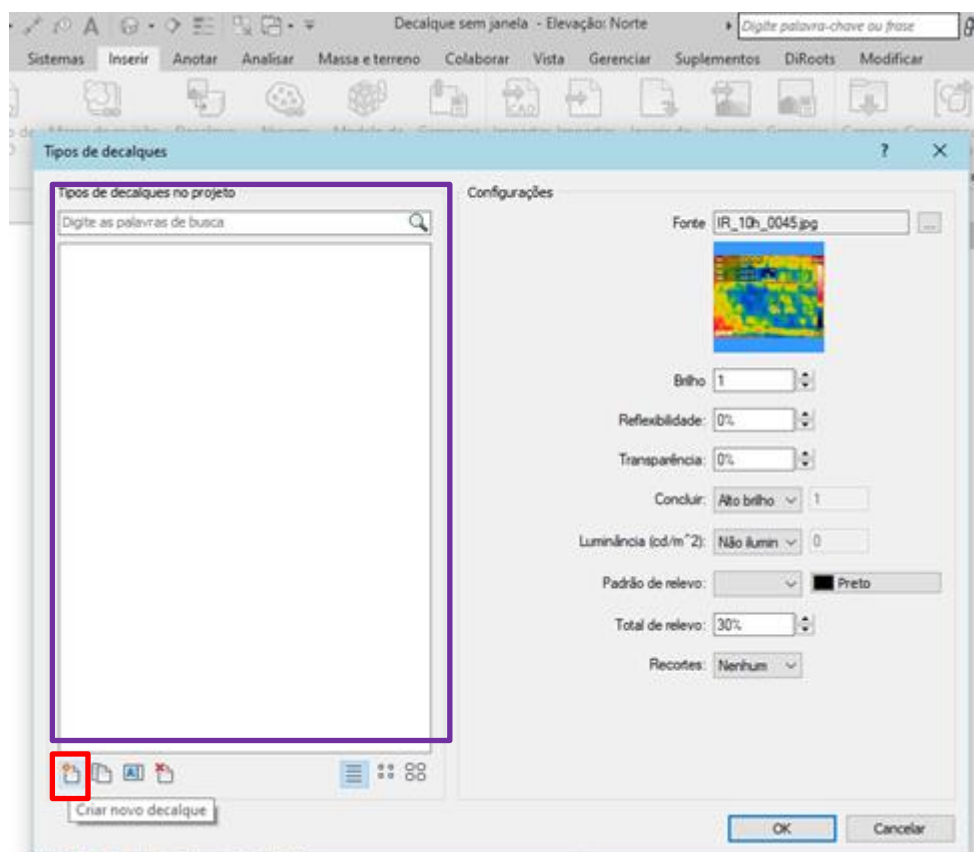


Figura 36: Criando um novo decalque.

Conforme mostra a Figura 37, a primeira informação do decalque a ser definida é a sua designação. Depois de definido o nome do novo decalque, ele passa a constar no separador “tipos de decalque no projeto” (caixa a vermelho) e é exibido o separador de configurações de aparência do novo decalque (caixa a roxo), como ilustra a Figura 38.

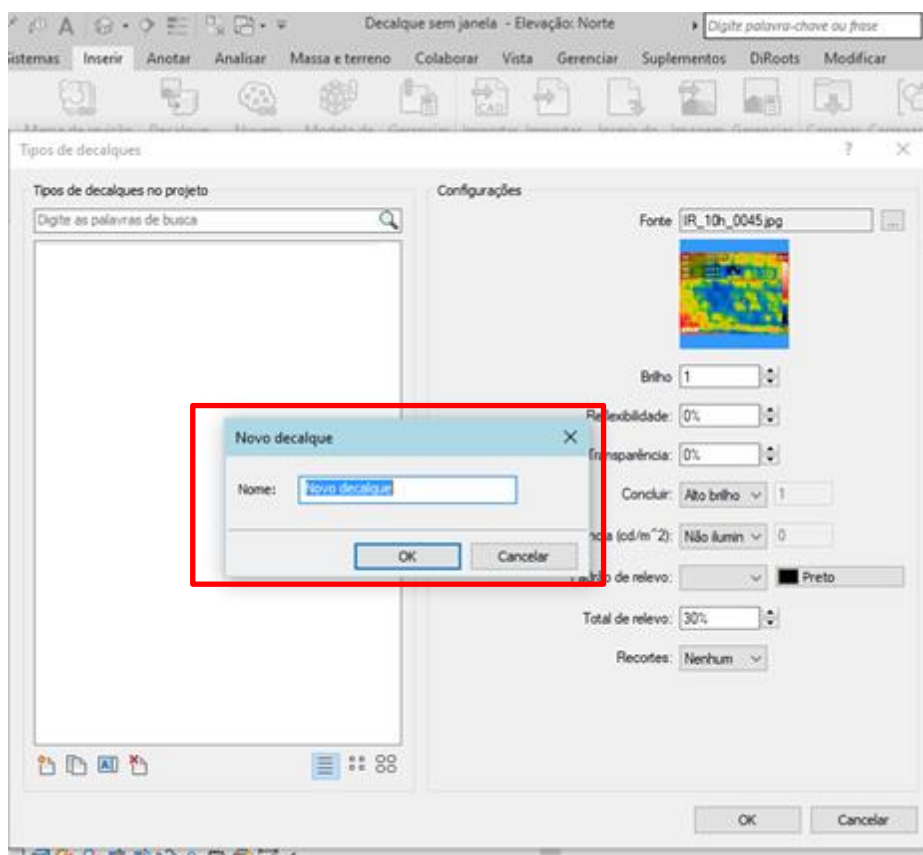


Figura 37: Criando a nomenclatura do novo decalque.

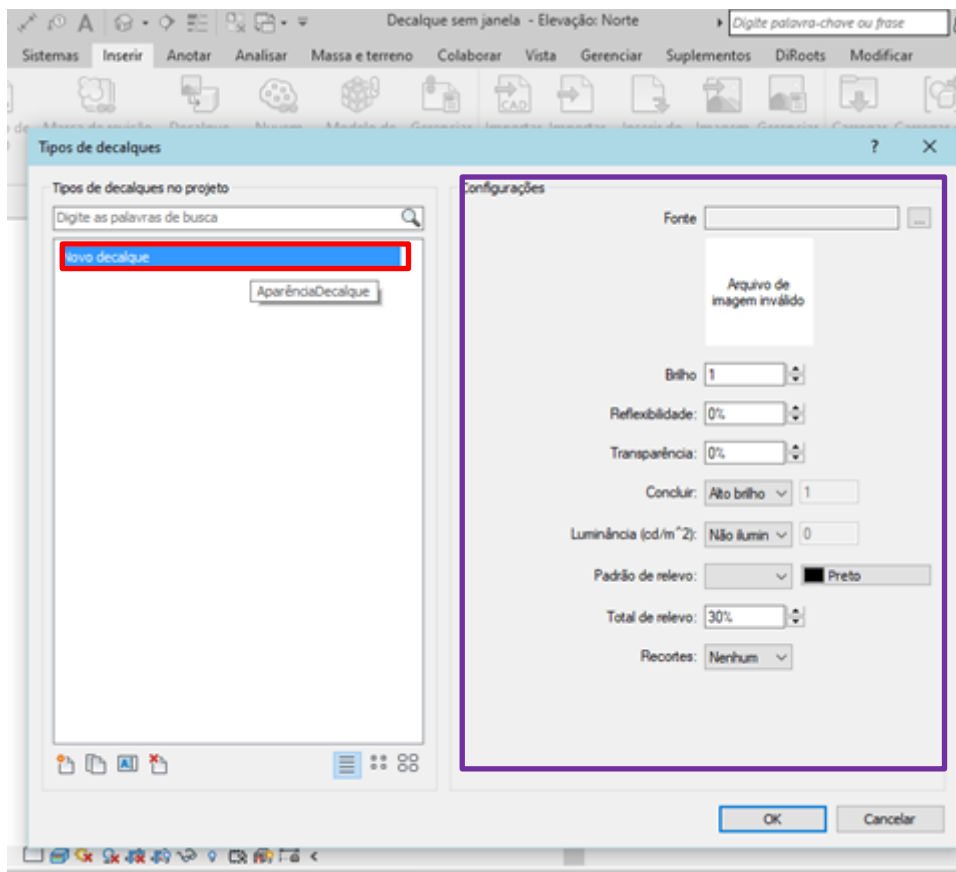


Figura 38: Separador de configuração do novo decalque.

O passo seguinte é, a partir do clique nas reticências da subferramenta “fonte” (caixa a vermelho), localizar a imagem que será utilizada para o decalque e clicar em “ok” (caixa a verde), conforme a Figura 39.

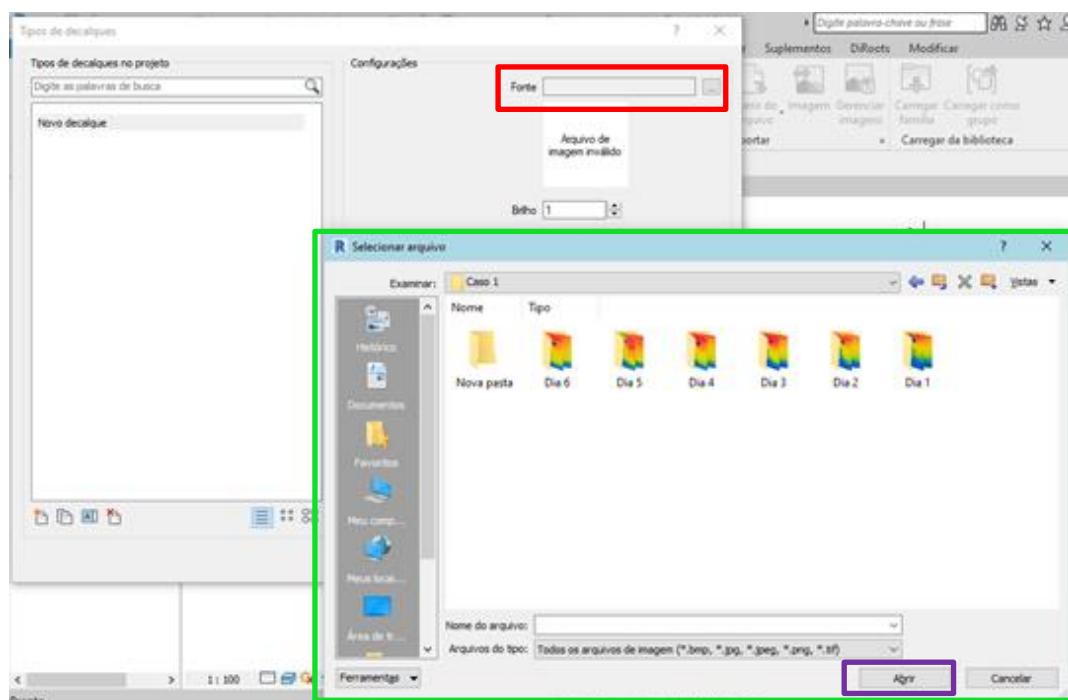


Figura 39: Escolha da imagem que constituirá o decalque.

Tal como pode ser observado na Figura 40, após a seleção da imagem que constituirá o decalque, é possível visualizá-la em miniatura, assim como a nomenclatura original do arquivo e seu formato (caixa a vermelho).

Algumas outras características, que estão ilustradas na caixa a roxo, também podem ser ajustadas. No entanto, estas propriedades não são importantes para os objetivos específicos deste estudo.

Após inserir a imagem, basta clicar em ok para finalizar a criação do novo decalque.

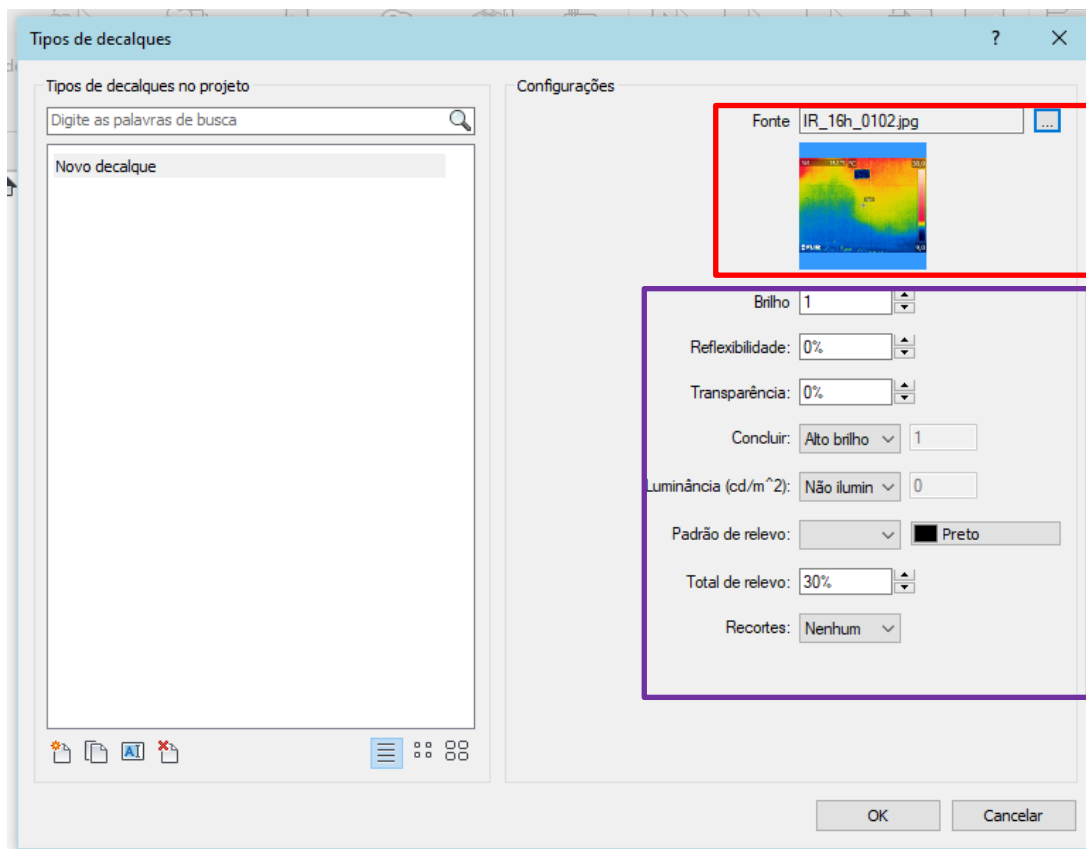


Figura 40: Criação de decalque finalizada.

No total foram criados 3 decalques, que posteriormente foram aplicados em cada uma das superfícies das paredes modeladas, seguindo as etapas apresentadas na Figura 41.

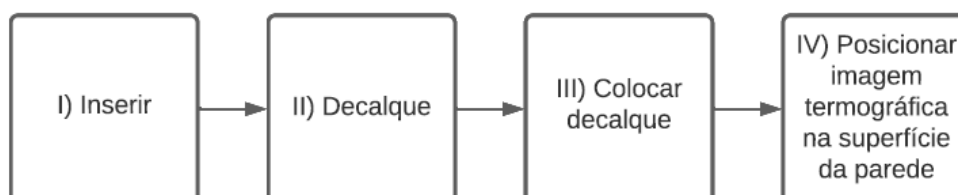


Figura 41: Procedimento de inserção de um decalque na modelagem

Para realizar essa etapa, deve-se à retornar ao separador Inserir>Decalque e agora selecionar a ferramenta “Colocar decalque” (Figura 42).

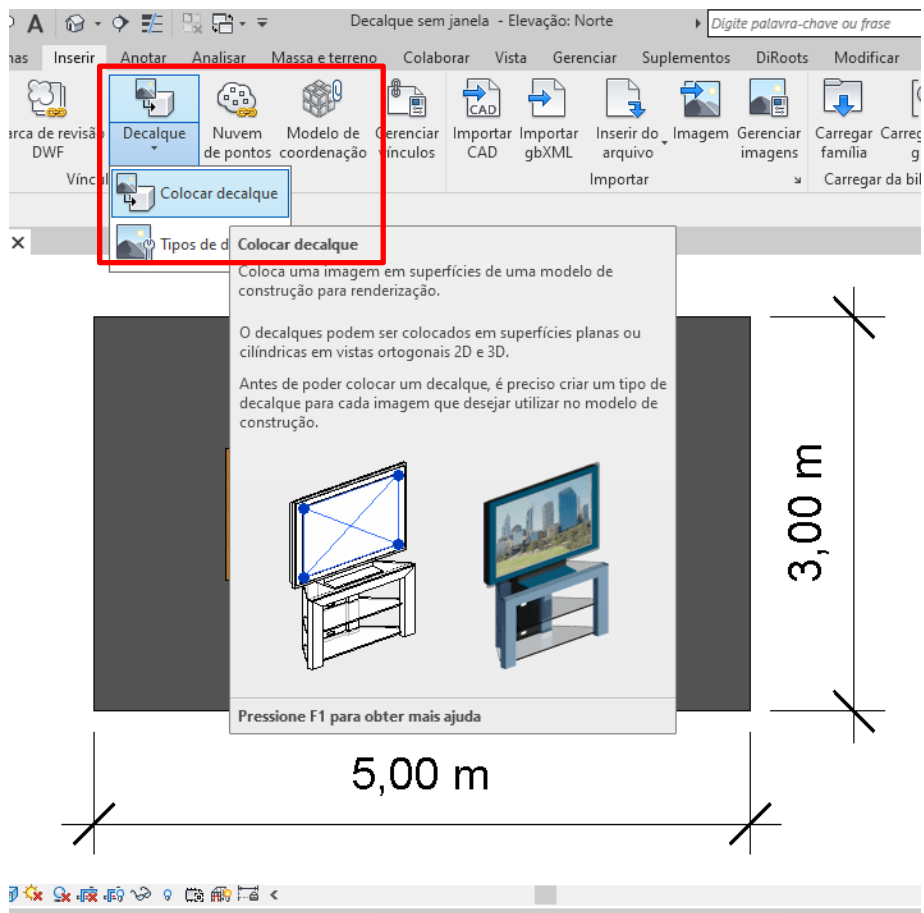


Figura 42: Inserindo um novo decalque.

Por fim, clica-se na superfície onde se pretende colocar o decalque e ajustar-se a sua dimensão através dos parâmetros disponíveis na ferramenta na zona ilustrada pela caixa a vermelho na Figura 43.

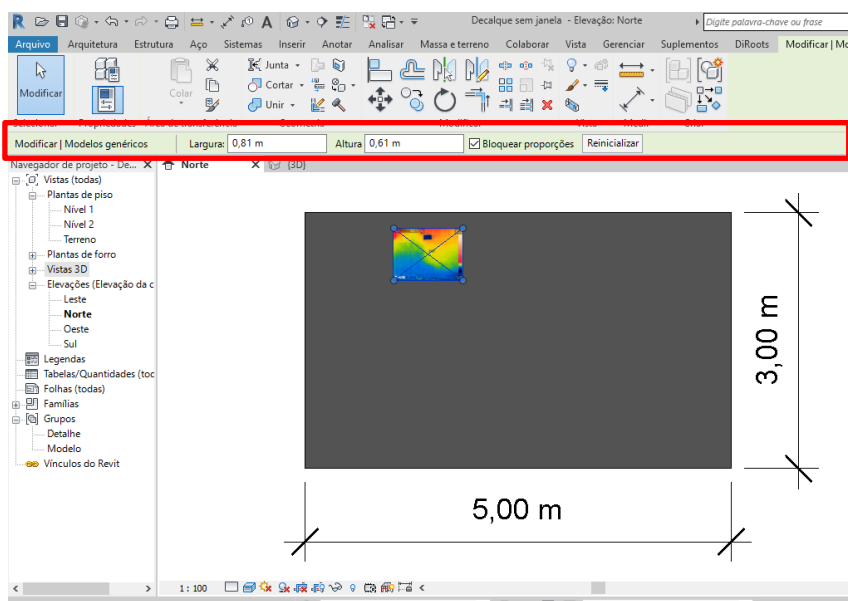


Figura 43: Posicionando e redimensionando do decalque aplicado.

b) Ferramenta Material

A ferramenta Material está disponível no Revit no separador Gerenciar, no painel Configurações (Figura 44).

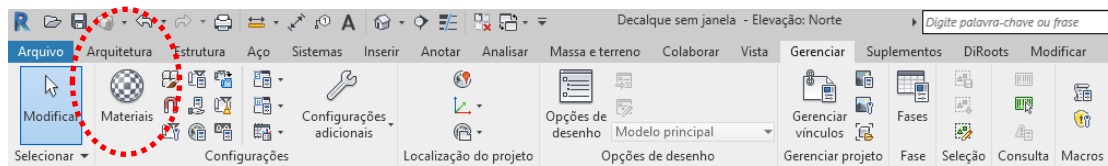


Figura 44: Localização da ferramenta “Material” no Revit.

A ferramenta material permite especificar os materiais constituintes do modelo, incluindo a definição das respetivas propriedades físicas, térmicas e de aparência. Na metodologia adotada neste trabalho, a primeira etapa foi criar os novos materiais a partir das imagens térmicas, conforme ilustra a Figura 45.

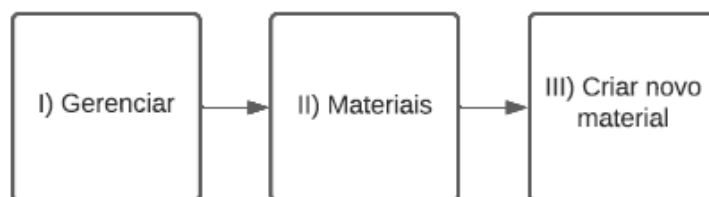


Figura 45: Procedimento para a criação de um novo material.

Após clicar em “material”, como representado na Figura 44, é aberta a janela de visualização ilustrada na Figura 46. Então, para seguir com a criação do novo material, basta clicar em “Criar novo material” (caixa a vermelho na Figura 46).

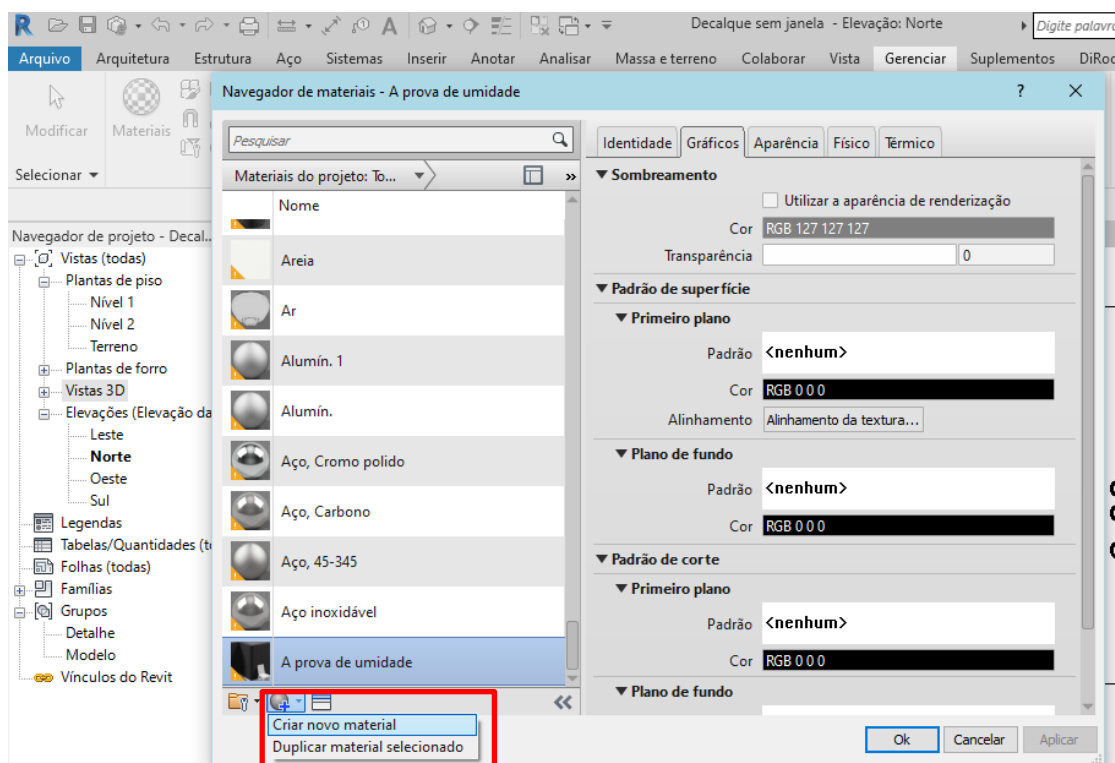


Figura 46: Criar um novo material.

Após a instalação, o Revit já possui vários materiais na sua biblioteca/base de dados. Quando se adiciona um novo material ele aparecerá com a nomenclatura “Padrão Novo Material” (caixa a vermelho na Figura 47) e suas configurações deverão ser realizadas preenchendo os itens disponíveis na região à direita na Figura 47. Salienta-se que não serão realizadas quaisquer alterações nas propriedades relacionadas com a aparência gráfica do material (separador “gráficos”), logo todos os itens desse separador permanecem inalterados.

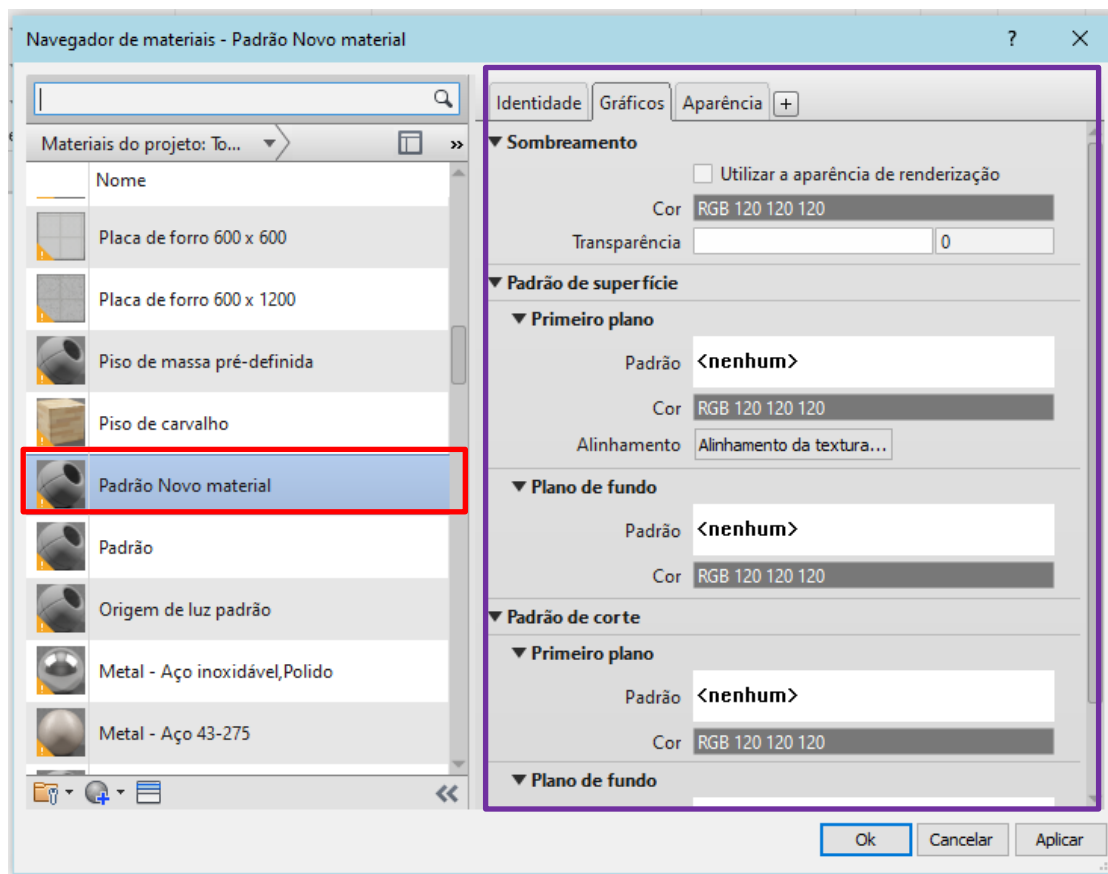


Figura 47: Configurações de gráficos do novo material.

Em seguida, pode ser realizada a redefinição da nomenclatura do material, abrindo o separador “Identidade” e realizando as alterações necessárias, agrupadas por informações descritivas, informações sobre o produto e informações de anotação do Revit (Figura 48).

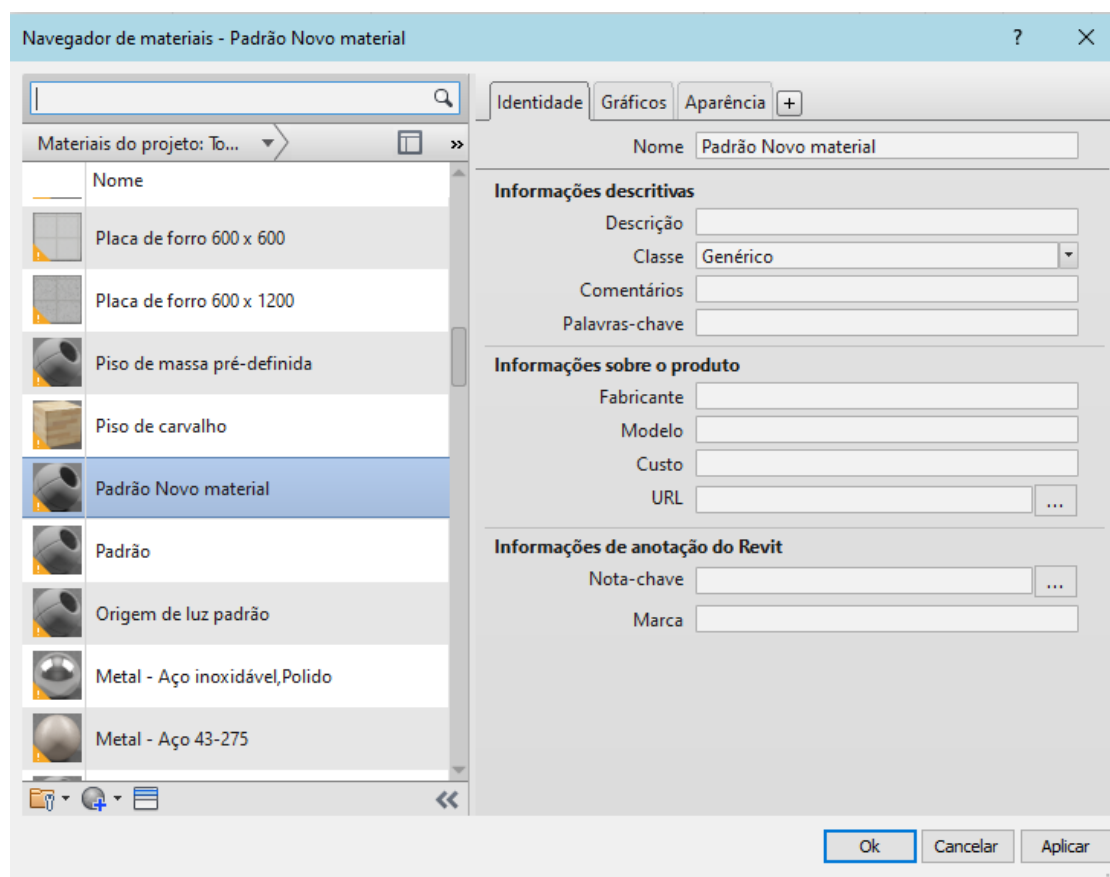


Figura 48: Definição de nomenclatura do novo material.

O passo seguinte é preciso definir a aparência do material, isto é, selecionar a imagem que irá ser adotada como padrão gráfico para compor o material. Para esse efeito, no separador “Aparência” deve clicar-se no retângulo branco da subferramenta “Imagem” (caixa a vermelho Figura 49).

Automaticamente, é aberta uma janela para localização da imagem que comporá o material, conforme ilustra a Figura 50. Seleciona-se o arquivo desejado e clica-se em “Abrir”.

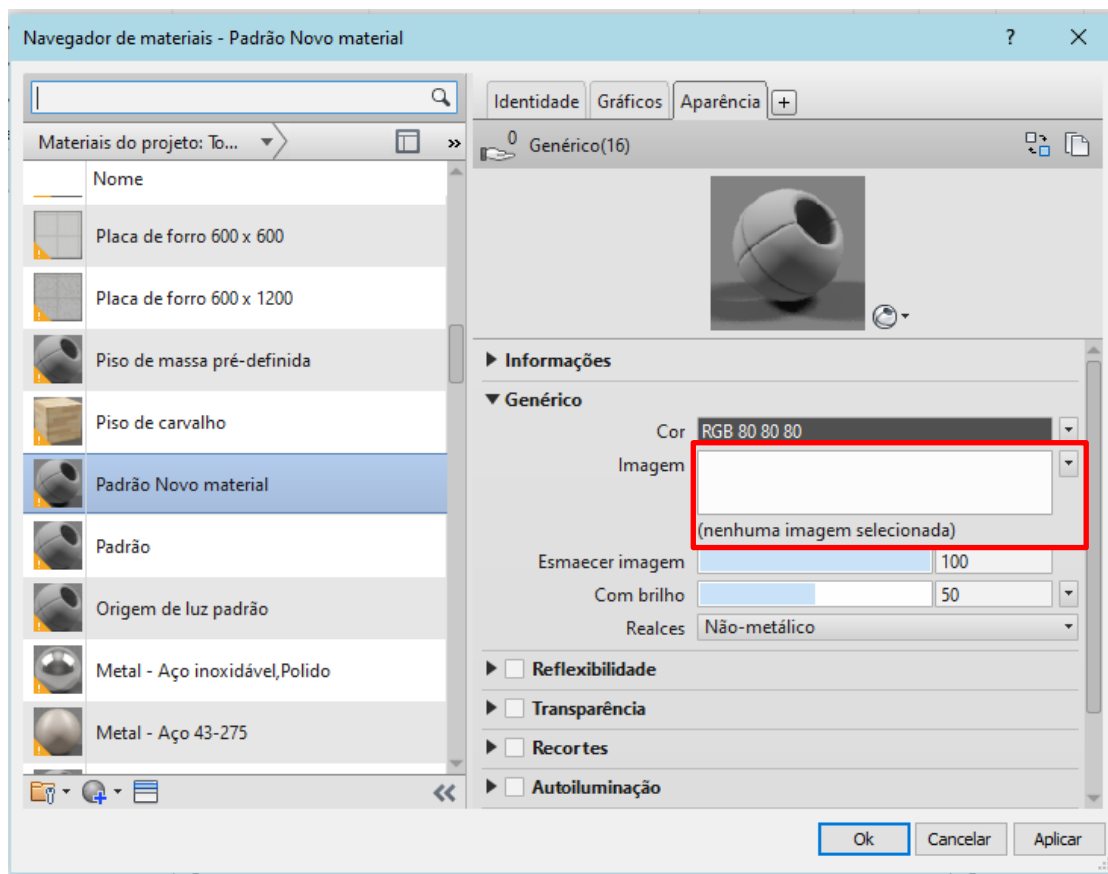


Figura 49: Configurações de aparência do novo material.

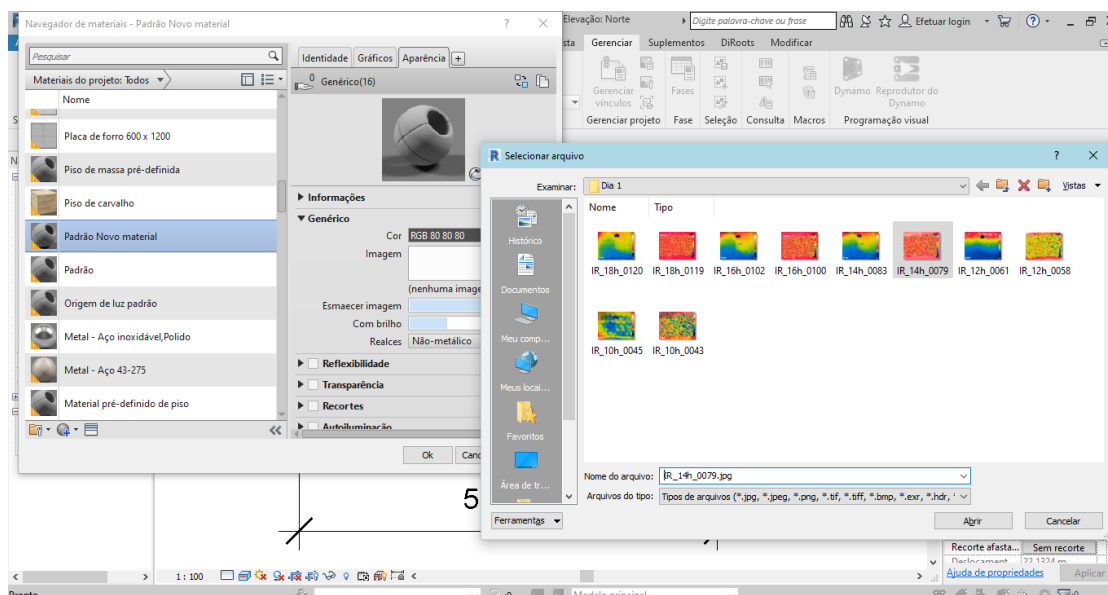


Figura 50: Inserção da imagem que comporá o novo material.

Após a escolha do arquivo, a janela de visualização mostrará um *preview* da imagem selecionada. É possível obter uma melhor visualização e realizar alterações no novo material, clicando-se novamente na subferramenta “Imagem” (caixa a vermelho na Figura

51). Por fim, basta clicar em concluído e o processo de criação do novo material estará finalizado.

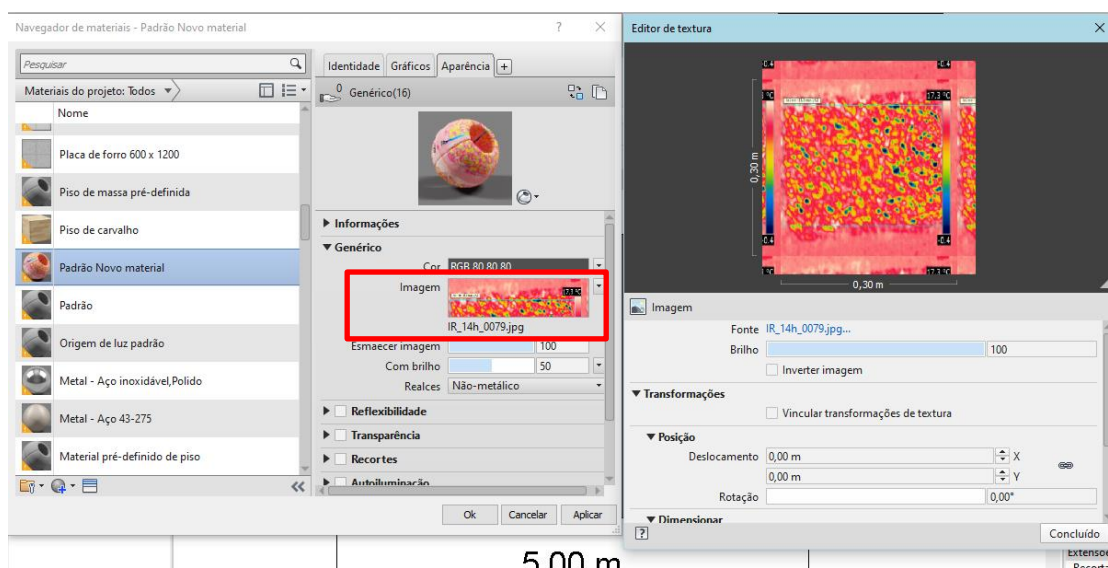


Figura 51: Configurações do material definido pelo arquivo de imagem.

No âmbito deste trabalho, foram criados 03 (três) novos materiais, que foram aplicados no modelo, seguindo-se o procedimento esquematicamente descrito na Figura 52.

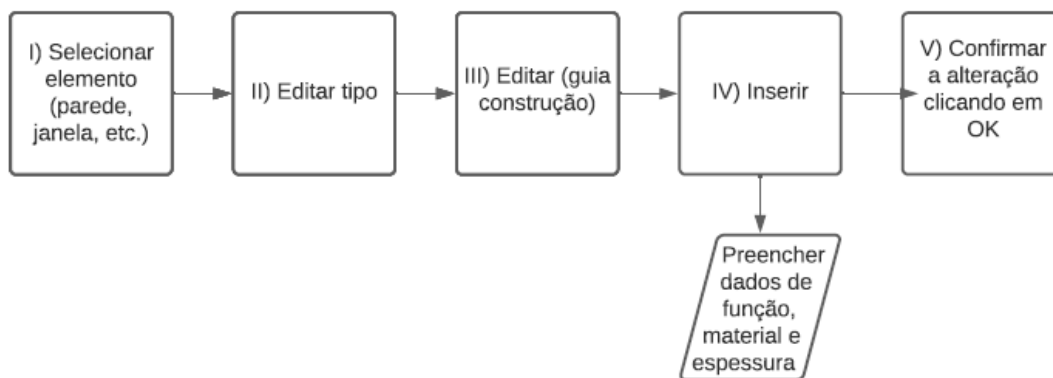


Figura 52: Procedimento para a adição de um novo material nem um elemento/objeto do modelo.

Após a seleção do objeto que se pretende editar, surge o separador “Propriedades”, onde estão disponíveis os valores atuais dos seus tributos e onde é possível a sua edição. Para o fim em causa, deve clicar-se em “Editar tipo”, conforme se ilustra pela caixa vermelha da Figura 53.

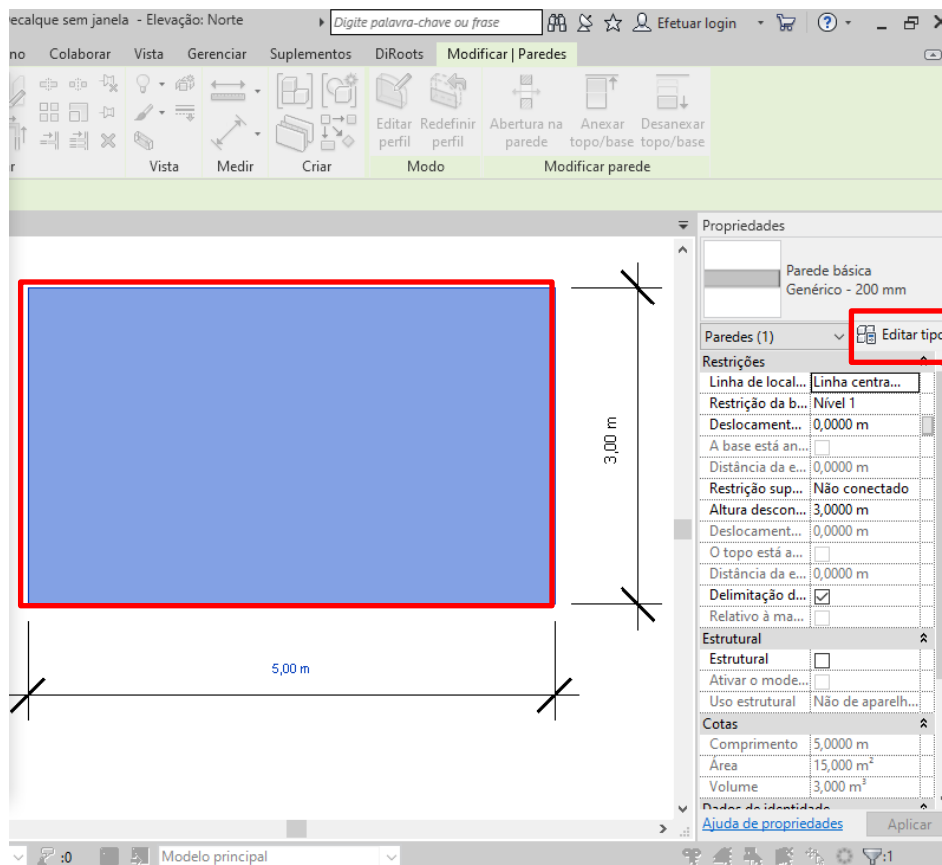


Figura 53: Localização da ferramenta de edição de propriedades do tipo de parede adotada no modelo.

A janela de edição das propriedades desse tipo de objeto está representada na Figura 54. Para alterar as propriedades dos elementos que constituem a estrutura da parede, ou seja, as várias camadas/materiais que no seu conjunto definem a parede que está a ser modelada, basta clicar em “Editar” (caixa a vermelho na Figura 54).

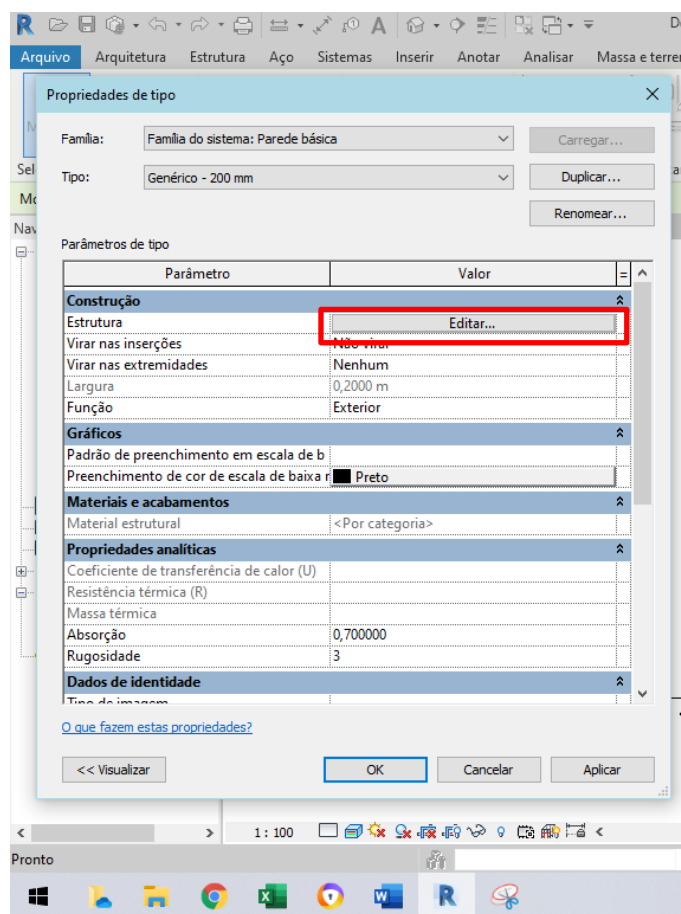


Figura 54: Propriedades de tipo da parede modelo.

A Figura 55 mostra a janela de edição da estrutura da parede. Nesta janela é possível realizar alterações relativamente à espessura, localização e função de cada material constituinte da parede. Caso haja necessidade de se introduzir uma nova camada, ou seja, um novo material, basta clicar em “Inserir”.

Ao inserirmos um material, todas as suas propriedades passam a fazer parte e condicionar as propriedades da própria parede, incluindo a imagem térmica que eventualmente tenha sido carregada para as propriedades do material em causa, seguindo os procedimentos descritos anteriormente.

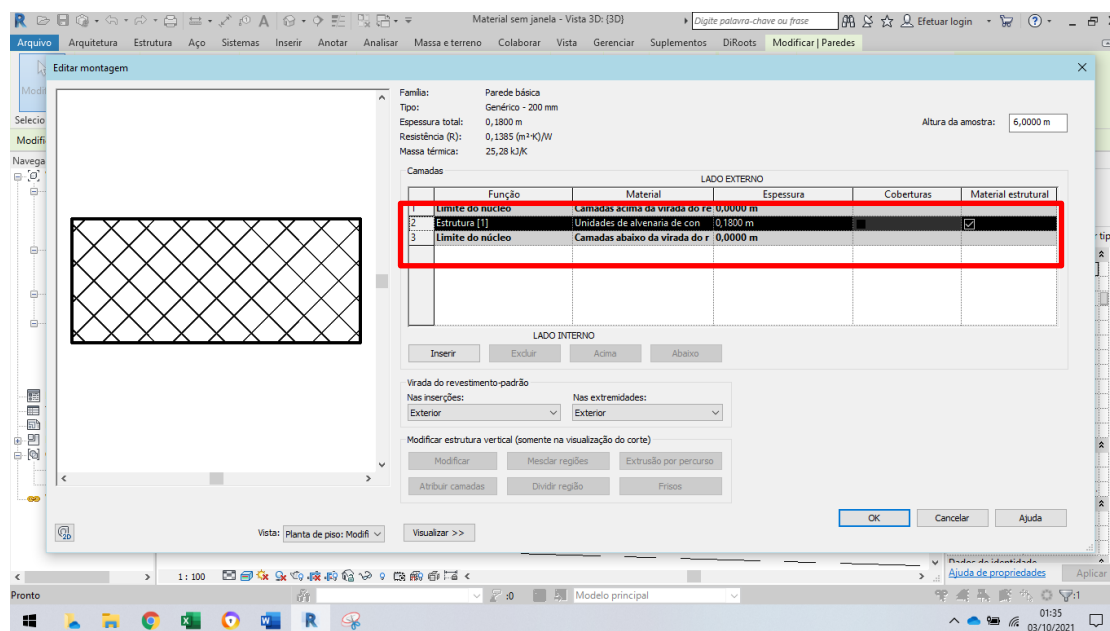


Figura 55: Configurações dos materiais constituintes da parede.

c) *Plugin de importação de tabelas TableGen*

O *Plugin TableGen* é, entre outras possibilidades, utilizado para a importação de tabelas de Excel para o Revit. Esta ferramenta permite importar tabelas em formato de desenho (imagem), legenda ou tabela, sendo muito interessante, pois permite realizar a atualização imediata do arquivo, em caso de alterações que eventualmente ocorram no seu formato original.

Para aplicar esta ferramenta, deve previamente exportar-se os dados numéricos de uma imagem termográfica (normalmente utilizando programas específicos desenvolvidos pelos produtores dos equipamentos termográficos, como, por exemplo, o Flir Tools), ou seja, os valores da temperatura registrados em cada *pixel* da imagem, em formato de planilha, para posteriormente importá-los no Revit, com ou sem qualquer manipulação numérica intermédia. Este procedimento está esquematicamente ilustrado na Figura 58.

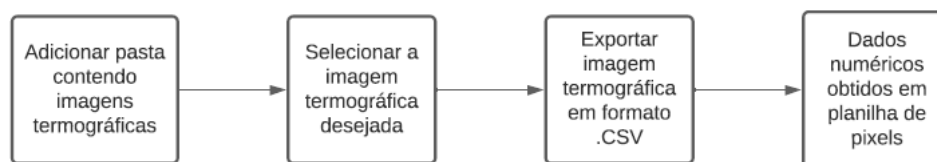


Figura 56: Procedimento para exportar dados numéricos de uma imagem termográfica no Flir Tools.

Utilizando o Flir Tools como exemplo, inicialmente, deve-se clicar no ícone “Add” (a vermelho na Figura 57). A partir daí surgirá uma janela que possibilita a localização da pasta onde está guardada a imagem termográfica desejada (a roxo na Figura 57). Após a seleção da(s) pasta(s) desejada(s), as figuras nela contidas ficará(ão) disponível(eis) para seleção no lado esquerdo do ecrã (a laranja na Figura 57). Quando é selecionada uma

determinada pasta, o seu conteúdo é exposto do lado direito, sendo também possível identificar o caminho da pasta (a verde na Figura 57).

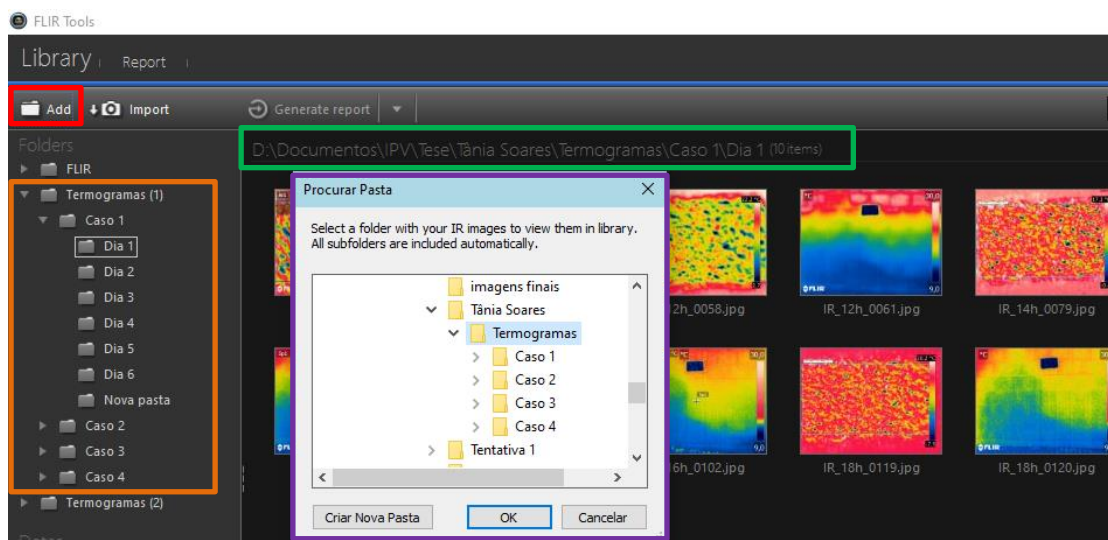


Figura 57: Importando imagens termográficas no programa Flir Tools.

Em seguida, selecionar a imagem termográfica desejada, passando a mesma a estar visível na janela principal do programa, como ilustrado na Figura 58. Por fim, basta clicar com o botão direito em cima de qualquer parte da imagem e clicar em “Export to CVS...” (a azul na Figura 58).

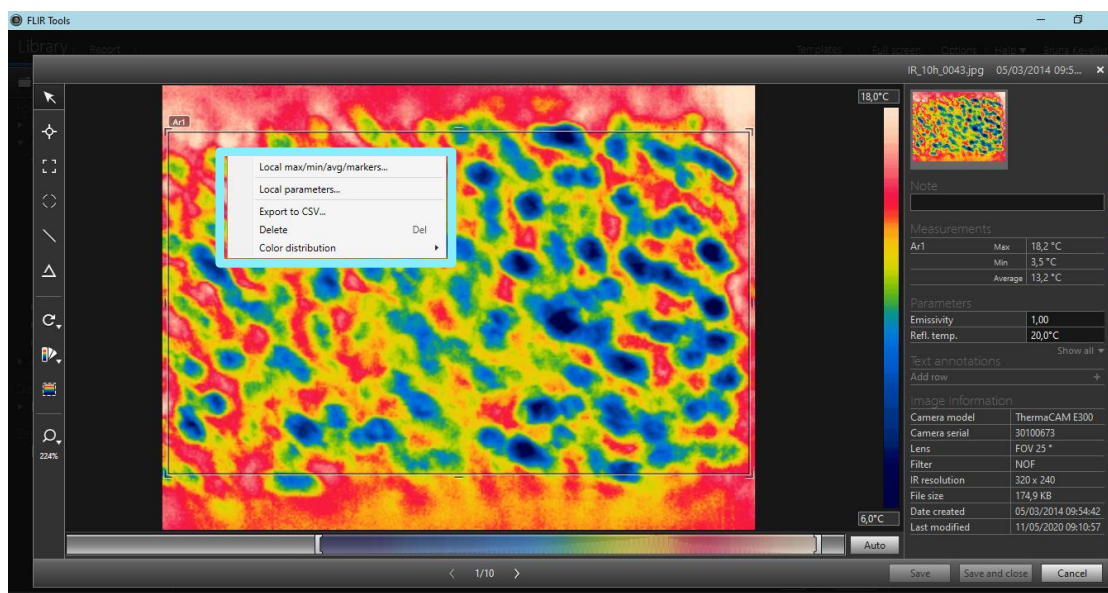


Figura 58: Exportando dados numéricos de uma imagem termográfica no Flir Tools.

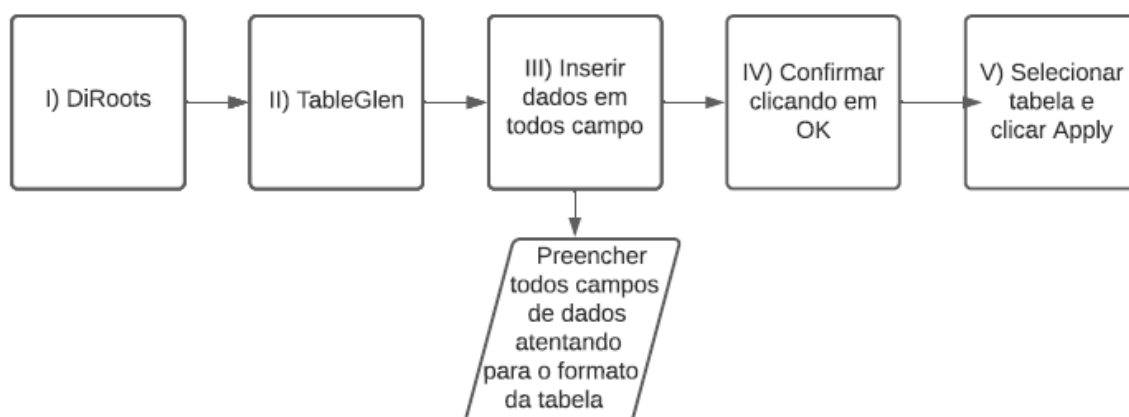


Figura 60: Processo de importação de uma tabela para o Revit

Após a realização do download da ferramenta, ela passará a estar disponível no ambiente do Revit, no separador DiRoots, no painel TableGen, como mostrado na Figura 61.

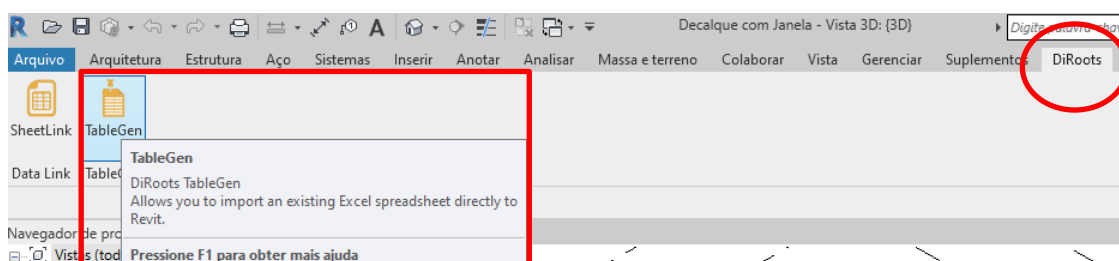


Figura 61: Localização da ferramenta TableGen.

Ao clicar em “TableGen” será aberta a janela apresentada na Figura 62. Primeiro, deve-se clicar em “Add Tables” (a amarelo na Figura 62) para localizar o arquivo desejado, surgindo, para esse efeito, a janela a vermelho na Figura 62.

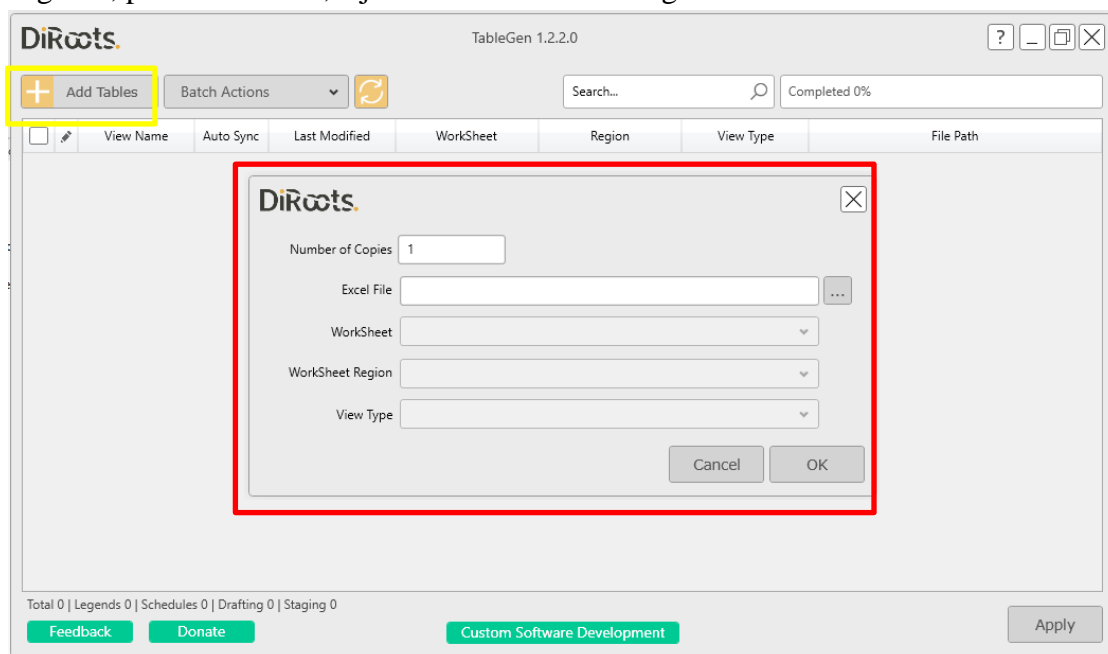


Figura 62: Importação de dados numéricos no Revit: primeira fase.

Em seguida, deve-se clicar nos três pontos ao lado da barra “Excel File” e localizar o arquivo que se deseja importar. Depois de selecionado, surgem três opções de importação: em formato de legenda (*Legend View*), Tabela (*Schedule View*) ou Desenho (*Drafting View*), conforme pode ser visto na Figura 63.

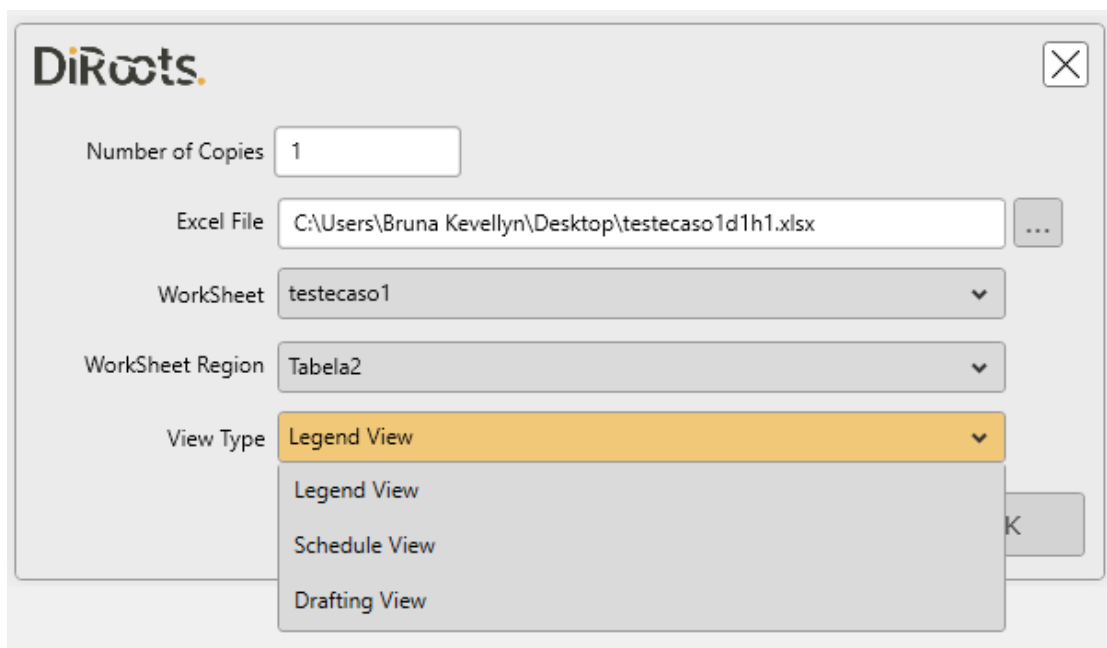


Figura 63: Importação de dados numéricos no Revit: segunda fase.

Neste estudo foram testados os três modelos possíveis, conforme demonstrado na Figura 64. Para finalizar o processo, deve-se clicar em “*apply*”.

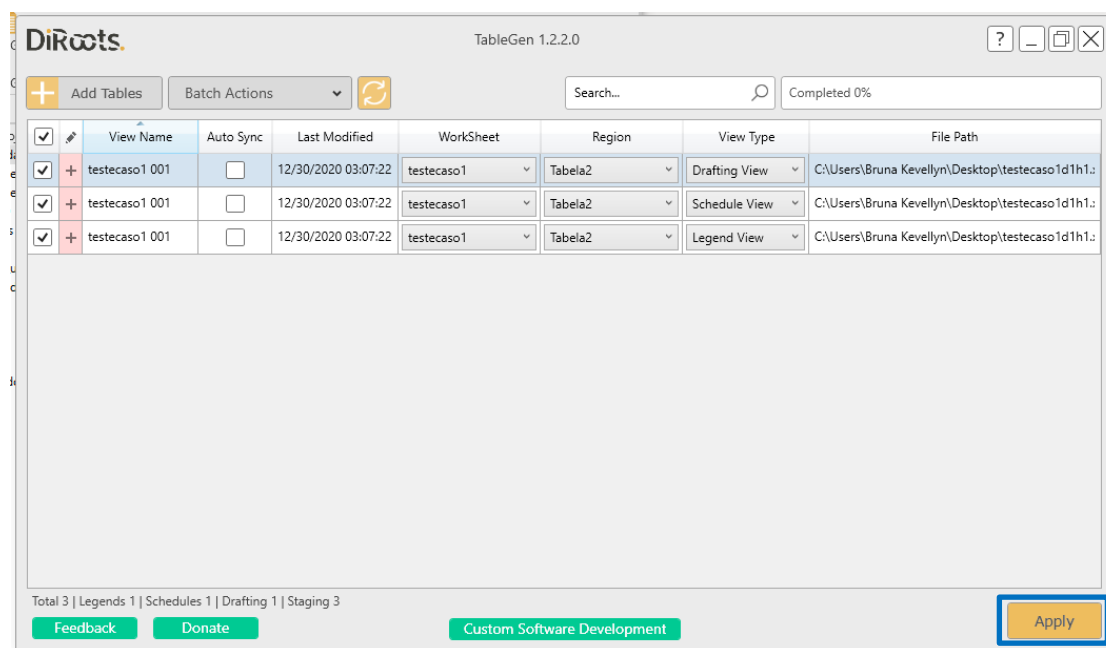


Figura 64: Importação de dados numéricos no Revit: terceira fase.

6.2 Integração no Navisworks Manage

O objetivo ao se trabalhar com o software Navisworks Manage era visualizar através de uma animação a variação do comportamento térmico da parede modelo ao longo do tempo. Com esse objetivo foi delineada uma metodologia que inclui os seguintes procedimentos:

1) Modelação das paredes no Revit

O software Navisworks Manage não permite a realização de nenhum tipo de modelagem em sua interface. Isto é, seu foco está voltado para análises de empreendimentos por meio da combinação de diferentes tipos de projetos.

Portanto, para realizar a animação foi necessário modelar, no software Revit, cinco paredes semelhantes às descritas no capítulo 5 em III.A), onde a única diferença entre elas foi que três delas possuíam uma imagem termográfica associada ao seu material, conforme ilustrado na Figura 65 e descrito em III.A.b). A Figura 65 permite ainda perceber que as duas primeiras paredes não possuem nenhuma imagem termográfica associada.

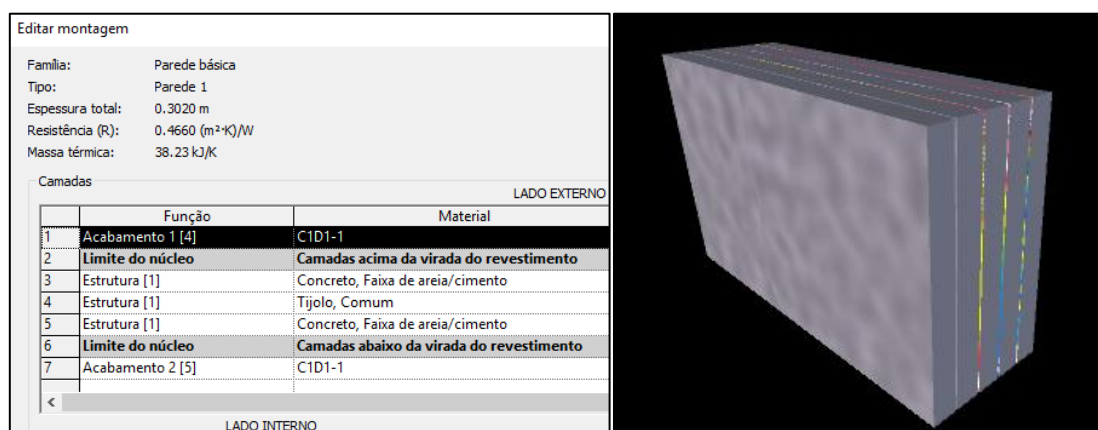


Figura 65: Imagens termográficas inseridas como material e representação das paredes com e sem imagens termográficas suas superfícies.

Após a finalização da modelação, o arquivo foi salvo em formato .RVT com objetivo de posteriormente ser importado no Navisworks Manage.

2) Manipulação do modelo 3D no Navisworks Manage

O primeiro passo no Navisworks Manage é a importação da modelação feita no Revit. Para isso, segue-se o procedimento descrito na Figura 66 e detalhado de seguida.

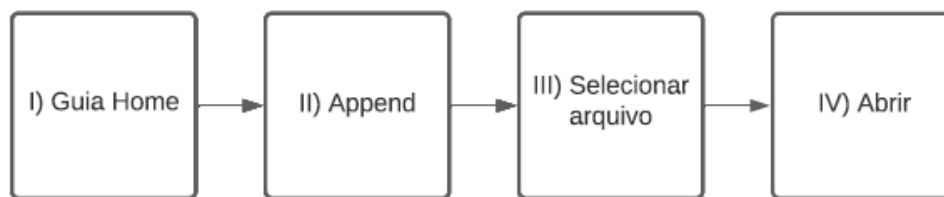


Figura 66: Procedimento para importação de arquivo no Navisworks Manage.

A primeira tarefa é executar o comando “Append”, que se localiza no separador “Home” conforme ilustra a caixa vermelha da Figura 67.

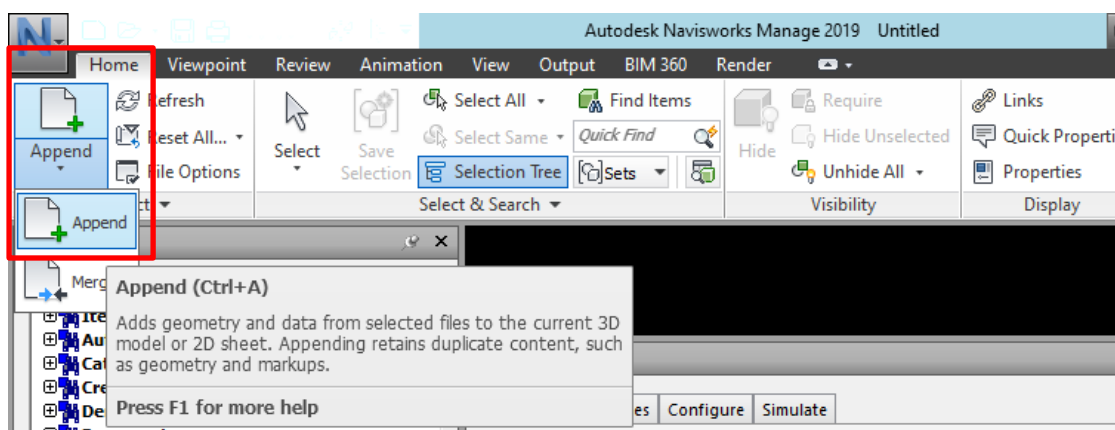


Figura 67: Localização da ferramenta utilizada para abrir o arquivo .RVT.

De seguida é aberta uma janela para que seja feita a seleção do arquivo, bastante. Localizá-lo e clicar em Abrir (Figura 68).

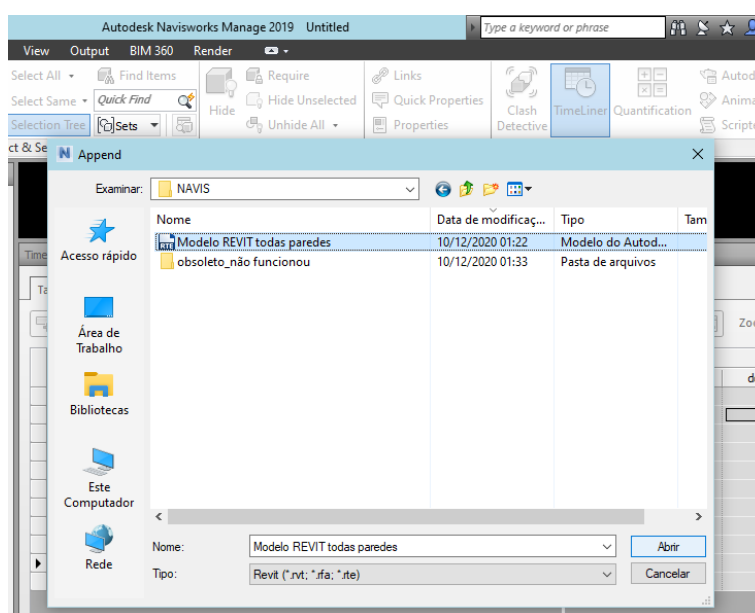


Figura 68: Seleção do arquivo .RVT.

Este procedimento carrega e disponibiliza o modelo original no Navisworks Manage e, com o modelo já inserido no programa é possível avançar para a criação da “linha do tempo” onde será estabelecido o guião necessário para o desenrolar da animação. Para esse efeito utilizam-se as ferramentas “*Selection Tree*” e “*TimeLiner*”, ambas disponíveis no separador “*Home*”, de acordo com o indicado na Figura 69.

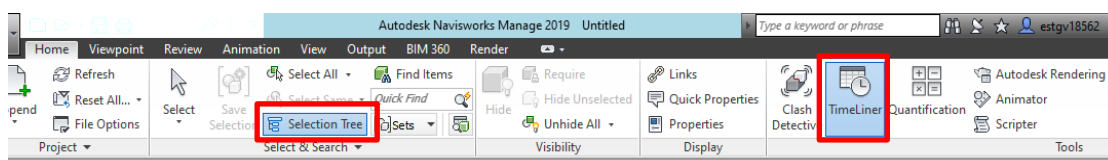


Figura 69: Localização das ferramentas “*Selection Tree*” e “*TimeLiner*”.

Para a construção do guião da animação da parede modelo, foi necessário introduzir 10 (dez) tarefas no total (Figura 70) . A impossibilidade dos programas, que o Revit, quer o Navisworks Manage, de associação de muitos materiais na mesma parede justifica a necessidade de utilização de cinco paredes para uma animação mesmo que tão curta, isto é, contendo apenas três termogramas.

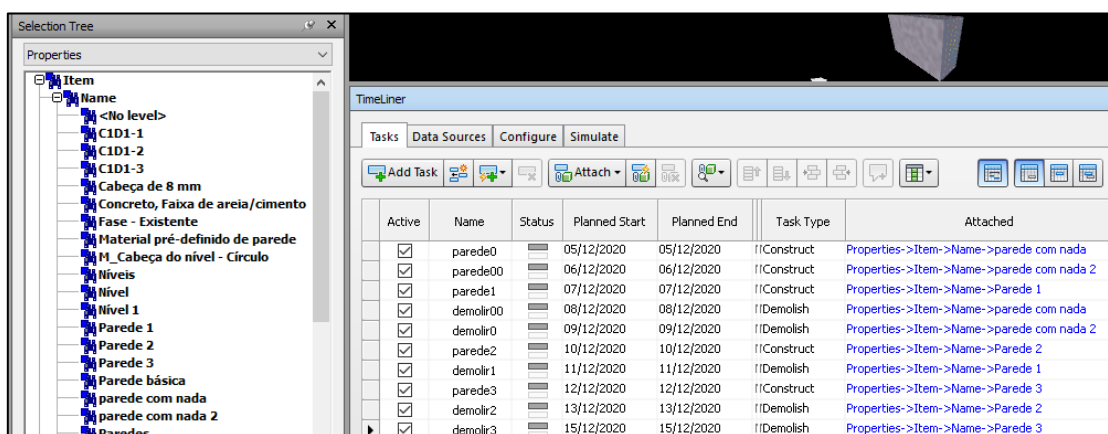


Figura 70: Todas as tarefas criadas para realizar a animação térmica.

Cada tarefa do guião requer um conjunto de dados genéricos que a definem, nomeadamente:

- i) Active: manteve-se sempre ativado; desta forma a tarefa ocorre sempre;
- ii) Name: foi preenchido com o nome do elemento ou da sua fase construtiva;
- iii) Status: é preenchido automaticamente;
- iv) Planned Started: data de início da atividade; como não foi possível configurar o programa por horas, as atividades foram divididas em dias apenas para viabilizar a construção da animação – adotou-se como início o dia 05/12/2020 e as tarefas seguintes foram definidas em conformidade;
- v) Planned End: data de término da atividade; considerou-se que cada atividade seria realizada ao longo de um único dia, logo também foi adotado o dia 05/12/2020 como inicial e seguiu-se na ordem;

- vi) Task Type: esta aba permite selecionar o tipo de tarefa. Apesar de possuir o tipo “*temporary*”, esta opção não funcionou da maneira esperada, sendo necessário utilizar os tipos “*construct*” para ilustrar a parede desejada e “*demolish*” quando fosse desejável escondê-la para aparecer a parede com a imagem termográfica seguinte;
- vii) Attached: é o responsável por associar a tarefa ao elemento original, tal como descrito no procedimento ilustrado na Figura 71.

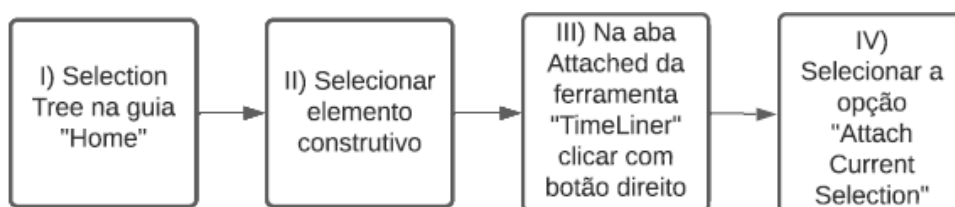


Figura 71: Procedimento para associar um elemento a uma tarefa.

Após finalizada essa etapa de configuração de tarefas passa-se para o separador “*Simulate*” ainda dentro da ferramenta “*Time Liner*”, mais especificadamente na ferramenta “*Settings*”. Nesta etapa, configuram-se os outros dados da animação, tais como: data de início e término, tamanho dos intervalos entre cada troca de tarefas, duração da animação e modo de visualização (Figura 72).

Após a conclusão de todas estas configurações, é possível clicar no símbolo de “*play*” e reproduzir a animação.

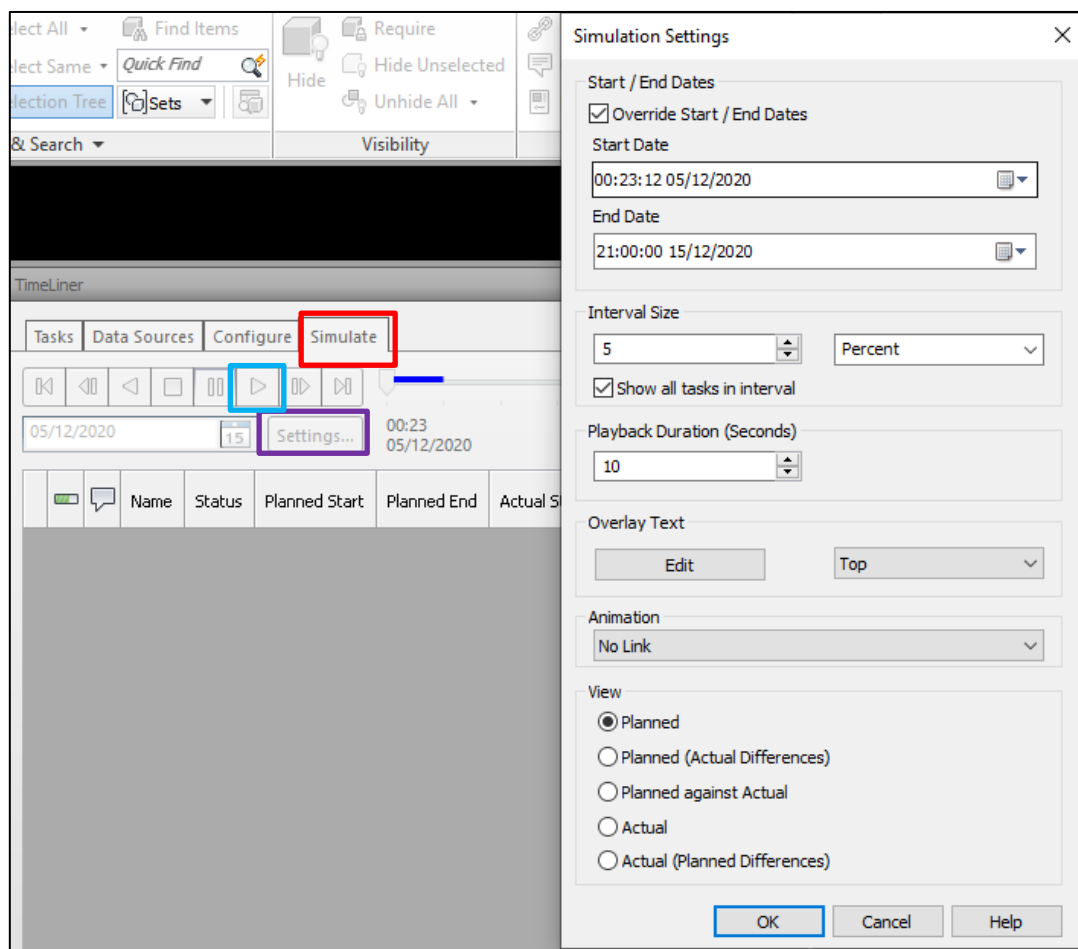


Figura 72: Configuração dos dados da animação.

Por fim, é possível realizar a exportação da animação em formato .AVI (Figura 73). Esta possibilidade está disponível na janela “*Simulation settings*”, podendo ser ajustadas algumas configurações de vídeo, como mostrado na Figura 74. Esse procedimento permite, por exemplo, a reprodução da animação em programas de visualização e edição de vídeo como o *Windows Media Player*.

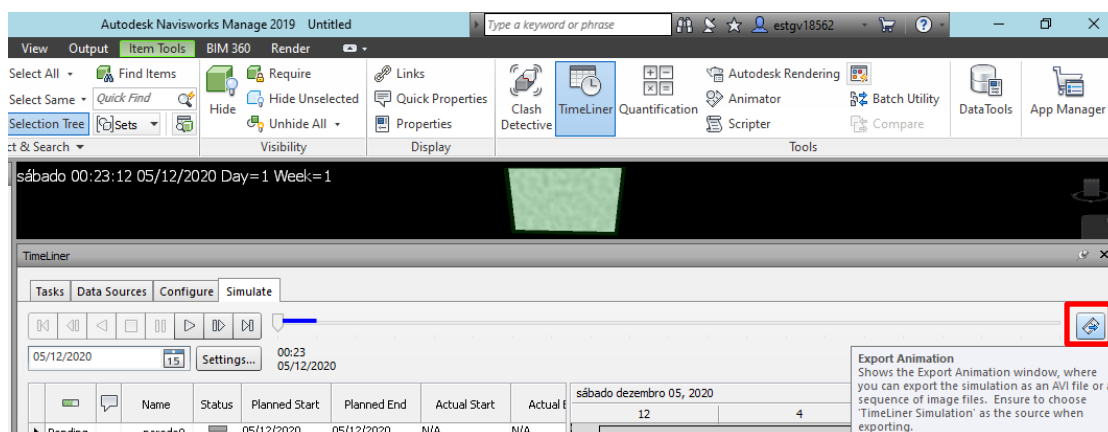


Figura 73: Localização da ferramenta de exportação da animação.

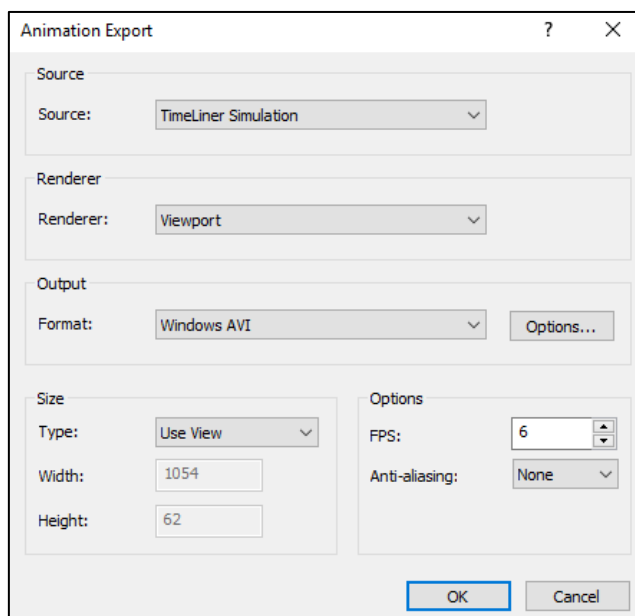


Figura 74: Exportação da animação para formato .AVI

6.3 Integração no Rhinoceros

Com o software Rhinoceros pretende-se analisar a viabilidade e interesse de dois tipos de abordagens. A primeira pretende avaliar a possibilidade de extrair dados RGB de cada *pixel* de uma imagem termográfica genérica; a segunda, assim como no caso anterior em que usou o Navisworks Manage, pretende-se construir um *script* visual que permita a análise integrada de uma compilação de imagens, mas, com a possibilidade de incluir uma componente quantitativa através da análise dos seus dados numéricos. Para a implementação de ambos os procedimentos foi realizada a ferramenta Grasshopper que já está incorporada no programa. As Figuras 75 e 76 mostram o procedimento para aceder ao *plugin* Grasshopper e sua tela inicial de edição.

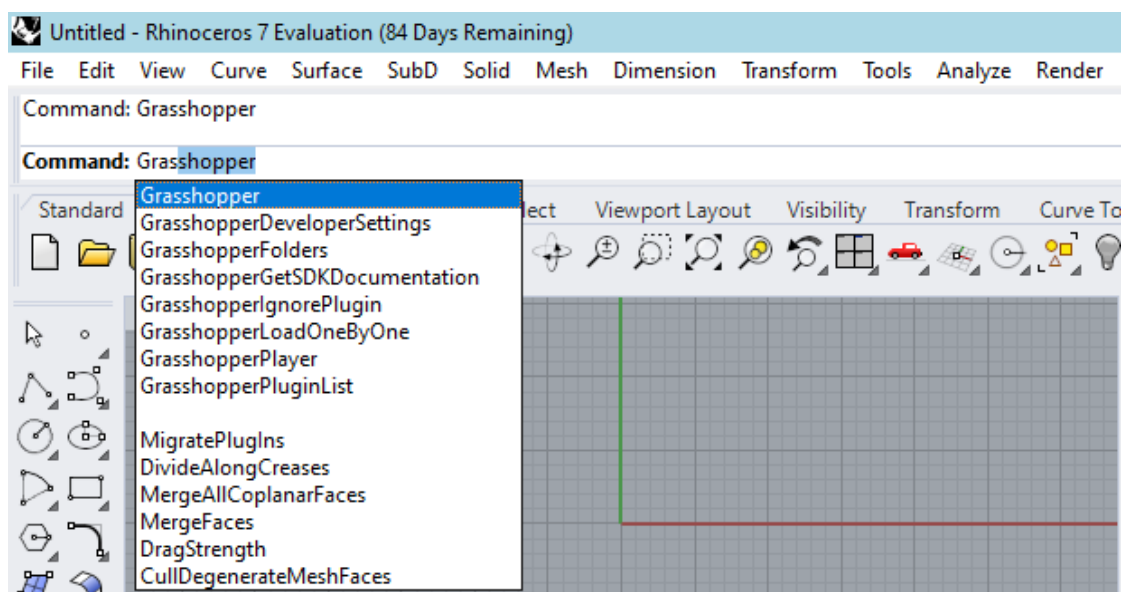


Figura 75: Como aceder ao *plugin* Grasshopper.

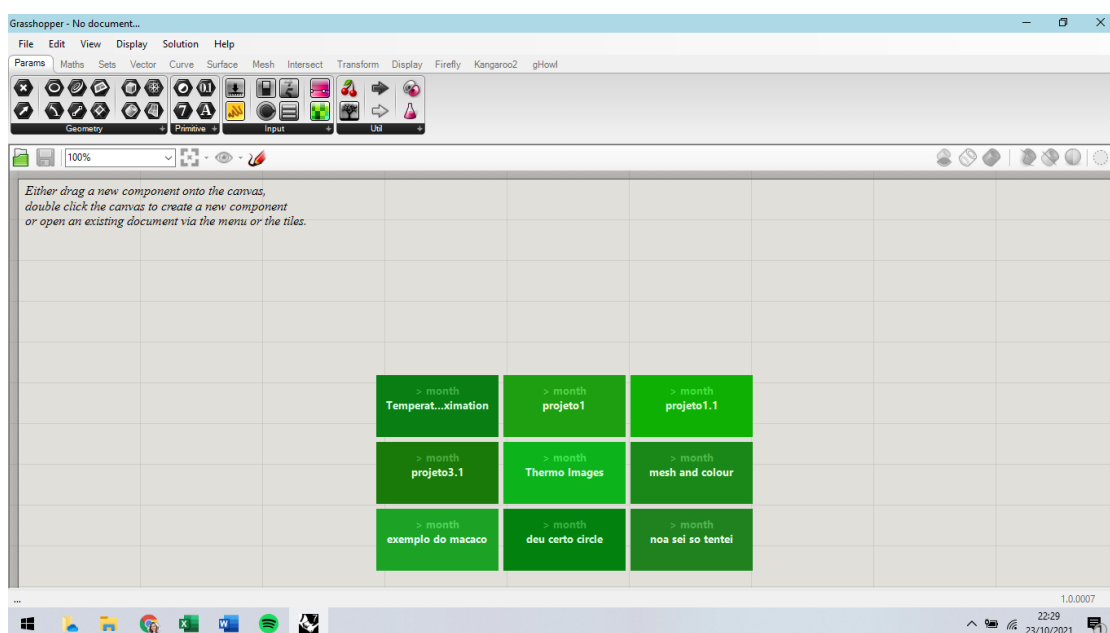


Figura 76: Tela inicial de edição do *plugin* Grasshopper.

1) Extração de dados RGB de uma imagem termográfica

Para este estudo foi utilizada uma única imagem termográfica. O primeiro passo foi a importação da através do comando “*Image Sampler*” (Figura 78). Salienta-se a necessidade de reajustar a resolução da imagem, neste caso para 320 x 240, de acordo com o seu número de *pixéis*. O procedimento completo para tornar a imagem termográfica utilizável no programa está ilustrado na Figura 77.

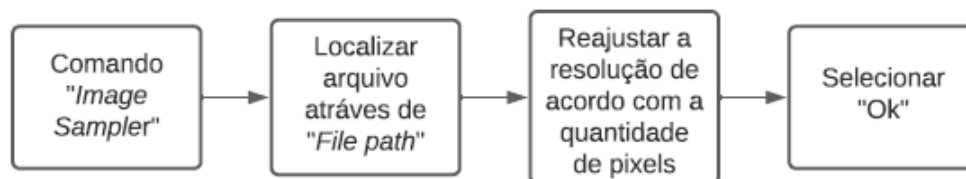


Figura 77: Importação de uma imagem a partir do comando “Image Sampler”.

Salienta-se que para a utilização de qualquer comando dentro do *plugin* é suficiente um duplo clique para surgir a caixa de diálogo que disponibiliza o comando pretendido, conforme ilustra a Figura 78.

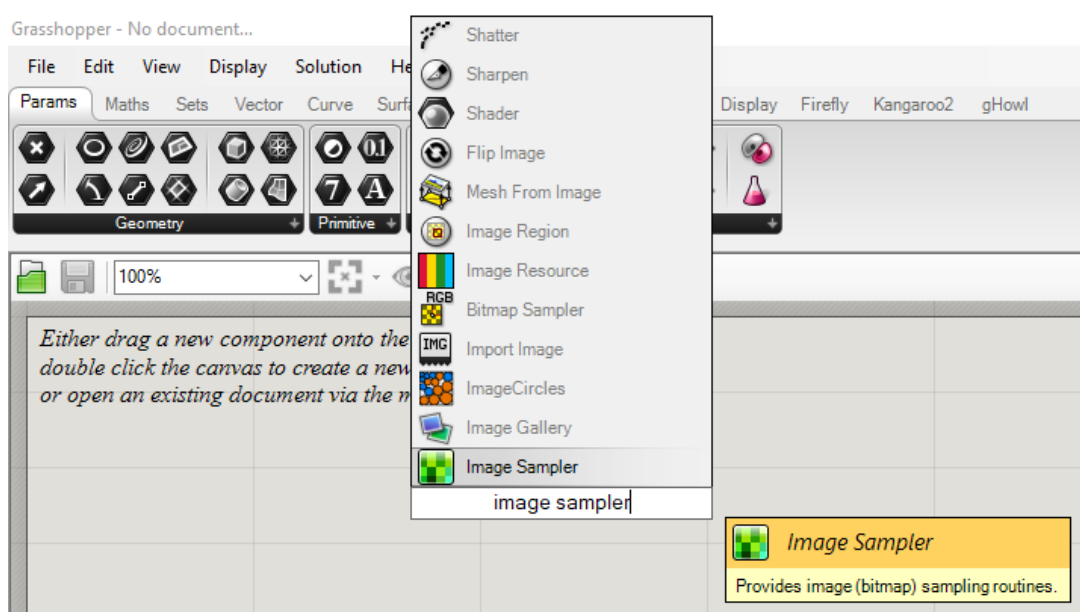


Figura 78: Selecionando o comando Image Sampler.

O segundo passo consiste na criação de uma malha 2D com células quadradas através do comando “*Square*”. A malha criada deve possuir, em cada direção, o número de nós correspondente à resolução da imagem. De seguida os dados RGB de cada pixel são reunidos num único objeto (matriz) de modo que suas coordenadas se tornaram o código RGB do pixel. A Figura 79 ilustra o algoritmo completo.

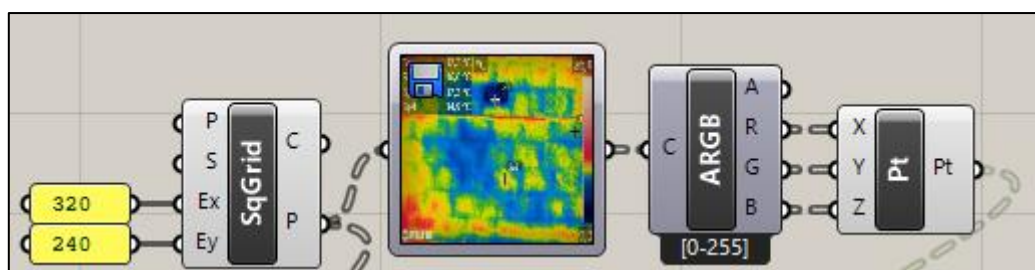


Figura 79: Algoritmo utilizado para extrair os dados RGB e reuni-los num único objeto.

2) Linha do tempo

Neste caso foram utilizadas 05 (cinco) imagens termográficas que podem ser visualizadas individualmente na mesma parede modelo com dimensões de 05 (cinco) metros de largura por 03 (três) metros de altura sem aberturas – confeccionada no Revit – já utilizada nos outros casos de estudo.

O desenvolvimento deste algoritmo exige mais tarefas, podendo ser dividido em três partes.

Antes de iniciar o desenvolvimento do algoritmo, é necessário importar a parede modelo em formato .IFC para o ambiente do Rhinoceros (Figura 81). Para esse efeito, utilizou-se o processo descrito na Figuras 80.

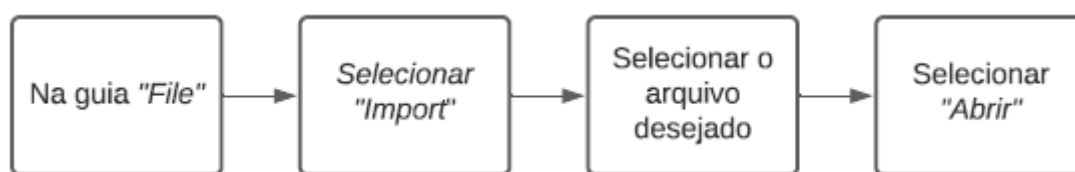


Figura 80: Processo de importação do modelo criado no Revit para o Rhinoceros.

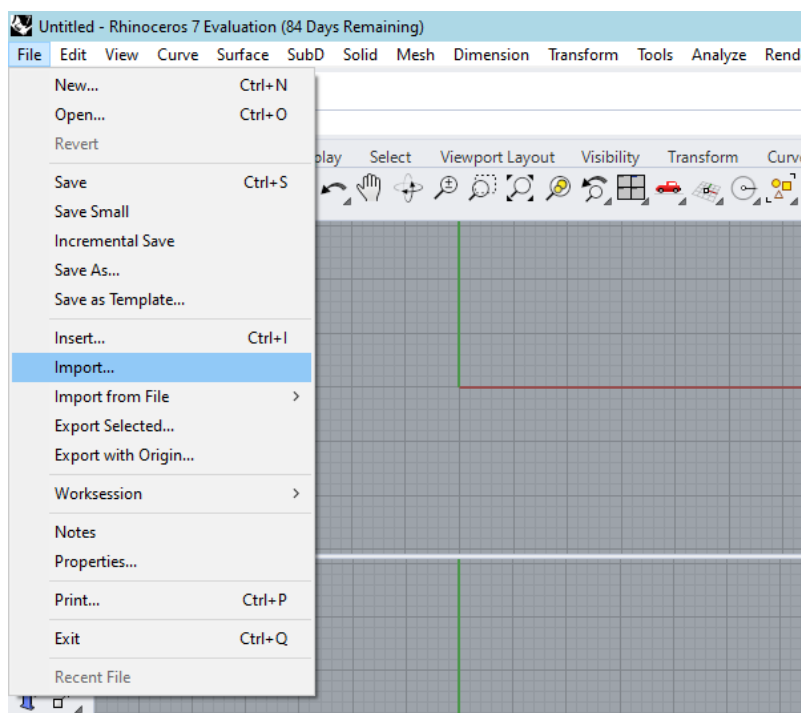


Figura 81: Localização das ferramentas de importação no programa.

Após a importação da parede modelo foi criada uma superfície retangular numa das faces maiores da parede, com o objetivo de cobrir toda essa face utilizando o comando “*rectangle*”. Em seguida, utilizou-se novamente esse comando para fazer um retângulo com coordenadas 0;320;240 (z,x,y), tal como apresentado na Figura 82.

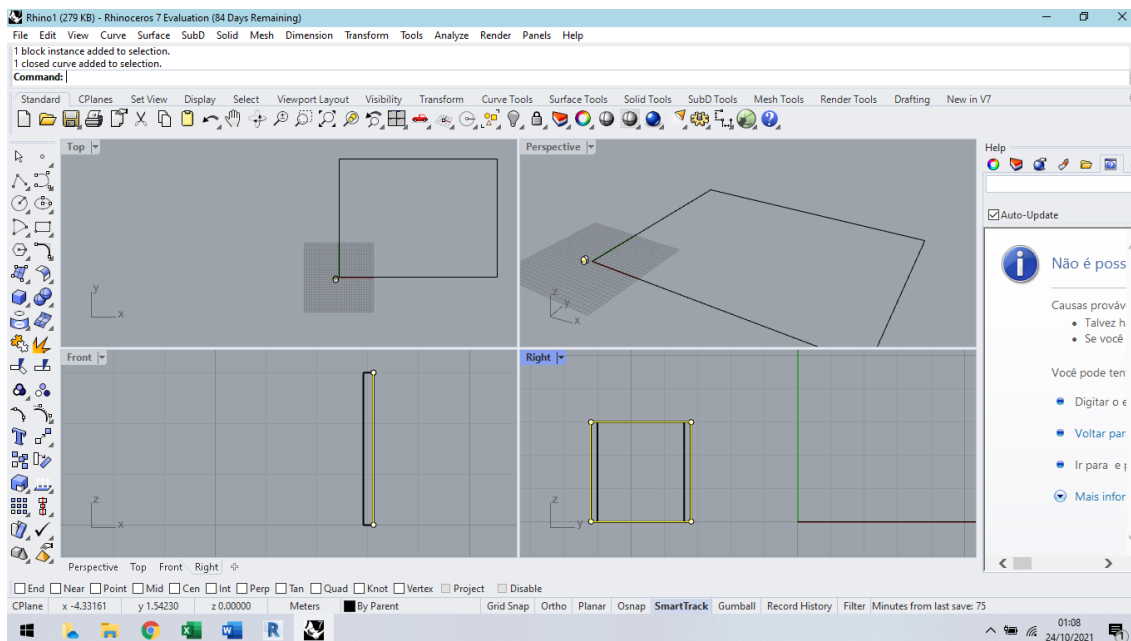


Figura 82: Parede modelo criada e duas superfícies retangulares criadas (a maior ao fundo a preto e a menor a amarelo).

Posteriormente, passou-se para o desenvolvimento do algoritmo na ferramenta “*Grasshopper*”. A primeira etapa, ilustrada na Figura 83, é responsável pela importação de imagens termográficas para o software. O comando “*bitmap*” é utilizado para carregar as imagens termográficas, que são visualizadas no painel imediatamente acima. O comando “*ListLength*” é utilizado para listar quais são as imagens que estão a ser utilizadas pelo algoritmo. Além disso, com os comandos “*NumberSlider*” e “*ListItem*” é criada uma barra deslizante que permite, de forma simples, alternar entre uma imagem e outra.

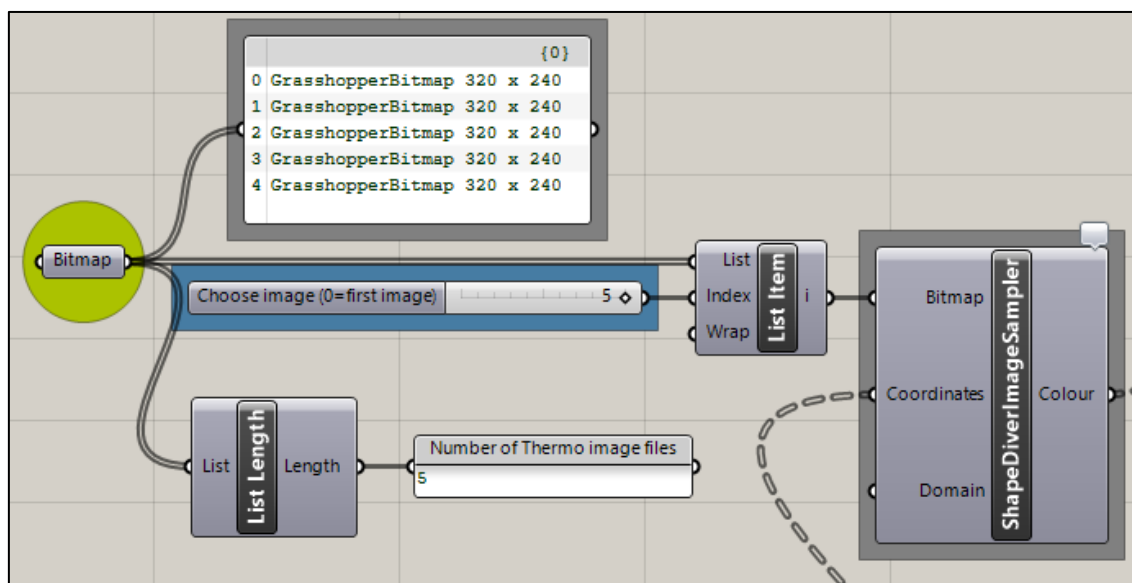


Figura 83: Primeira etapa do desenvolvimento do algoritmo.

Na segunda etapa do algoritmo, Figura 84, utilizou-se o comando “*ShapeDiverImageSampler*” para trazer as imagens anteriormente descritas, que serão transformadas em novas superfícies retangulares pelos comandos “*RectangleMapping*”, “*Surface*” e “*CustomPreview*”. Esta sequência de comandos é responsável por transformar um retângulo maior num menor, aglutinar uma coleção de superfícies genéricas e permitir a visualização de geometrias personalizadas, respectivamente. Dentro desta etapa foi necessária a utilização do comando “*Curve*” duas vezes para que durante a construção das novas superfícies retangulares, fossem inseridas as informações esperadas. O primeiro uso deu-se para associar o retângulo maior, criado anteriormente com dimensões 320 x 240, que representa a fonte de dados. Ou seja, ele contém todos os *pixels*, de cada imagem termográfica, que serão inseridos no retângulo menor. O segundo comando, é utilizado como destino para os dados. Ou seja, para indicar em qual superfície, neste caso, do retângulo menor, será inserida a informação recebida da fonte. Para selecionar a curva desejada clica-se com o botão direito no elemento e seleciona-se “*Set one Curve*” e assim selecionar a curva na interface de modelação do software.

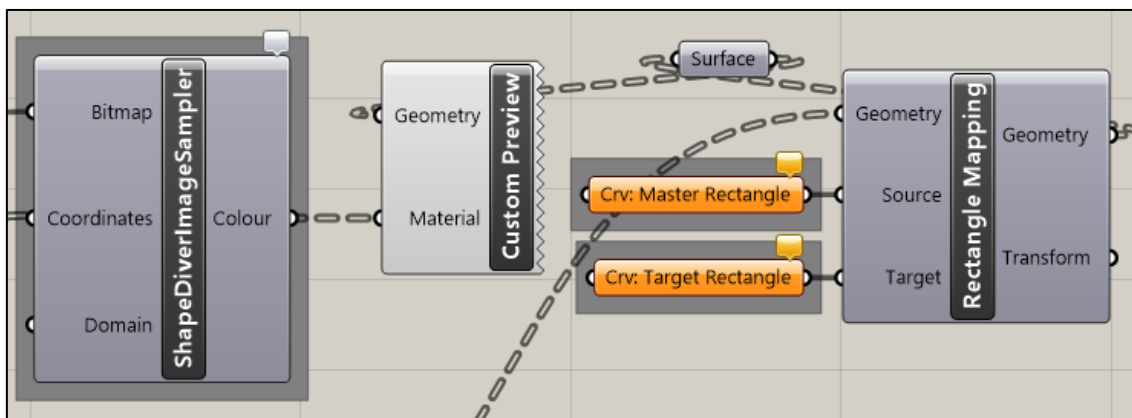


Figura 84: Segunda etapa do desenvolvimento do algoritmo.

A terceira e última etapa do algoritmo, Figura 85, funciona de forma próxima à etapa anterior. Esta etapa é responsável pela manipulação da resolução da imagem para garantir que os pixels se distribuam perfeitamente. Para isso os comandos “Area” e “Square” operam em conjunto com os já citados anteriormente “RectangleMapping” e “ShapeDiverImageSampler”. Os dois comandos “Panel” são preenchidos cada um com os dados numéricos de pixels da imagem termográfica, que são diretamente convertidos através dos comandos “Division” e “NumberSlider” numa escala apropriada para gerar a malha correspondente pela imagem final representada na superfície da parede.

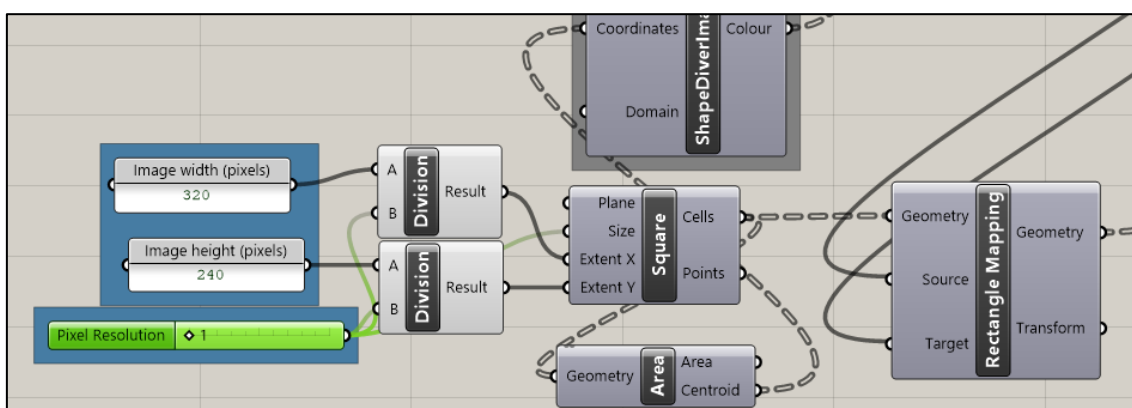


Figura 85: Terceira etapa do desenvolvimento do algoritmo.

A Figura 86 representa o algoritmo de forma completa, isto é, onde todas as etapas estão reunidas.

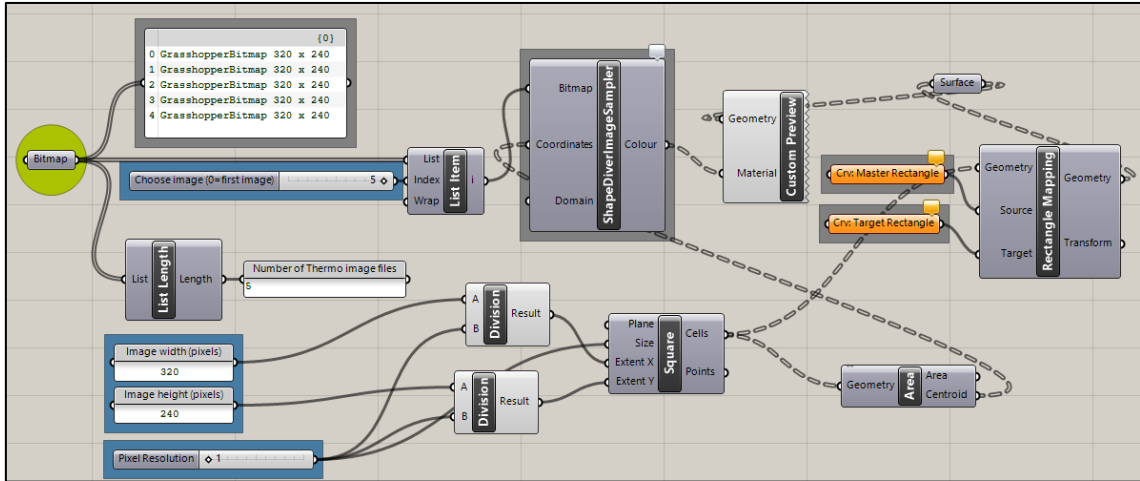


Figura 86: Algoritmo completo

7. Exemplos de aplicação

7.1 Integração no Revit

7.1.1 Ferramenta Decalque

Como mencionado anteriormente, foram criados três tipos de decalques diferentes que em seguida foram inseridos, inicialmente, na parede modelo que não continha qualquer abertura. A partir dos resultados obtidos foi possível explorar várias possibilidades de análise.

No primeiro caso, apresentado na Figura 87, é possível visualizar que o decalque está em toda a extensão da parede, permitindo a análise completa de todo o elemento. Ou seja, é possível analisar, visualmente, a temperatura da parede em cada ponto de seu plano. No entanto, um inconveniente desta técnica é que caso sejam inseridos mais do que um decalque na mesma superfície analisada (como é desejado em muitas situações) não há a capacidade de se alternar entre eles. Isto é, só é possível visualizar um dos decalques e os outros ficam escondidos por baixo do que está visível. Por esta razão, a única alternativa de visualização exige que se exclua o decalque superficial para visualizar o que está abaixo dele e sucessivamente.

Salienta-se que o decalque fica visível apenas na face da parede em que foi inserido no modelo, de modo que, caso haja rotação da parede durante a sua visualização, não constará decalque nas outras faces do modelo. Contudo, ressalta-se que é possível inserir vários decalques, diferentes entre si, em cada uma das faces do modelo.

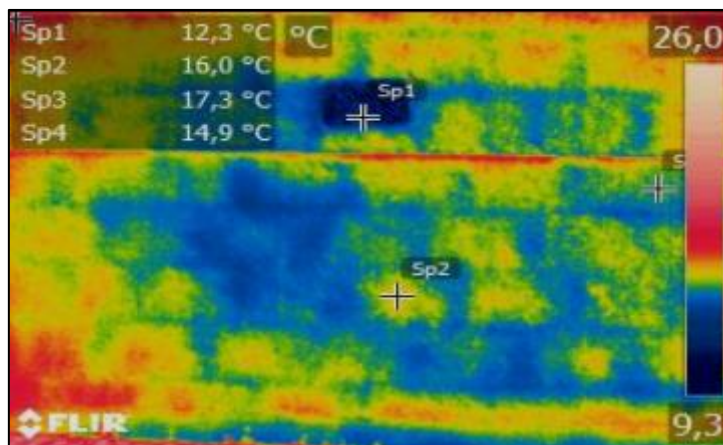


Figura 87: Decalque em toda superfície do elemento.

Salienta-se que um decalque pode ser inserido infinitas vezes no mesmo elemento, assim como pode ser redimensionado antes de sua inserção ou ser ajustado diretamente no elemento inserido. A Figura 88 mostra uma situação em que dois decalques foram inseridos na mesma parede modelo, mas com dimensões diferentes. Neste caso, é visível a possibilidade de análise pontual no elemento.

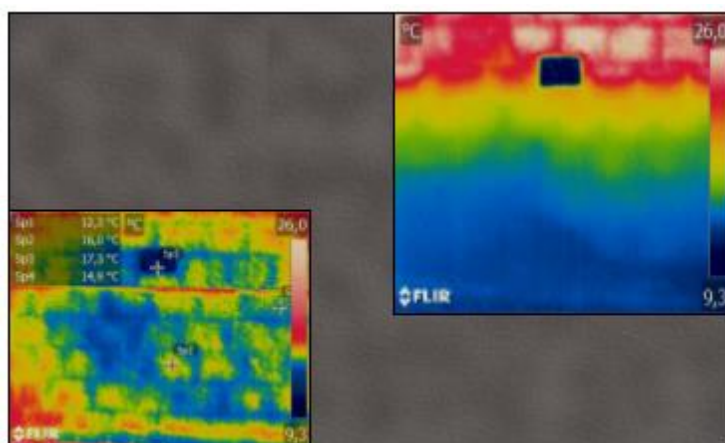


Figura 88: Dois decalques inseridos na mesma parede sem sobreposição entre eles.

No caso da Figura 89, fica evidente o risco de sobreposição entre decalques, que conduz a um resultado pouco eficiente, já que um decalque acaba por ocultar as informações do outro. Essa perda de informação acontece de duas maneiras. Pelos decalques que estão por cima, que impedem a visualização do decalque que está abaixo dos demais. E pela linha das bordas do decalque que está por baixo que aparece nos decalques que estão sobre ele.

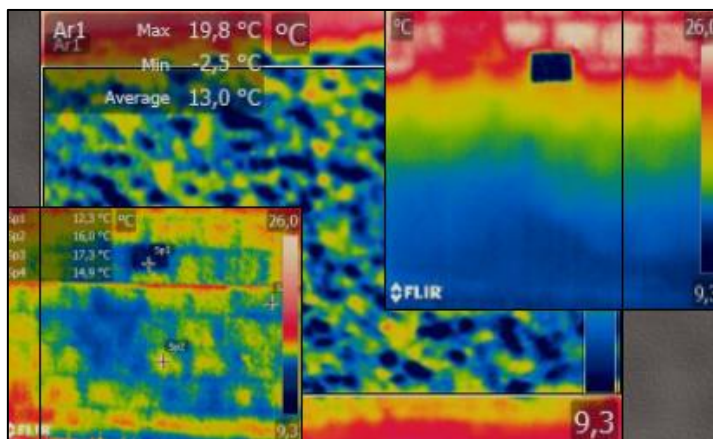


Figura 89: Três decalques inseridos na mesma parede com sobreposição e consequente perda de informação.

As Figuras 90 e 91 demonstram a incompatibilidade do uso da ferramenta decalque no objeto que inclui uma abertura, já que a visualização fica significativamente comprometida pela presença da janela. Nos dois casos apresentados, parte das informações do decalque são perdidas pois a imagem concentra-se apenas no subelemento em que foi inserida.

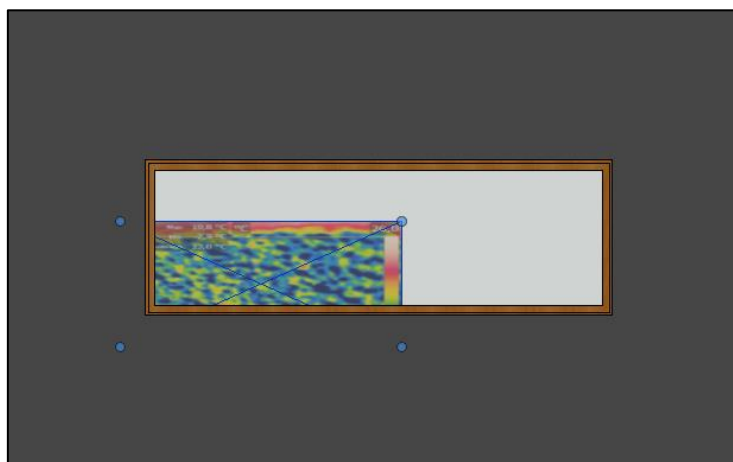


Figura 90: Decalque aplicado no subelemento vidro.

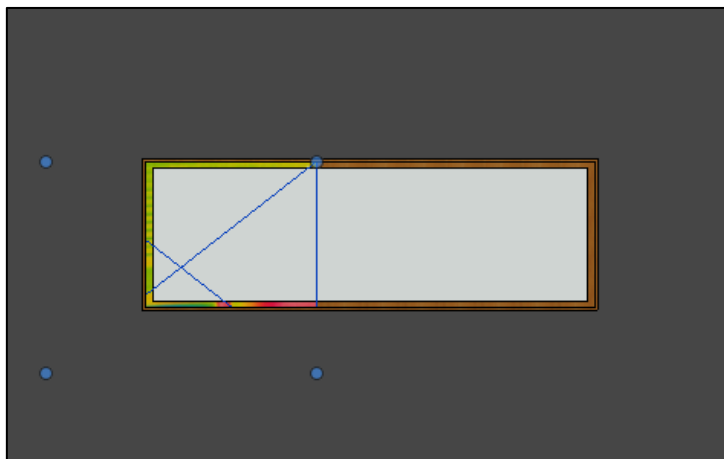


Figura 91: Decalque aplicado no subelemento caixilho.

Na Figura 92 é possível identificar novamente a possibilidade de inserção de vários decalques, sejam eles em qualquer subelemento do conjunto. No entanto, fica evidente pelos decalques inseridos no lado direito da parede a perda de informação quando em contato com outros subelementos.

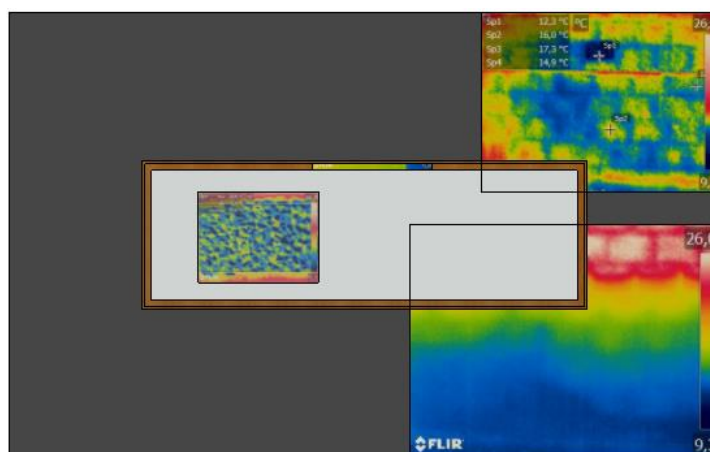


Figura 92: Decalques aplicados aleatoriamente nos subelementos da parede.

Foi realizada também uma tentativa de preencher todas as partes do elemento (vidro, caixilho e parede) usando o mesmo decalque, todos na mesma proporção, para compor a imagem termográfica na sua totalidade. Contudo, o resultado não foi satisfatório pois o programa apresenta um erro ao realizar esse processo no subelemento caixilho (Figura 93).

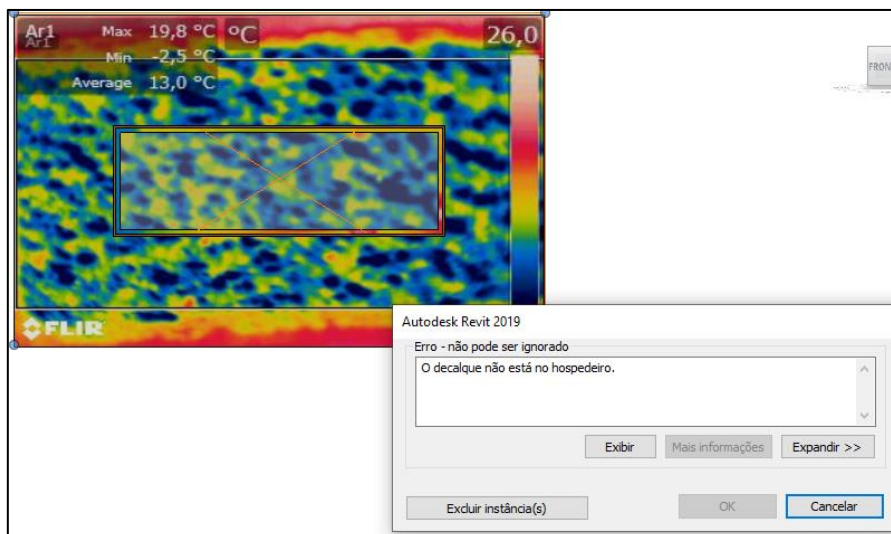


Figura 93: Erro apresentado ao aplicar o decalque no subelemento caixilho.

7.1.2 Ferramenta Material

A ferramenta Material apresenta um comportamento bastante semelhante ao da ferramenta decalque, descrita na seção anterior. Há a possibilidade de configurar previamente a resolução da imagem termográfica que servirá de base ao material que será inserido no elemento. Em função da resolução que for definida, o material pode preencher a totalidade da parede modelo (Figura 94), ou cobrir apenas uma parte da superfície do objeto (Figura 95). A função ainda permite que se replique a imagem utilizada como material, tal como mostrado na Figura 96.

Salienta-se que, ao contrário do que acontece com a ferramenta decalque, a utilização dos materiais não permite o ajuste da resolução ou o posicionamento diretamente no elemento. Ou seja, as dimensões da imagem que representa o material a ser exibido no elemento são definidas apenas quando da sua aplicação. Além disso, só é possível inserir e visualizar um único material na superfície do elemento, o que impede a análise de várias imagens termográficas simultaneamente.

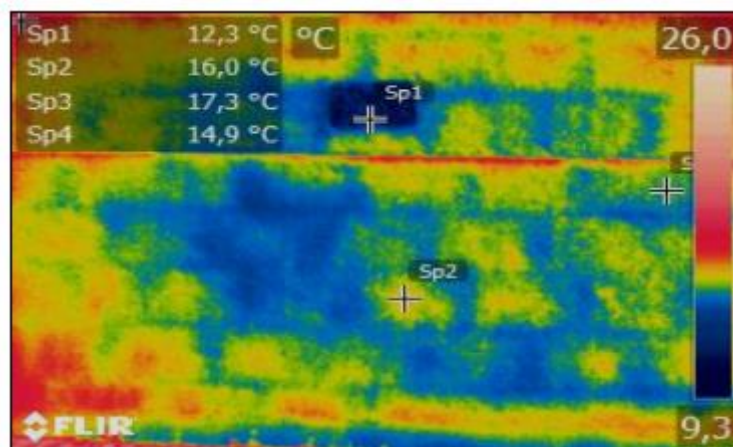


Figura 94: Material aplicado com resolução idêntica as dimensões da parede modelo.

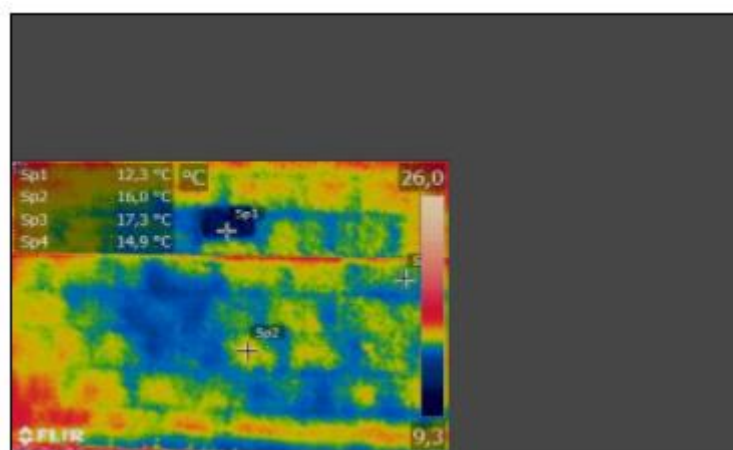


Figura 95: Material com resolução diferente das dimensões da parede modelo.

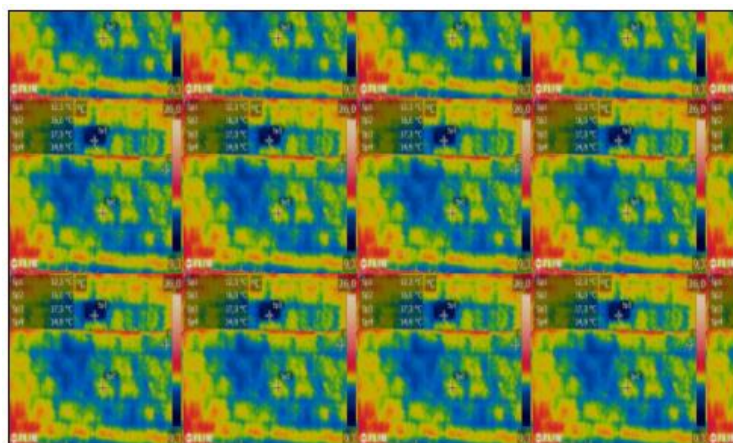


Figura 96: Material replicado em toda extensão da parede modelo.

Quando há presença de uma abertura, a situação também é ineficiente como ocorreu com o decalque. Apesar de neste caso a ferramenta Material funcionar perfeitamente em todos os subelementos, a totalidade do elemento não é preenchida da maneira esperada, tal como se apresenta na Figura 97.

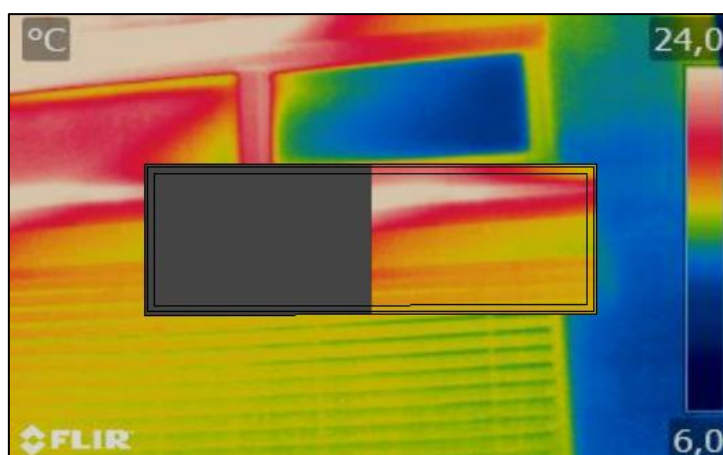


Figura 97: Materiais aplicados em todos os subelementos na mesma proporção sem replicação.

Já quando é ativado o comando para replicação das imagens, todo o elemento é preenchido (Figura 98). Contudo, a informação obtida não é satisfatória, não permitindo qualquer interpretação do resultado.

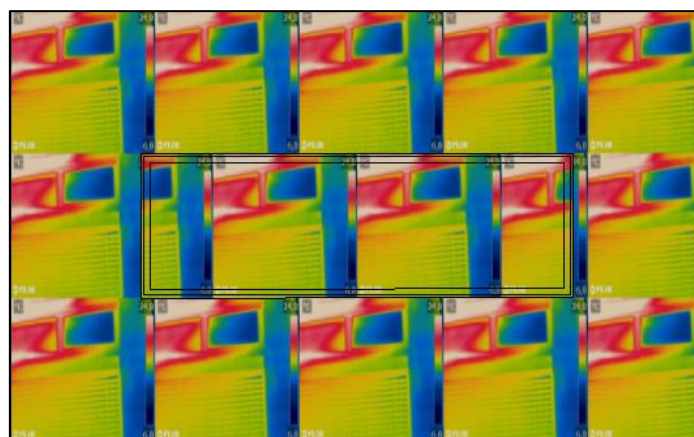


Figura 98: Materiais aplicados em todos os subelementos na mesma proporção de forma replicada.

7.1.3 Plugin de importação de tabelas TableGen

Adotando o procedimento descrito anteriormente, os dados numéricos da temperatura dos *pixéis* da imagem termográfica foram inseridos no modelo através de legenda, tabela e desenho. Os resultados mostraram que todos os formatos se comportam semelhantemente.

A Figura 99 mostra os dados numéricos importados como legenda, tabela e desenho, que formam uma matriz numérica editável, mas que apenas permite a análise visual da informação. Procurou-se alguma forma de associar esses dados à imagem inserida no

elemento construtivo (através da ferramenta Decalque ou Material), contudo, não houve sucesso em alguma tentativa.

17,54	17,76	17,46	17,58	17,63	17,69	17,54	17,63	17,36	17,37	17,18	17,19
17,52	17,51	17,38	17,50	17,50	17,36	17,39	17,38	17,44	17,39	17,31	17,33
17,85	17,51	17,60	17,45	17,30	17,50	17,69	17,51	17,18	17,18	17,31	17,14
17,62	17,44	17,73	17,26	17,24	17,09	17,17	17,51	17,09	17,25	16,87	17,16
17,56	17,03	17,04	17,17	17,34	17,24	17,22	17,14	17,09	17,37	17,13	17,09
17,30	17,34	17,22	17,22	16,94	17,04	17,14	16,80	17,01	16,80	16,90	16,90
17,44	16,98	17,02	17,45	16,88	16,89	16,87	17,00	16,88	17,20	16,86	16,58
17,39	17,29	16,86	16,81	17,21	17,00	16,63	16,86	16,88	16,38	16,89	16,96
17,49	17,38	16,96	17,14	16,89	16,92	16,89	16,61	16,96	16,70	16,63	16,54
17,31	17,13	16,87	16,78	16,68	16,71	16,79	16,60	16,82	16,95	16,30	16,55
17,33	17,35	17,16	16,95	16,69	16,55	16,63	16,07	16,32	16,65	16,44	16,44
17,43	17,06	16,94	16,86	16,72	16,41	16,60	16,93	16,41	16,60	16,26	16,49
17,20	16,98	16,78	16,92	16,64	16,46	16,84	16,54	16,40	16,53	16,13	16,21
16,93	17,20	16,94	16,95	16,70	16,37	16,46	16,69	16,50	16,37	16,34	16,44
17,10	16,94	16,77	16,57	16,66	16,61	16,25	16,13	16,40	16,04	16,10	16,18
16,81	16,90	16,87	16,81	16,55	16,37	16,60	16,47	16,47	16,01	16,30	16,40
17,19	17,08	16,95	16,68	16,58	16,26	16,57	16,38	16,42	16,32	16,41	16,44
17,27	16,90	16,90	16,60	16,34	16,45	16,47	16,42	16,50	16,55	16,18	16,41
17,04	17,08	16,71	16,84	16,66	16,47	16,40	16,42	16,17	16,49	16,48	16,37
16,82	16,96	16,52	16,56	16,46	16,53	16,40	16,39	16,55	16,56	16,45	16,60
16,93	16,93	16,65	16,37	16,48	16,64	16,34	16,74	16,02	16,27	16,48	16,08
16,93	16,85	16,42	16,23	16,39	16,23	16,34	16,10	16,17	16,50	16,46	16,23
16,84	16,92	16,68	16,40	16,40	16,24	16,22	16,72	16,30	16,18	16,23	15,89
16,89	16,76	16,56	16,58	16,17	16,33	16,09	16,10	16,44	16,15	16,30	16,15
16,96	16,52	16,39	16,31	16,13	16,23	15,96	16,35	16,15	16,42	15,88	16,00
16,88	16,24	16,09	16,17	16,26	16,01	16,06	15,95	16,06	16,24	16,19	15,99

Figura 99: Dados numéricos importados como tabela.

Face aos resultados obtidos, fica evidente que a importação de dados numéricos da imagem termográfica para o Revit não possibilita uma visualização imediata do valor da temperatura na imagem termográfica real. Ou seja, é possível dentro do programa possuir a imagem termográfica inserida na parede modelo, através da ferramenta decalque ou material, e, separadamente, carregar os dados numéricos em diferentes formatos. Porém, não é imediata a interligação dessas informações dentro do elemento modelado para uma análise conjunta direta.

No entanto, não se explorou a possibilidade de, através de um algoritmo externo, eventualmente, tirando partido das potencialidades da programação em ambiente *Dynamo Studio*, fazer a junção das duas componentes. Este passo alargaria significativamente o interesse e a aplicabilidade das ferramentas.

7.2 Integração no Navisworks Manage

A partir da ferramenta “*Time Liner*” foi possível realizar uma análise de várias imagens termográficas ao longo de um período por meio de uma animação, como mostrado na Figura 100.

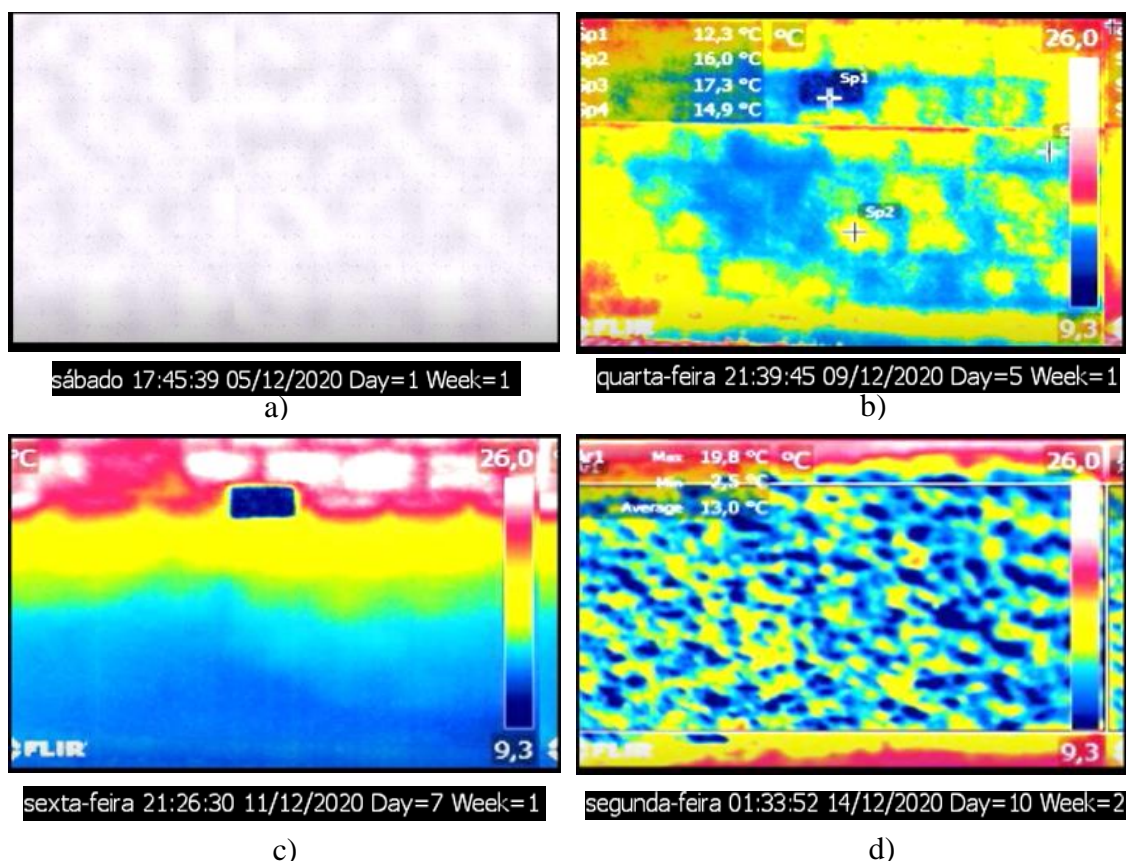


Figura 100: Animação criada através da ferramenta Time Liner: a) instante $t = 0,5$ segundos; b) instante $t = 4$ segundos c) instante $t = 5$ segundos d) $t = 8$ segundos

Este recurso pode ser aplicado a qualquer intervalo de tempo, o que possibilita ao usuário observar o comportamento do elemento construtivo ao longo de todo o período de análise, isto é, durante qualquer período de tempo que ele desejar. Todavia, caso se pretenda incluir muitas imagens termográficas no estudo, apesar da sua introdução ser relativamente simples, será um processo muito trabalhoso e repetitivo, que pode conduzir a ficheiros de vídeo de grande dimensão.

No entanto, não se explorou a fundo o porquê não foi possível utilizar o modo temporário nos elementos inseridos na linha do tempo. Esse modo reduziria consideravelmente o trabalho exigido para o desenvolvimento da animação, demandando menos tempo e menor gasto computacional.

7.3 Integração no Rhinoceros

7.3.1 Extração de dados RGB

A partir da utilização deste algoritmo foi possível criar uma relação entre coordenadas e *pixéis* da imagem termográfica (baseadas na sua resolução 320 x 240), onde cada coordenada (pixel) possui um valor RGB associado extraído da imagem termográfica (Figura 101).

Desta maneira, é possível criar tabelas que façam a relação entre os valores RGB com os valores de temperatura associados a cada pixel da imagem, através da definição de uma escala de cores própria. Este tipo de procedimento já foi testado com sucesso por Natephra et al. (2016), trabalho citado no capítulo 4, onde foi possível realizar uma breve análise visual sobre quais intervalos de temperaturas estavam sendo representados pelos valores RGB extraídos da imagem termográfica e assim identificar quais locais tinham deficiente desempenho energético ou que precisavam de manutenção. Contudo essa hipótese não foi explorada neste trabalho.

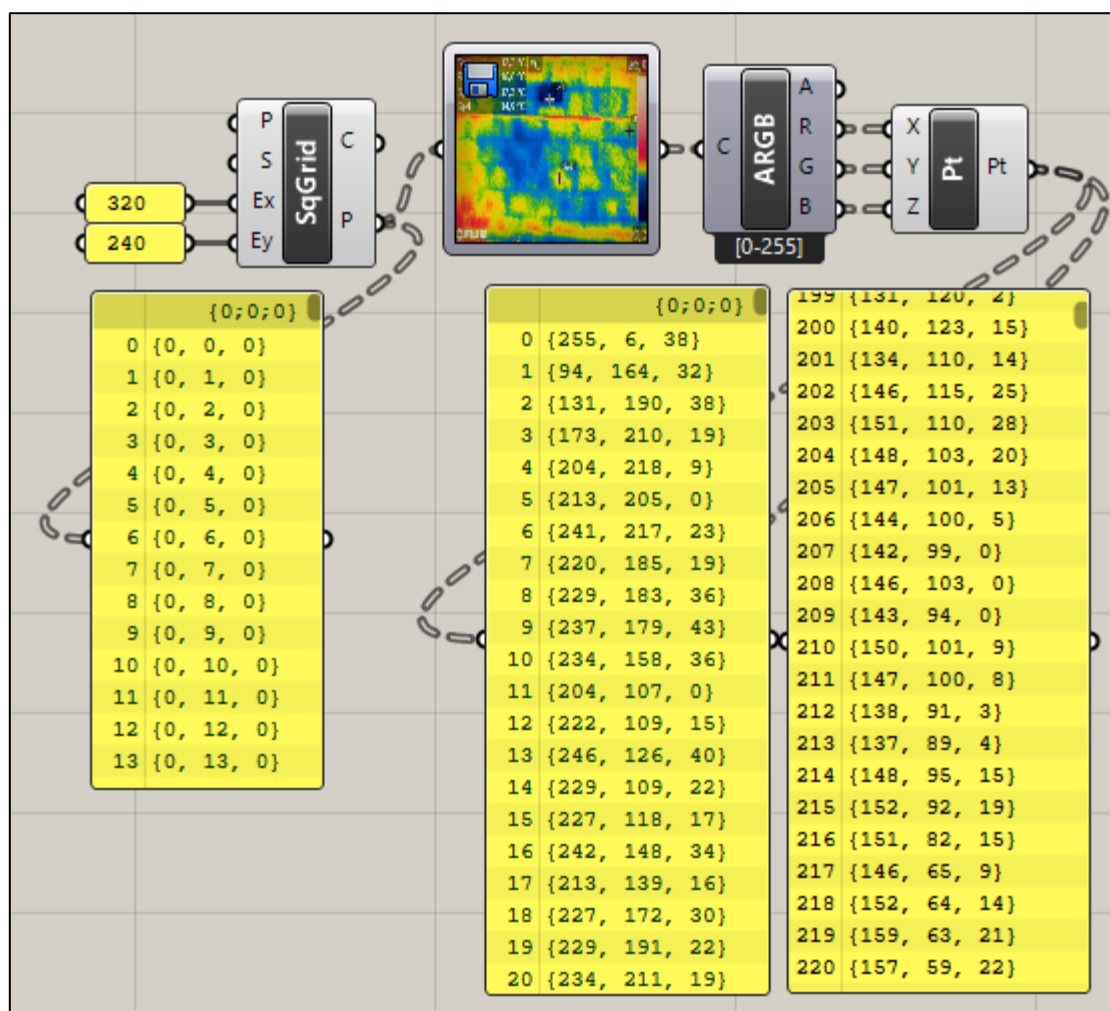


Figura 101: Extração de dados RGB.

7.3.2 Linha do tempo

Por meio do algoritmo descrito no capítulo anterior foi possível automatizar a visualização de cinco imagens termográficas diferentes na mesma parede modelo. As imagens termográficas inseridas só ficam visíveis em uma das faces do modelo. Ou seja, através desta metodologia, pode realizar-se uma análise do comportamento térmico de um determinado elemento construtivo ao longo de um período de tempo, visualizando-se, para tal uma imagem termográfica de cada vez, de forma sequencial, conforme as Figuras 102, 103 e 104.

Caso o modelo possua um elemento construtivo com mais de uma parede, um ambiente fechado, como um quarto, por exemplo, apesar de poder ser representado normalmente sua estrutura mais elaborada, a visualização das imagens termográficas continuam em apenas uma única face de uma das paredes de todo o modelo.

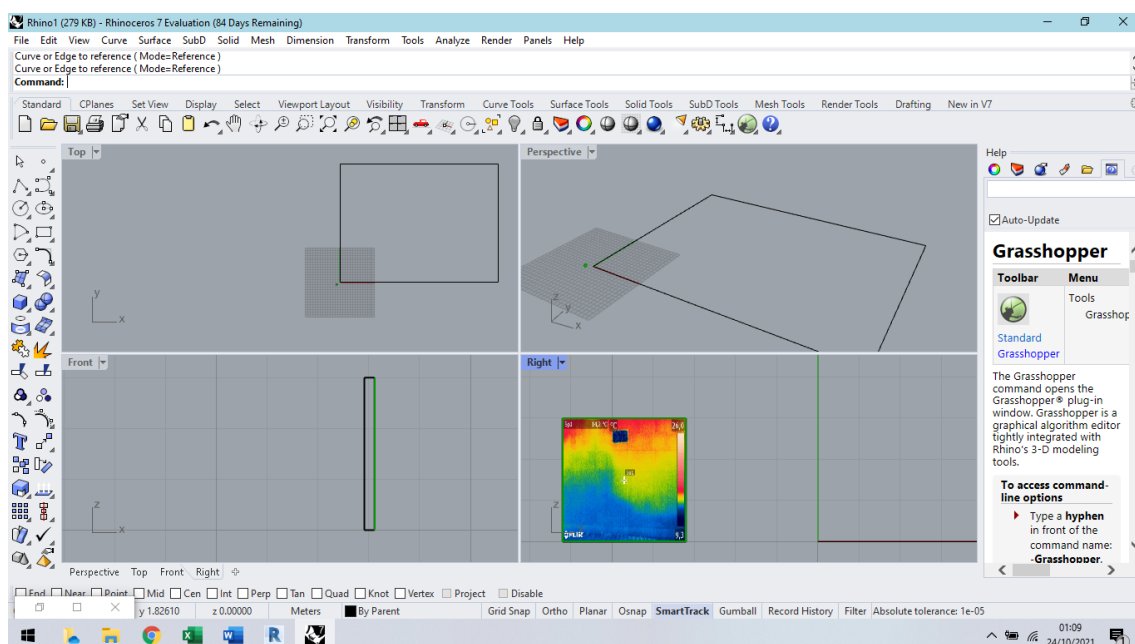


Figura 102: Visualização da imagem termográfica vista em uma das faces da parede modelo e suas demais vistas

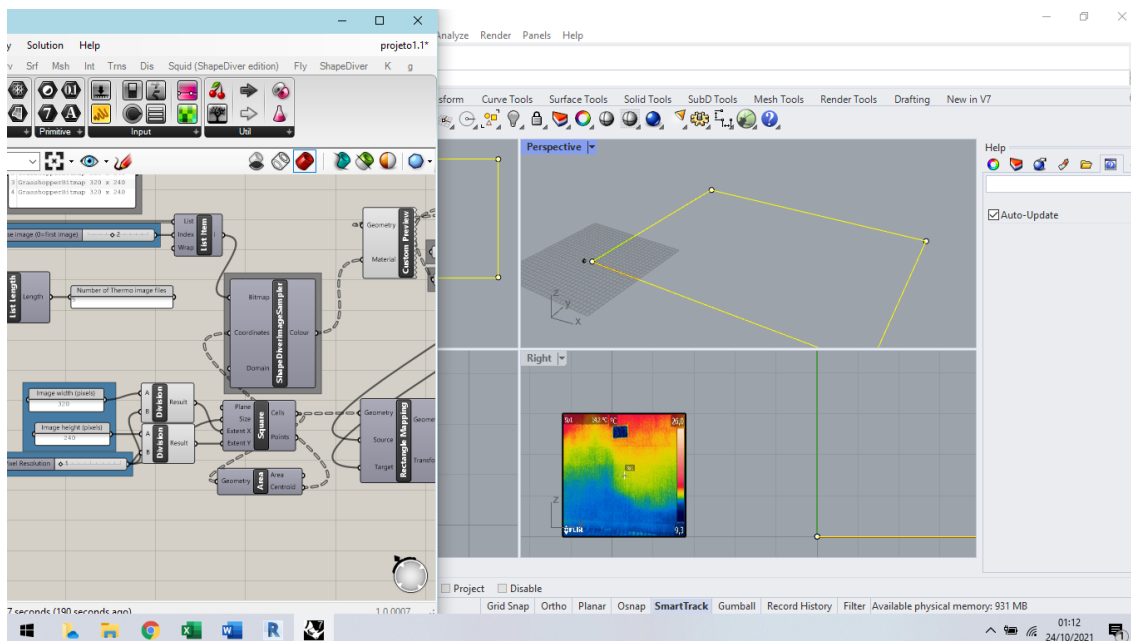


Figura 103: Algoritmo utilizado (esquerda) e visualização da imagem termográfica vista em uma das faces da parede modelo (direita).

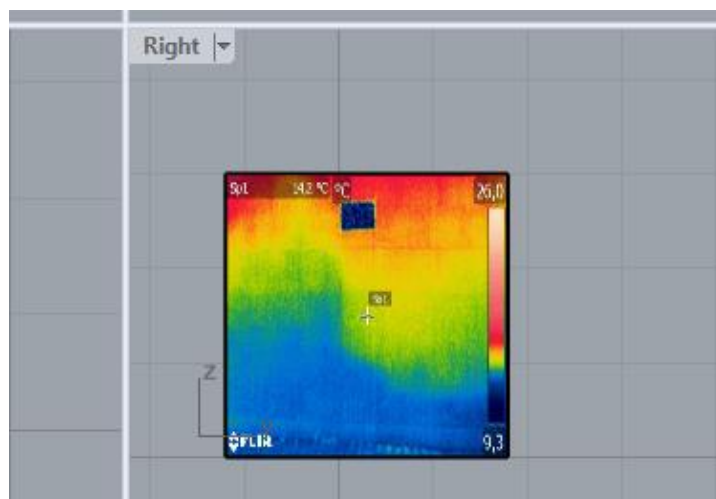


Figura 104: Imagem térmica associada à parede modelo.

7.4 Análise comparativa entre os modos de integração utilizados

Cada ferramenta utilizada para integração de imagens termográficas no modelo BIM apresenta uma vantagem e/ou desvantagem dependendo do objetivo do usuário. Por exemplo, se o usuário tem como objetivo apenas realizar a visualização de uma única imagem termográfica, o mais adequado é utilizar as ferramentas Decalque e Material

encontradas no Revit. Contudo, se deseja analisar mais de uma imagem termográfica, essas ferramentas já não são as mais interessantes devido, a perda de informação quando há sobreposição de imagens termográficas no modelo. Desta maneira, o mais adequado nesse caso é a utilização ou do Navisworks Manage ou Rhinoceros, que permitem visualizar mais de uma imagem termográfica no mesmo modelo.

Já tratando-se de dados numéricos, se o usuário tem por objetivo construir tabelas que façam relação entre os dados RGB e o valor de temperatura o mais indicado é o Rhinoceros. Mas, se o desejo do usuário é apenas relatar os valores de temperatura no modelo, o mais adequado é utilizar o *plugin* TableGen do Revit para que possa, por exemplo, exibir estes dados em uma prancha arquitetônica.

Desta forma, fica claro que não há um software melhor do que o outro, ao passo que a melhor decisão sobre qual deles utilizar depende de qual produto o usuário necessita.

A tabela 2 resume de uma forma lúdica e simplificada as vantagens e desvantagens descritas acima sobre cada modo de integração utilizados.

Tabela 2: Análise comparativa entre os modos de integração utilizados

Vantagem ou Desvantagem	Revit		Plugin TableGen	Navisworks Manage	Rhinoceros	
	Decalque	Material		Time Liner	Extração de dados RGB	Linha do Tempo
Permite a visualização de termogramas no modelo (análise qualitativa)	✓	✓		✓		✓
Permite a visualização de dados numéricos do termograma (análise quantitativa)			✓		✓	
Permite realizar análises ao longo do tempo (sequencialmente)				✓		✓
Permite realizar análise qualitativa e quantitativa simultaneamente						✓
Ocorre perda de informação quando inserido mais de um termograma	✗	✗				
Exige demasiado processamento computacional						✗

8. Conclusões

8.1 Considerações finais

A incorporação da informação qualitativa e quantitativa de uma, ou várias, imagens térmicas nos modelos BIM é uma área de investigação que, embora apresente um enorme potencial, ainda se encontra muito pouco explorada. Juntar estas duas temáticas pode constituir um importante contributo em áreas como manutenção, a inspeção e a avaliação do estado de conservação de edifícios. Este trabalho pretende constituir um primeiro passo na procura de caminhos que permitam tirar proveito da informação contida nas imagens térmicas através da sua incorporação em modelos BIM.

A investigação realizada permitiu que há um grande potencial de exploração na integração das imagens termográficas nas ferramentas de tecnologia BIM estudadas. No decorrer da revisão da literatura foram identificadas várias possibilidades de incorporação da imagens, tirando partido de diferentes programas disponíveis atualmente no mercado. No entendo, verificou-se que algumas destas ferramentas demonstraram mais vantagens do que outras.

No que se refere ao Revit, o programa com maior implantação no mercado, as ferramentas “decalque” e “material” demonstraram potencial para uma análise qualitativa das imagens térmicas em modelos BIM, contudo apresentaram limitações em três pontos específicos. O primeiro refere-se à dificuldade de visualização em forma sequencial das imagens termográficas (como para uma análise ao longo do decorrer de um dia, por exemplo); o segundo corresponde à dificuldade de posicionamento dos decalques e materiais em estruturas com aberturas (ou irregulares); o terceiro, está relacionado com a impossibilidade de realizar análises quantitativas, pelo menos de forma direta, ou seja,

que permitam também o acesso a informações sobre a temperatura superficial do elemento em estudo.

Relativamente a análises quantitativas, o *plugin TableGen* apresenta algumas possibilidades, porém ainda de maneira muito simplista. Isto é, consegue-se inserir os dados de temperatura associados a cada ponto da imagem termográfica, contudo, por estes dados serem importados como imagens, legendas ou tabelas, a sua manipulação não é direta e imediata.

Genericamente, fica evidente que o Revit é uma ferramenta com algumas possibilidades, de implementação relativamente simples, para o acesso a informações qualitativas das imagens térmicas; quanto dos dados quantitativos, é necessário aprofundar na pesquisa, eventualmente tirando partido das potencialidades de programação em ambiente *Dynamo Studio*.

No que se refere ao Navisworks Manage, o software revelou-se excepcional para a avaliação qualitativa e sequencial de imagens térmicas. Ao contrário do que acontece com o Revit, com este programa é possível criar uma linha do tempo abrindo a possibilidade de realização de uma análise ao longo de um período de tempo, por exemplo. No entanto, apesar desta ser uma característica vantajosa em relação às ferramentas apresentadas pelo Revit, o programa Autodesk Navisworks Manage exige algum trabalho prévio de preparação para realizar essa função. Ou seja, caso seja necessário realizar uma análise extensa, de um longo período de tempo que contenha muitas imagens termográficas, com certeza se obterá um resultado satisfatório, contudo será preciso desempenhar um trabalho, que embora simples, será muito repetitivo e pouco eficiente. Adicionalmente, nestes casos o resultado final pode ser um ficheiro de vídeo de grandes dimensões, o que pode condicionar a sua edição e manipulação.

Por fim, o Rhinoceros foi o programa que demonstrou maior eficiência na integração de imagens termográficas em programas com metodologia BIM. A partir deste programa foi possível realizar simultaneamente as análises qualitativa e quantitativa das imagens termográficas. A maior dificuldade para o uso desta ferramenta é que exige um equipamento informático com grande capacidade de processamento, o que implica um investimento financeiro importante para o usuário.

8.2 Trabalhos futuros

Na sequência do presente trabalho seria interessante realizar algumas das seguintes oportunidades para trabalhos futuros:

- Verificar a possibilidade de utilização da ferramenta “Fases”, do Revit. No que refere-se a especificação das fases de um projeto, apresentando filtros de fase e

gráficos que representam as fases construtivas. Logicamente, os filtros adotados deverão ser imagens termográficas;

- Verificar a possibilidade de uso do Dynamo Studio, para realizar a junção dos dados numéricos, obtidos pelo plugin TableGen, às faces do modelo ou, ainda, na face da imagem termográfica inserida na superfície do modelo através das demais ferramentas (Decalque e Material);
- Analisar a possibilidade de construção da animação no Navisworks Manage utilizando a opção “Temporary” dentro da ferramenta Time Liner, para reduzir o trabalho repetitivo exigido no desenvolvimento da animação;
- Verificar a possibilidade de automatizar a visualização de várias sequências de imagens simultaneamente, no Rhinoceros, como de um ambiente fechado, por exemplo, a fim de analisar mais de uma parede ao mesmo tempo;
- Verificar a possibilidade de visualização de imagens termográficas em elementos com aberturas, no Rhinoceros.

REFERÊNCIAS

AL-ASHMORI, Yasser Yahya et al. BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Jornal de Engenharia*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1013-1019, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447920300344#b0020>. Acesso em: 13 set. 2020.

ALBCOSGON. **Energia do sol e radiação eletromagnética**. 2014. Disponível em: <https://albcosgon.files.wordpress.com/2014/09/rev-u1f-10c2ba-ano.pdf> Acesso em: 13 set. 2020.

ALTOÉ, Leandra; OLIVEIRA FILHO, Delly. **Termografia Infravermelha Aplicada à Inspeção de Edifícios**. *Acta Tecnológica*, São Luís, v. 7, n. 1, p. 55-59, jan. 2012.

BARREIRA, Eva S. B. M.; Almeida, R.M.S.F.; Simões, M. L., “Emissividade de Materiais de Construção para Medições de Infravermelho”, *Sensors*, 21(6), 1961, 2021. Doi: 10.3390/s21061961. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/6/1961>.

BARREIRA, Eva Sofia Botelho Machado. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.

BAUER, E et al.. **Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios**. In: Iº ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE DEGRADAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, 2014, p. 619-630, Salvador. Disponível em: <http://www.termonautas.com.br/artigos/168/168.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

CARREIRÓ, Daniel Cardeal. **Aplicação da metodologia BIM a um caso de estudo através do software Navisworks**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. Dissertação de mestrado. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/8691/1/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

FARIAS, Julio Cesar. **O que é o Grasshopper?** 2020. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-o-grasshopper/>. Acesso em: 14 maio 2020.

FARIAS, Julio Cesar. **O que é rhinoceros 3D?** 2020. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-rhinoceros-3d/>. Acesso em: 14 maio. 2020.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. ed. rev. [S. l.]: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2014. 1024 p. ISBN 978-8521615842.

GARIBALDI, Bárbara C. B. et al.. Do 3D ao 7D – Entenda todas as dimensões do BIM. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/dimensoes-do-bim/>. Acesso em: 13 set. 2020.

GAUSSORGUES, G. **Infrared Thermography**. Berlin: Springer, 1994. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/389728495/Microwave-Technology-Series-5-G-aussorgues-auth-Infrared-Thermography-Springer-Netherlands-1994>. Acesso em 13 de set. 2020.

GHAFFARIANHOSEINI, Ali et al.. **Building Information Modelling (BIM) uptake: clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges Renew**. Avaliações de Energia Renovável e Sustentável, [S.L.], v. 75, p. 1046-1053, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>.

ISHIBARO, Willian. **Análise da transição do uso de software CAD à plataforma BIM**. 2015. 86 f. TCC - (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

JUSTI, Alexander Rodrigues. Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros: relato de uma experiência. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 140-152, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268345847.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

KOUTAMANIS, Alexander. **Dimensionality in BIM: why bim cannot have more than four dimensions?** Construção e Automação, [S.L.], v. 114, p. 103153, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103153>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314426>. Acesso em: 13 set. 2020.

KYLILI, Angeliki et al.. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: a review. **Applied Energy**, [S.L.], v. 134, p. 531-549, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914008083>. Acesso em: 13 set. 2020.

LAGÜELA, S. et al.. Non-destructive approach for the generation and thermal characterization of an as-built BIM. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 51, p. 55-61, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813010428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2020.

LIMA, Calor R. A.. **Tópicos de Laboratório de Física Moderna**. Juiz de Fora - Mg, 2013. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

LINO, C. José; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. **Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas**. In: ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL, 2016, Porto. BE2012. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto - Universidade do Porto, 2016. p. 1-10. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

LOPES, João D. O.. **Utilização da metodologia BIM no apoio à reabilitação funcional de um edifício**. 2017. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

MARINS, Antônio O. P. M., MELO, Rômulo A. da S., ANDRETTI, Gabriel F.. 2012. **“Termografia na inspeção preditiva”**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, 95-99, 2012. Acesso em: 13 de set. 2020.

MOREIRA, Rafael A. D. e Ribeiro, Sidnea E. C. **Transição do modo tradicional de construção para o BIM em algumas regiões do Brasil**. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 7, dez. 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/3954>. Acesso em: 13 set. 2020.

NATEPHRA, Worawan et al.. **Building envelope thermal performance analysis using BIM-Based 4D thermal information visualization**. Osaka, Japan. Proceedings of the ICCCB 2016 (2016), pp. 1539-1546

NATEPHRA, Worawan et al.. Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. **Building And Environment**, [S.L.], v. 124, p. 194-208, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.004>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317303499>. Acesso em: 13 set. 2020.

NICOLAY, Matheus. **Dica SolidWorks: Montagem Parafuso**. Disponível em: <http://areaprojetista.blogspot.com/2014/02/dica-solidworks-montagem-parafuso.html>. Acesso em: 13 set. 2020.

ORAAE, Mehran et al.. **Collaboration barriers in BIM-based construction networks: a conceptual model**. *International Journal Of Project Management*, [S.L.], v. 37, n. 6, p. 839-854, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026378631830187X>. Acesso em: 13 set. 2020.

Organização Internacional para Padronização. **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Genebra, Suíça, 2005.

PROCONCEPT. **A História e a Evolução do Software CAD**. 2018. Disponível em: <https://www.proconcept.com.br/2018/07/18/a-historia-do-software-cad/>. Acesso em: 13 setembro de 2020.

RAHEEM, Fahad. **AUTOCAD Experts**. 2004. Disponível em: <https://www.aexperts.pk/teachers/fahad-raheem/>. Acesso em: 13 set. 2020.

Teledyne FLIR LLC. **FLIR – The World'S Sixth**. 2021. Disponível em: <https://www.flir.com.br/about/about-flir/>. Acesso em: 13 set. 2020.

SOARES, Tânia Cristina Rodrigues. **Termografia na avaliação do desempenho higrotérmico de edifícios - análises de sensibilidade**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção e Reabilitação, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/2521>. Acesso em: 13 set. 2020.

Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado. **ANSI/ASHRAE Standard 55 — Thermal environmental conditions for human occupancy**, ASHRAE Inc., 2004, Atlanta.

SOUSA, Ana et al.. **Discussão sobre o potencial da metodologia BIM na inspeção e diagnóstico de edifícios**. In: 3º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 3., 2020, Porto. **Congresso**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020. p. 603-611. Disponível em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/132275/2/439438.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

THOMASSEN, Mats. **BIM & Collaboration in the AEC Industry**. Aalborg: Universidade de Aalborg, 2011. Disponível em: https://www.biminstitute.org.za/wp-content/uploads/2015/10/BIM_Collaboration_in_the_AEC_Industry_by_Mats_Thomassen.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

WANG, C., Cho, Y.K. & Gai, M. (2013). As-Is 3D Thermal Modeling for Existing Building Envelopes Using a Hybrid LIDAR System. *Journal of Computing in Civil Engineering*. **Jornal da Informática na Engenharia Civil**, 27(6), pp.645–656.

ZHANG, Sherong et al.. **Integrating and managing BIM in 3D web-based GIS for hydraulic and hydropower engineering projects**. *Automation In Construction*, [S.L.], v. 112, p. 103114, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103114>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518306824>. Acesso em: 13 set. 2020.

