

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA COM RECURSO AO BIM PARA ESCOLHA DE ESTRATÉGIAS DE REABILITAÇÃO (BAIRRO DE LORDELO DO OURO-PORTO)

THAIS GUIMARÃES PRATA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientadora: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães Teixeira

Coorientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Mestrado em
Projeto Integrado
na Construção
de Edifícios



JUNHO DE 2022

MESTRADO EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ mprince@fe.up.pt

🌐 <https://www.mprince.net>

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <https://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios – 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, Família e Amigos.

“Coragem é preparo e não mera disposição eufórica”

Mario Sergio Cortella

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Professora Doutora Ana Sofia Guimarães por ter aceitado o convite em orientar essa dissertação, pela sua disponibilidade, conhecimento, incentivo e apoio que foram importantes para a elaboração deste trabalho.

Ao meu coorientador, Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins, pelas sua disponibilidade e orientação que foram importantes para a elaboração deste trabalho, principalmente na área do BIM.

Aos meus pais, minha família e aos meus amigos, pelo carinho e apoio de sempre.

Em especial a Raimundo Barros, por todo suporte e motivação. E a Bruna Onety, pela amizade e disponibilidade em responder dúvidas relacionadas ao software utilizado no trabalho que foi desenvolvido.

RESUMO

Os edifícios de habitação social em Portugal, devido ao reduzido consumo energético evidenciados por parte dos utilizadores, são um caso particular no contexto dos edifícios residenciais a reabilitar. As estratégias de reabilitação que devem ser adotadas em projetos deste tipo, devem centrar-se em garantir o conforto térmico com soluções passivas para atender as necessidades de uma moradia digna às famílias que não dispõe de condições financeiras para aquecer ou arrefecer o ambiente com a utilização da energia elétrica. Portanto, as tecnologias construtivas contemporâneas têm centrado esforços na projeção de edifícios cada vez mais independentes em termos energéticos.

A dissertação desenvolvida pretende antecipar a avaliação do impacto energético de uma proposta de reabilitação passiva, através da integração de um modelo criado do edifício existente em um ambiente BIM (*Building Information Modeling*) e posteriormente exportado para um ambiente BEM (*Building Energy Modeling*) possibilitando assim a simulação para prever o impacto da proposta e definir a melhor estratégias de reabilitação passiva a ser adotado para um edifício. Para a simulação e análise dinâmica das estratégias será utilizado o Energy Plus através da interface de utilização do software DesignBuilder.

Sendo assim, o trabalho desenvolvido tem alguns objetivos: explorar as técnicas de coleta de informações de edificações existentes, aplicar uma técnica simples e de baixo custo para realizar o levantamento fotogramétrico do estudo de caso para a edificação a ser explorada (e obter uma nuvem de pontos a partir deste levantamento), modelar a edificação em ambiente BIM (usando a nuvem de pontos obtida como base para criação do modelo), exportar o modelo da edificação para um ambiente BEM e, por fim, simular e analisar o impacto de propostas de soluções passivas na envoltória, cobertura e envidraçados do edifício de habitação social em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Reabilitação, Simulação energética, BIM, Habitação Social, BEM.

ABSTRACT

The social housing buildings in Portugal, due to the low energy consumption evidenced by users, are a particular case in the context of residential buildings to be rehabilitated. The rehabilitation strategies that must be adopted in projects of this type must focus on guarantee thermal comfort with passive solutions to meet the needs of decent housing for families that do not have the financial means to heat or cool the environment with the use of electrical energy. Therefore, contemporary building technologies have focused efforts on the design of increasingly energy-independent buildings.

The dissertation developed intends to anticipate the assessment of the energy impact of a passive rehabilitation proposal, through the integration of a model created from the existing building in a BIM (*Building Information Modeling*) environment and later exported to a BEM (*Building Energy Modeling*) environment, thus enabling the simulation to predict the impact of the proposal and define the best passive rehabilitation strategies to be adopted for a building. For the simulation and dynamic analysis of the strategies, Energy Plus will be used through the software DesignBuilder user interface.

Therefore, the work developed has some objectives: to explore the techniques for collecting information from existing buildings, to apply a simple and low-cost technique to carry out the photogrammetric survey of the case study for the building to be explored (and to obtain a point cloud from this survey), model the building in a BIM environment (using the point cloud obtained as a basis for creating the model), export the building model to a BEM environment and, finally, simulate and analyze the impact of proposed solutions passive in the envelope, roof and glazing of the social housing building under study.

KEYWORDS: Rehabilitation, Energy Simulation, BIM, Social Housing, BEM.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	1
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO	3
2.2. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO EM PORTUGAL.....	4
2.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO PATRIMÔNIO SOCIAL	6
2.4. A REABILITAÇÃO NO CONTEXTO DA HABITAÇÃO SOCIAL	7
2.4.1. POBREZA ENERGÉTICA.....	10
2.4.2. ÍNDICE DE DESCONFORTO TÉRMICO	11
2.5. BIM COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO	12
2.5.1. ENQUADRAMENTO BIM.....	12
2.5.2. LEVANTAMENTO DA INFORMAÇÃO – LASER SCANNER E FOTOGRAMETRIA.....	13
2.5.3. BIM AO BEM (BUILDING ENERGY MODELLING).....	14
3. TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO E CRIAÇÃO DO MODELO BIM AO BEM	17
3.1. ENQUADRAMENTO	17
3.2. TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO	19
3.2.1. LEVANTAMENTO COM LASER SCANNER	19
3.2.2. LEVANTAMENTO COM DRONE (FOTOGRAMETRIA AÉREA)	20
3.2.3. LEVANTAMENTO COM CÂMERA (FOTOGRAMETRIA TERRESTRE)	25
3.2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO	27
3.3. LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DO CASO DE ESTUDO	28
3.4. INTEGRAÇÃO E MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO EM AMBIENTE BIM	31
3.4.1. IMPORTAÇÃO PARA O AUTODESK REVIT	32
3.4.2. MODELAÇÃO EM AMBIENTE BIM 3D – AUTODESK REVIT	34
3.5. IMPORTAÇÃO DO MODELO PARA UM AMBIENTE BEM – DESIGNBUILDER	41
4. CASO DE ESTUDO	44

4.1. OBJETIVOS	44
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO EDIFÍCIO EM ESTUDO	44
4.2.1. ENQUADRAMENTO	44
4.2.2. FASE 1 (1978) – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PRÉ-REABILITAÇÃO	45
4.2.3. FASE 2 (2011) – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PÓS-REABILITAÇÃO	47
4.2.4. FASE 3 – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PROPOSTA PARA UMA REABILITAÇÃO	50
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO NO DESIGNBUILDER	53
4.3.1. ENQUADRAMENTO	53
4.3.2. BREVE EXPLICAÇÃO DO DESIGNBUILDER	53
4.3.3. INTRODUÇÃO DE DADOS NO PROGRAMA.....	56
4.3.3.1. GEOMETRIA, LOCALIZAÇÃO E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DO EDIFÍCIO.....	57
4.3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ABERTURAS E ILUMINAÇÃO.....	60
4.3.3.3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AVAC	63
4.3.4. CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO	65
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
5.1. ENQUADRAMENTO	67
5.2. ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PROPOSTAS.....	68
5.2.1. INTRODUÇÃO	68
5.2.2. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA AS PAREDES EXTERIORES.....	68
5.2.3. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA A COBERTURA.....	71
5.2.4. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA OS ENVIDRAÇADOS.....	74
5.2.5. IMPACTO DAS PROPOSTAS EM CONJUNTO.....	76
5.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS.....	78
6. CONCLUSÕES	81
6.1. CONCLUSÕES FINAIS.....	81
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS.....	89
ANEXO A1	91
GUIÃO DO UTILIZADOR.....	91
A.1 ENQUADRAMENTO.....	91
A.2 VISÃO GERAL DO PROCESSO – DIAGRAMAÇÃO.....	91
A.3 DESENVOLVIMENTO.....	93
A.3.1 ETAPA 1 - FOTOGRAMETRIA.....	93
A.3.2 ETAPA 2 – AGISOFT METASHAPE	94

A.3.3 ETAPA 3 – AUTODESK RECAP	96
A.3.4 ETAPA 4 – AUTODESK REVIT	99
A.3.5 ETAPA 5 – DESIGNBUILDER	109
CONCLUSÕES	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Retirado do Censo provisório 2021 (última atualização 16 de dezembro de 2021).....	3
Figura 2 - Proporção dos edifícios clássicos por tipo de material (adaptado do Censo 2011).....	5
Figura 3 - Casa burguesa do Porto (Adaptado de [10]).....	6
Figura 4 - Nº de Famílias a realojar por tipologia urbana (Adaptado de [5]).....	8
Figura 5 - Bairro de Bessa Leite (Foto de autoria própria - Capturada em 02/03/2022).....	8
Figura 6 - Bairro de Bessa Leite (Foto retirada do Google Street View, Captura de Imagem em Março/2022).....	9
Figura 7 - Bairro de Bessa Leite (Foto retirada do Google Street View, Captura de Imagem em Março/2022).....	9
Figura 8 - Consumo de energia final por setor (Adaptado de [16]).....	11
Figura 9 - Criação do modelo BIM de um Edifício Existente - (Adaptado [19]).	13
Figura 10 - Técnicas de levantamento do existente - (Adaptado de [19]).	13
Figura 11 - Resumo da Metodologia BIM-ao-BEM (Autoria Própria, 2022)	16
Figura 12 - Fluxo da metodologia proposta	18
Figura 13 - Exemplo de um TLS (Imagem do Google)	19
Figura 14 - Exemplos de LS LiDAR (ALS - Airborne Laser Scanning).....	19
Figura 15 - Mapa interativo com zonas de voo (Disponível no site da ANAC).....	21
Figura 16 - Mapa de consulta da ANAC para área de voo	21
Figura 17 - Categoria específica para drones.....	23
Figura 18 - Categorias da certificação necessária para pilotar drone	23
Figura 19 - Sobreposição das imagens capturadas pelo drone	25
Figura 20 - Distância de posicionamento da câmara.....	26
Figura 21 - Posicionamento para fotogrametria de um objeto.....	26
Figura 22 - Propriedades da Câmera utilizado para levantamento	28
Figura 23 - Structure-from-Motion (SfM) technique, adaptado de [41]	29
Figura 24 - Movimento de captura das fotos, adaptado de [43]	29
Figura 25 – Sequência de Fotos iniciais do levantamento fotogramétrico realizado	30
Figura 26 - Workflow Agisoft Metashape - Adicionar e alinhar fotos	30
Figura 27 - Tie Points Agisoft Metashape	30
Figura 28 - Workflow Agisoft Metashape - Criar nuvem de pontos densa.....	31
Figura 29 - Nuvem de pontos densa do edifício em estudo.....	31
Figura 30 - Nuvem de Pontos Densa no Autodesk Recap	32
Figura 31 - Nuvem de pontos do Edifício em estudo após a limpeza.....	33
Figura 32 - Exportação da Nuvem de pontos limpa em Formato .rcs	33
Figura 33 - Nuvem de pontos na vista 3D do Revit	34
Figura 34 - Níveis dos pavimentos inseridos	35
Figura 35 - Modelagem com nuvem de pontos como referência.....	36
Figura 36 - Inserindo a localização do terreno no Revit	37
Figura 37 - Delimitação de Ambientes	37
Figura 38 - Visualização dos Ambientes no Revit.....	38
Figura 39 - Edifício Existente x Modelo em BIM (vista traseira)	39
Figura 40 - Edifício Existente x Modelo em BIM (vista frontal)	40
Figura 41 - Inserindo Propriedades Térmica dos Materiais de construção	41
Figura 42 - Configurações de Energia no Revit.....	42
Figura 43 - Visualização finalizada no DB	43

Figura 44 - Bairro de Lordelo do Ouro	44
Figura 45 - Edifício na fase 1: Pré-reabilitação	46
Figura 46 - Edifício na fase 2: Pós-reabilitação	48
Figura 47 - Metodologia utilizada para simulação das propostas.....	52
Figura 48 - Interface DesignBuilder.....	53
Figura 49 - Definição do Activity Template no DB	57
Figura 50 - Tipologias do Edifício 13 considerada para Estudo.....	57
Figura 51 - "Residencial Occ" - Schedule de ocupação no DB	58
Figura 52 - Representação das Tipologias com numeração de referência no DB	59
Figura 53 - Configuração das temperaturas no DB	59
Figura 54 - Caudal Mínimo exigido pelo RSECE para residência	60
Figura 55 - Definição da Infiltração de ar no DesignBuilder	60
Figura 56 - Schedule de abertura das janelas no DB	60
Figura 57 - Schedule para abertura da Caixa de Store no DesignBuilder.....	61
Figura 58 - Simulação da incidência solar no DB (Fundo do edifício 13)	61
Figura 59 - Simulação da incidência solar no DB (Frente do edifício 13).....	62
Figura 60 - Template utilizado para iluminação do edifício 13 no DB	62
Figura 61 - Schedule utilizado para Iluminação no DB	63
Figura 62 - Schedule do sistema de aquecimento no DB.....	64
Figura 63 - Schedule do sistema de arrefecimento no DB	65
Figura 64 - Opções para simulação dos resultados no DB.	66
Figura 65 - Gráfico comparativo da necessidade energética do modelo atual x P1.3	69
Figura 66 - Gráfico da perda de calor através das paredes da envolvente do modelo atual x P1.3....	70
Figura 67 - Temperaturas internas das habitações no modelo atual.....	70
Figura 68 – Necessidade de Energia para a comparação entre o Modelo Atual x Proposta 1.3	71
Figura 69 - Gráfico comparativa da necessidade energética do modelo atual x P2.1	72
Figura 70 - Gráfico da perda de calor através da cobertura do modelo atual x P2.1	73
Figura 71 – Necessidade de Energia para a comparação entre o Modelo Atual x Prop.cob. s/ isolamento	74
Figura 72 - Gráfico comparativa da necessidade energética do modelo atual x P3.2	75
Figura 73 - Gráfico da perda de calor através do envidraçado do modelo atual x P3.2.....	76
Figura 74 - Gráfico da perda de calor em conjunto (envidraçados e envolvente) do modelo atual x P4.3	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de Edifícios por necessidade de reabilitação (Fonte INE - Censo 2011).....	5
Tabela 2 - Níveis de desenvolvimento BIM (Adaptado de [27]).....	15
Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens de cada técnica	27
Tabela 4 - Composição dos diferentes elementos da Fase 1.....	45
Tabela 5 - Composição dos diferentes elementos da Fase 2.....	47
Tabela 6 - Quadro comparativo do pré e pós reabilitação.....	48
Tabela 7 - Caracterização construtivas das propostas de reabilitação para Fase 3.....	50
Tabela 8 - Descrição das abas de ferramentas no DesignBuilder.....	54
Tabela 9 - Tipologias e nº de moradores	58
Tabela 10 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções da Envolvente.....	69
Tabela 11 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções da Cobertura	72
Tabela 12 - Resultados da comparação entre cobertura sem o Isolamento e a cobertura do modelo atual.....	73
Tabela 13 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções de Caixilharias.....	75
Tabela 14 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções combinadas	77
Tabela 15 - Análise dos melhores resultados propostos	77
Tabela 16 - Benefício do Isolamento da Envolvente x Cobertura.....	79

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A reabilitação dos edifícios de habitação social devem ser encaradas como um processo de compatibilização de várias condicionantes, designadamente as relacionadas com a eficiência energética do edifício, conforto térmico, custo global do investimento durante o seu período de vida útil e com a durabilidade das soluções adotadas [1].

O presente trabalho visa realizar uma análise de desempenho energético utilizando como caso de estudo o conjunto de habitação social do Bairro de Lordelo, situado na freguesia de Lordelo do Ouro e Massarelos – Porto, que foi construído em 1978 (antes da entrada em vigor da primeira regulamentação dos requisitos térmicos para edifícios em Portugal RCCTE de 1990) e reabilitado em 2011. A reabilitação do conjunto habitacional teve como principal objetivo a resolução dos problemas existentes, compatibilizando exigências como: o conforto higrotérmico, a conservação de energia, a durabilidade e a funcionalidade das soluções, recuperando a coerência construtiva dos edifícios e adaptando a construção às exigências e padrões mais atuais para o conforto dos ocupantes.

Como parte inovadora, será aplicada a metodologia do BIM (do inglês *Building Information Modeling*) ao BEM (do inglês *Building Energy Modeling*) com o objetivo de facilitar o levantamento das informações e a modelagem de um edifício existente, para posteriormente realizar a análise de desempenho energético deste edifício, de maneira a analisar as vantagens desta abordagem na identificação dos melhores cenários de reabilitação energética, permitindo rápidas realizações de simulações e comparações entre as possíveis soluções a adotar, auxiliando assim na tomada de decisão em um possível projeto de reabilitação.

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

A Tese desenvolvida tem como objetivo analisar e definir a melhor estratégia de reabilitação passiva para um edifício de habitação social, com o intuito de avaliar a necessidade energética do edifício para que este se mantenha em uma temperatura de conforto térmico aceitável. O conjunto de habitação social utilizado como Caso de Estudo foi reabilitado em 2011. A nível de avaliar qual o impacto energético que uma proposta de solução passiva (adicional a essas que já foram adotadas em 2011 durante a reabilitação) traria ao edifício, foi desenvolvida toda a metodologia que será exposta nessa tese, buscando obter desde o levantamento das informações do edifício existente até a análise dos resultados.

Primeiramente, foi disposta uma visão geral de como se encontram as necessidades dos edifícios a reabilitar em Portugal e a necessidade de reabilitação para habitações sociais, visando ter uma idéia geral do impacto que o estudo desenvolvido pode trazer, levando em consideração as necessidades atuais do País.

Em seguida, com o objetivo de implementar essa análise utilizando proveitos da metodologia do BIM-ao-BEM, foi desenvolvido nessa dissertação todo o fluxo necessário para que seja possível realizar o

levantamento das informações do edifício existente (utilizado como caso de estudo) até que este levantamento passe por etapas de fotogrametria, nuvem de pontos, modelagem do edifício em ambiente BIM, exportação do modelo para o ambiente BEM, chegando ao resultado final no software DesignBuilder, para posterior análise e simulação das propostas de soluções passivas. Com o intuito de valorizar a metodologia aplicada/desenvolvida e auxiliar futuros projetistas/utilizadores, foi caracterizado todo o processo necessário para o levantamento e execução do modelo BIM ao BEM criado na presente tese, de forma detalhada, no Guião do Utilizador, Anexo A.1.

Uma vez que todo esse processo de levantamento do existente até a finalização do modelo do edifício em 3D tenha sido concluída e configurada no software BEM, serão realizadas algumas análises críticas com possíveis soluções de reabilitação adicionais, com o intuito de analisar o contributo das soluções passivas isoladas e em conjunto.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos:

No capítulo 1 é feito o enquadramento do tema, definem-se os objetivos a atingir e descreve-se a organização da estrutura da tese.

No capítulo 2 apresenta-se o estado da arte que suporta o trabalho desenvolvido, tais como: avaliação das necessidades de reabilitação em Portugal, caracterização das habitações sociais, visão geral sobre a pobreza energética, índice de desconforto e o enquadramento do BIM-ao-BEM como ferramenta de apoio à decisão.

No capítulo 3 será exposto as principais técnicas de levantamento fotogramétricos existentes com uma análise comparativa final, e a aplicação da técnica escolhida para levantamento do edifício que será utilizado como caso de estudo para essa tese. Posteriormente, com o levantamento da informação finalizado será demonstrado o passo a passo para criação do modelo do edifício em um ambiente BIM (utilizando o software REVIT) e em seguida exportado para um ambiente BEM (utilizando o software DesignBuilder).

No capítulo 4 é feita a descrição do caso de estudo, que consiste no conjunto habitacional do Bairro de Lordelo, localizado no Porto. São apresentados a caracterização das fases do edifício pré e pós reabilitação, e proposta uma fase 3 com a caracterização de algumas soluções passivas que poderiam ser sugeridas em uma reabilitação. Posteriormente, é efetuada a simulação energética do modelo atual do edifício, sendo descrita como foi desenvolvida a inserção de alguns parâmetros existentes, nomeadamente a geometria, os elementos construtivos, os ganhos internos, sistema AVAC e a ventilação.

No capítulo 5 é analisado os resultados das simulações propostas na fase 3, com o intuito de perceber o impacto de cada uma das soluções passiva traria ao edifício e os seus ganhos a nível de necessidade energética para manter o conforto térmico da habitação.

No capítulo 6 referem-se as conclusões gerais tiradas ao longo desta dissertação.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO

A reabilitação de um edifício nada mais é do que a execução de um conjunto de obras com a finalidade de adequar e melhorar seu desempenho funcional, mantendo o esquema estrutural básico e o aspecto exterior original. A reabilitação de edifícios foi entendida como a realização de intervenções com vista a proporcionar desempenho compatível com as exigências atuais, podendo incluir intervenções de reparação das anomalias para melhoria do nível de desempenho ou para satisfazer novas exigências funcionais decorrentes de novos usos [2].

Em 2012, Portugal apresentava um crescimento do parque habitacional baseado na construção nova, sendo que o peso da reabilitação no setor da construção, no que se refere ao volume de produção, só representava 8%, percentagem reduzida quando comparada com a média dos países da Europa, que era de 26% [2].

De acordo com os Resultados Provisórios dos Censos 2021, o número de edifícios destinados à habitação é de 3.573.416 e o de alojamentos de 5.981.485, valores que, face a 2011, representam um aumento de 0,8% e 1,7%, respetivamente (Figura 1). O crescimento do parque habitacional entre 2011 e 2021 é significativamente inferior ao verificado na década anterior, quando os valores se situavam na ordem dos 12% para edifícios e os 16% para alojamentos [3].

Edifícios (N.º) por Localização geográfica e Época de construção dos edifícios (antes 1919; 2011-2021); Decenal (1)									
Localização geográfica	Período de referência dos dados								
	2021								
	Época de construção dos edifícios (antes 1919; 2011-2021)								
	Total	Antes 1919	1919 - 1945	1946 - 1960	1961 - 1980	1981 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2021	
	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	
Portugal	3 573 416	174 204	277 567	375 354	967 181	1 138 816	529 510	110 784	
Continente	3 381 968	164 644	261 564	354 747	927 838	1 075 366	494 277	103 532	
Região Autónoma dos Açores	100 478	6 225	9 396	11 457	18 337	32 094	18 647	4 322	
Região Autónoma da Madeira	90 970	3 335	6 607	9 150	21 006	31 356	16 586	2 930	

Edifícios (N.º) por Localização geográfica e Época de construção dos edifícios (antes 1919; 2011-2021); Decenal - INE, Recenseamento da população e habitação - Censos 2021

Nota(s):

(1) Dados provisórios.

Figura 1 – Retirado do Censo provisório 2021 (última atualização 16 de dezembro de 2021)

Do total de edifícios existentes, a maioria foi construída já depois de 1960 (cerca de 69%). Contudo, cerca de 72% foram construídos antes do primeiro Regulamento de Térmica nacional, em 1990. Por esse motivo, existe ainda um enorme potencial de melhoria da envolvente térmica das habitações, apresentando a sua maioria fracas condições de conforto interiores [4].

A habitação é um elemento essencial da ocupação do território e do desenvolvimento dos aglomerados populacionais, assumindo um papel central na definição e na implementação de políticas sociais e marcando profundamente a qualidade de vida dos cidadãos. Uma parte do parque habitacional português apresenta um estado de conservação que impõe a realização de intervenções de reabilitação [2].

Nos últimos tempos importa referir a existência de alguns programas como sendo linhas de apoio de âmbito nacional para a reabilitação do património edificado, tais como:

- SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana - não disponibiliza qualquer apoio financeiro, constituindo sobretudo um enquadramento jurídico e institucional da intervenção pública municipal em matéria de reabilitação urbana [5];
- RECRIA - Regime Especial de Comparticipação na Recuperação de Imóveis Arrendados - um programa apenas vocacionado para a reabilitação de fogos arrendados em edifícios em propriedade vertical, que exclui o apoio à reabilitação em moradias;
- RECRIPH - Regime Especial de Comparticipação e Financiamento na Recuperação de Prédios Urbanos em Regime de Propriedade Horizontal – programa de apoio financeiro a obras em edifícios de propriedade horizontal, nos espaços comuns;
- REHABITA - Regime de Apoio à Recuperação Habitacional em Áreas Urbanas Antigas - distingue-se pela escala de intervenção, a nível urbanístico e pelo tipo de intervenção, a nível municipal;
- SOLARH - Programa de Solidariedade de Apoio à Recuperação de Habitação – apoio a pequenas obras de conservação em habitações de proprietários idosos e em agregados de fracos recursos. [6]

Estes programas de incentivo a recuperação/reabilitação do património edificado mostram uma reconhecida mudança no paradigma da construção, no entanto não são tão eficazes nos termos quantitativos quanto o desejado para podermos posicionar perante a média da união europeia na área da reabilitação e que ronda os cerca de 49,9% [5].

2.2. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO EM PORTUGAL

O presente estudo centra-se na necessidade de reabilitação de habitação social existente. Esta escolha deriva do enorme potencial de reabilitação associado a estes edifícios, fruto do grande volume de edifícios existentes por reabilitar e cujas condições de habitabilidade não se coadunam com as exigências atuais de conforto e salubridade.

A Tabela 1, apresentada abaixo, mostra a quantidade de edifícios segundo a época de construção por necessidade de reparação [7]. Através dessa tabela conseguimos constatar que os edifícios construídos “entre 1961 e 1990” são os que têm maiores necessidades de reparação. Se tivermos em conta as necessidades de reparação na estrutura do edifício constata-se que existem 3.544.389 edifícios a necessitar de reparação dos quais 66.061 carecem de reparações “muito grandes”. Por outro lado, à medida que o parque habitacional se torna mais recente as necessidades de reparação tornam-se menores. Ainda assim, é possível verificar que os edifícios construídos entre 1971-1980 necessitam de reparação ao nível de estrutura, cobertura, paredes e caixilharia. Estas situações decorrem do pouco respeito pelas normas construtivas, o que contribui para uma rápida degradação do parque habitacional mesmo quando construído em épocas recentes.

Tabela 1 – Quantidade de Edifícios por necessidade de reabilitação (Fonte INE - Censo 2011)

Zona Geográfica Necessidades de reparação	Época de construção										
	Total	Antes de 1919	1919- 1945	1946- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 1995	1996 - 2000	2001- 2005	2006- 2011
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Portugal	3.544.389,00	206.343,00	305.696,00	387.340,00	408.831,00	588.858,00	578.845,00	268.179,00	290.292,00	300.635,00	209.370,00
Na cobertura	3.544.389,00	206.343,00	305.696,00	387.340,00	408.831,00	588.858,00	578.845,00	268.179,00	290.292,00	300.635,00	209.370,00
Nenhumas	2.374.798,00	70.878,00	113.942,00	177.894,00	225.564,00	392.709,00	439.443,00	220.690,00	254.538,00	279.268,00	199.872,00
Pequenas	677.270,00	45.958,00	80.143,00	108.942,00	112.490,00	135.910,00	104.903,00	37.278,00	28.408,00	16.744,00	6.494,00
Médias	299.608,00	37.982,00	57.880,00	63.360,00	49.990,00	45.001,00	26.823,00	7.800,00	5.532,00	3.370,00	1.870,00
Grandes	122.384,00	26.103,00	32.992,00	25.844,00	15.410,00	11.507,00	5.774,00	1.826,00	1.297,00	886,00	745,00
Muito grandes	70.329,00	25.422,00	20.739,00	11.300,00	5.377,00	3.731,00	1.902,00	585,00	517,00	367,00	389,00
Na estrutura	3.544.389,00	206.343,00	305.696,00	387.340,00	408.831,00	588.858,00	578.845,00	268.179,00	290.292,00	300.635,00	209.370,00
Nenhumas	2.456.540,00	75.289,00	120.243,00	188.381,00	238.679,00	412.572,00	455.956,00	226.173,00	258.359,00	280.783,00	200.105,00
Pequenas	636.585,00	45.354,00	78.357,00	105.710,00	106.170,00	124.911,00	94.252,00	33.405,00	25.988,00	15.964,00	6.474,00
Médias	270.364,00	36.013,00	55.046,00	58.074,00	44.899,00	38.302,00	22.335,00	6.583,00	4.543,00	2.809,00	1.760,00
Grandes	114.839,00	25.301,00	32.225,00	24.518,00	14.108,00	9.918,00	4.761,00	1.551,00	1.003,00	771,00	683,00
Muito grandes	66.061,00	24.386,00	19.825,00	10.657,00	4.975,00	3.155,00	1.541,00	467,00	399,00	308,00	348,00
Nas paredes e caixilharia exteriores	3.544.389,00	206.343,00	305.696,00	387.340,00	408.831,00	588.858,00	578.845,00	268.179,00	290.292,00	300.635,00	209.370,00
Nenhumas	2.288.295,00	66.731,00	107.104,00	167.074,00	214.411,00	379.087,00	424.608,00	213.362,00	246.958,00	272.672,00	196.288,00
Pequenas	721.313,00	45.695,00	79.146,00	111.523,00	116.903,00	144.035,00	115.503,00	42.736,00	34.416,00	22.199,00	9.157,00
Médias	324.843,00	39.394,00	60.701,00	67.489,00	54.334,00	49.365,00	30.281,00	9.487,00	6.912,00	4.302,00	2.578,00
Grandes	133.864,00	27.751,00	35.945,00	28.727,00	17.204,00	12.424,00	6.439,00	1.967,00	1.468,00	1.045,00	894,00
Muito grandes	76.074,00	26.772,00	22.800,00	12.527,00	5.979,00	3.947,00	2.014,00	627,00	538,00	417,00	453,00

Os edifícios existentes estão naturalmente sujeitos a degradação com o curso do tempo seja pela ação de intempéries ou pelo desgaste na utilização. Dessa forma, é preciso um esforço para mantê-los aptos às condições mínimas requeridas para os quais foram construídos. Os edifícios construídos a partir de 1971 constituem 63,1% dos edifícios pertencentes ao parque habitacional português em 2011, sendo a maioria deles datados entre 1971 e 1980. Relativamente aos materiais utilizados na construção, em 2011, a maior parte dos edifícios tinha betão armado estrutura ou paredes de alvenaria com piso de concreto (48% e 32%, respectivamente). No que diz respeito ao revestimento exterior das paredes, a grande maioria tinha reboco tradicional, mármore ou betão aparente (84%). Finalmente, no que diz respeito ao telhado, os telhados inclinados foram o tipo predominante (95%), conforme apresentado na Figura 2 [7].

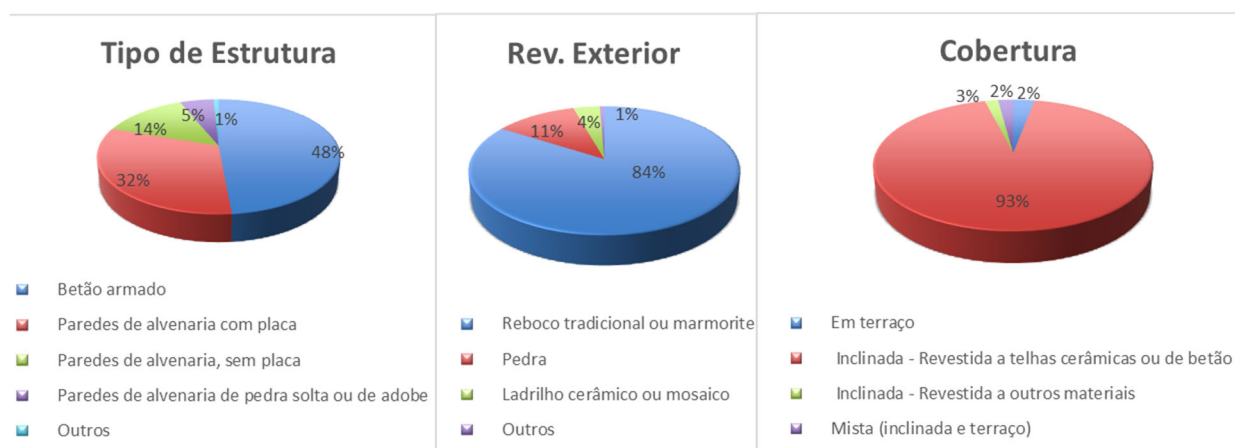


Figura 2 - Proporção dos edifícios clássicos por tipo de material (adaptado do Censo 2011)

2.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO PATRIMÔNIO SOCIAL

A caracterização construtiva e estrutural dos edifícios é uma etapa primordial, pois, permite compreender quais os materiais constituintes do tipo de construção, as técnicas implementadas e o comportamento estrutural dos elementos.

Após anos de falta de manutenção, o elevado nível de degradação a que chegaram grande parte dos núcleos urbanos antigos portugueses representa uma ameaça não só para o parque edificado mas também para todo um património imaterial de relações sociais, hábitos, costumes e tradições. Estas zonas constituem efectivamente um património que interessa proteger e potenciar, tanto por meio da revitalização social como da recuperação e reabilitação do edificado. Entende-se que a tecnologia construtiva que os sustenta, diferente da que tem vindo a ser utilizada em décadas mais recentes, requer conhecimentos, abordagens e metodologias específicas, sob pena de, por meio de intervenções pouco informadas, se comprometer a autenticidade histórica e a segurança estrutural deste património [7].

Ao longo dos séculos é possível observar que os padrões na construção de edifícios permaneceram o mesmo, centrados no uso de um reduzido número de materiais predominantemente naturais e pouco transformados, sendo esses basicamente a madeira, a pedra, a cal e o vidro.

Para além dos materiais predominantes, também o desenvolvimento em altura e a correspondente distribuição funcional ajudam a estabelecer um esquema conceptual de tipificação da arquitectura corrente, válido pelo menos em meio rural. Assim, se no Norte predominam as construções de dois pisos (Figura 3), com o superior destinado a habitação, sendo o granito e o xisto os tipos de pedra mais frequentes, geralmente à vista, mais a Sul, a escassez de pedra e a boa qualidade da terra desta zona conduziram à proliferação de construções em adobe e taipa, não associadas a grandes desenvolvimentos em altura, e geralmente caiadas de branco. Esta tipificação de carácter geral não deverá fazer esquecer uma característica singular da arquitectura corrente em meio urbano, derivada do carácter evolutivo dos núcleos habitacionais, que é a existência de estratificações, sobreposições, reaproveitamentos e acrescentos. Esta evolução, muitas vezes diacrónica, tanto em altura como em planta, contribui decisivamente para a elevada complexidade tipológica e estrutural das construções presentes nestas zonas, traduzida frequentemente pela partilha de paredes resistentes, o que dificulta grandemente o trabalho de caracterização geométrica e mecânica destes edifícios, e, em consequência, a definição de soluções de intervenção [8].



Figura 3 - Casa burguesa do Porto (Adaptado de [10])

Os edifícios que compõem os núcleos urbanos antigos portugueses possuem, tradicionalmente, uma estrutura constituída por fundações (na maior parte dos casos, directas), paredes resistentes exteriores (nos edifícios com maior área de implantação, também interiores), simples prolongamento das primeiras, e pavimentos, coberturas, tectos e escadas, normalmente de madeira [11].

2.4. A REABILITAÇÃO NO CONTEXTO DA HABITAÇÃO SOCIAL

A redução acentuada da construção de novos edifícios residenciais nos últimos anos tem sido acompanhado por um crescimento muito moderado do número de edifícios reabilitados [7]. Os edifícios de habitação social, dados os reduzidos consumos energéticos evidenciados, são um caso particular no contexto dos edifícios residenciais a reabilitar. O estrato socioeconómico da população residente nos bairros de habitação social deve condicionar a estratégia de reabilitação que se venha a implementar. As soluções a aplicar deverão privilegiar o conforto térmico, buscando reduzir ao máximo o consumo energético para aquecimento e arrefecimento da habitação [1].

A habitação social é essencial para atender as necessidades de uma moradia digna dos mais desfavorecidos, e por isso, nos últimos anos tem-se assistido a um esforço crescente por parte dos municípios na reabilitação dessas habitações. Destacam-se, neste contexto, os municípios de Lisboa e do Porto, que por intermédio das suas empresas municipais (a Gebalis e a DomusSocial, respetivamente), têm reabilitado milhares de fogos [6].

Os bairros de habitação social necessitam apresentar níveis de habitabilidade de qualidade para os utentes que lá irão viver, porém, para que as entidades gestoras dos bairros tenham esse controle, estas necessitam de instrumentos que lhes permitam identificar as necessidades de intervenção antes da sua total degradação. A reconhecida falta de durabilidade e de qualidade dos edifícios destinados a habitação de arrendamento público [12], a par da ausência de programas específicos de apoio à sua reabilitação, tem conduzido à sua degradação construtiva, urbana e social. Neste contexto, a reabilitação dos edifícios de habitação social deve ser encarada como um processo de compatibilização de várias condicionantes, designadamente as relacionadas com a eficiência energética do edifício, conforto térmico, custo global do investimento durante o seu período de vida útil e com a durabilidade das soluções adotadas [1].

O Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana realizou, em fevereiro de 2018, o Levantamento Nacional das Necessidades de Realojamento Habitacional [5], identificando o universo de situações de precariedade habitacional existentes em Portugal. Esse levantamento teve por objetivo realizar um diagnóstico das carências habitacionais graves existentes no país e servir de base à preparação e implementação do 1º Direito – Programa de Apoio ao Direito à Habitação.

Relativamente à tipologia urbana em que se inserem é de relevar uma forte prevalência das categorias “Barracas e Construções Precárias” e “Conjunto Urbano Consolidado Degradado”, onde, cumulativamente, residem cerca de 18.550 famílias. A terceira tipologia urbana mais frequente é o “Bairro Social”, ocupado por cerca de 3.837 famílias [5], conforme apresentado na Figura 4.

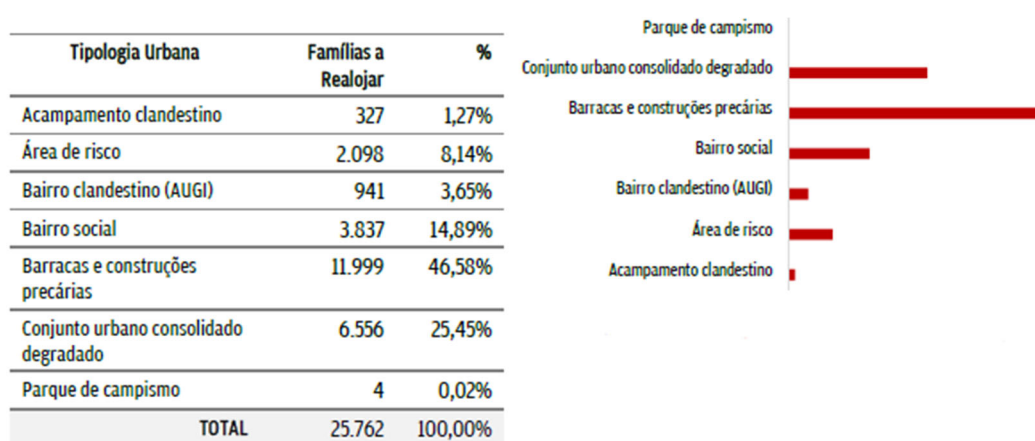


Figura 4 - Nº de Famílias a realojar por tipologia urbana (Adaptado de [5])

As construções identificadas na tipologia urbana “Bairro Social” tratam-se, na sua maioria, de edificações da primeira metade do século XX, que não só não reúnem as condições de habitabilidade necessárias como, pelo seu estado de degradação, já se tornaram indignas para as famílias que aí residem. Um exemplo deste é o Bairro social de Bessa Leite, construído em 1982, situado na União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, onde pode-se perceber claramente o seu estado de degradação devido a falta de manutenção e desgaste natural do mesmo (conforme Figura 5, Figura 6, Figura 7). Acrescem ainda outras situações de bairros sociais constituídos por pré-fabricados e contentores para alojamento temporário, promovidos pelo antigo Fundo de Fomento à Habitação e pela Comissão para o Alojamento de Retornados, que já ultrapassaram largamente a sua duração expectável [4].



Figura 5 - Bairro de Bessa Leite (Foto de autoria própria - Capturada em 02/03/2022)



Figura 6 - Bairro de Bessa Leite (Foto retirada do Google Street View, Captura de Imagem em Março/2022)



Figura 7 - Bairro de Bessa Leite (Foto retirada do Google Street View, Captura de Imagem em Março/2022)

Pensando em um contexto socioeconómico, a reabilitação dos bairros de habitação social em Portugal devem possibilitar que os níveis de conforto térmico sejam atingidos preferencialmente sem recurso a sistemas mecânicos de aquecimento e de arrefecimento ambiente. Para tal será necessário apostar em estratégias de reabilitação passivas, que permitam melhorar a eficiência energética dos edifícios a reabilitar. Para isso, precisamos entender um pouco mais sobre alguns conceitos.

2.4.1 POBREZA ENERGÉTICA

A pobreza energética refere-se basicamente, à situação das famílias não terem capacidade financeira para manter uma habitação termicamente confortável para se viver. Isto pode acontecer devido a conjugação de fatores como a baixa condição económica das famílias e preço de energia para aquecimento ser alto. Outra definição está relacionada com a taxa de esforço energético, aplicável quando as famílias têm de gastar mais do 10% dos seus rendimentos em energia para atingir padrões de conforto definidos nas normas [4].

Nos últimos dados divulgados pelo Eurostat, em janeiro de 2020, Portugal consta como o quinto país da União Europeia onde as pessoas têm menos condições económicas para manter as casas devidamente aquecidas, sendo que cerca de 19% dos portugueses estão em situação de pobreza energética. Abaixo de Portugal encontram-se países como Bulgária (34%), Lituânia (28%), Grécia (23%) e Chipre (22%). No entanto, para entender o nível de pobreza energética, é importante conhecer não apenas a incidência, através do número de pessoas e/ou famílias afetadas, mas também da intensidade, procurando compreender a gravidade do problema. Para isso, três tipos de indicadores ajudam a conhecer o nível de Pobreza Energética em Portugal:

- O primeiro: é sobre a percepção das famílias, feita por meio de pesquisas realizadas à população. Onde se avalia relativamente às condições físicas, qualidade de onde vive e a capacidade económica que possuem para satisfazer as necessidades de consumo de energia.
- O segundo: abordagem pela despesa declarada, fala sobre gasto energético, também por meio de pesquisas, mas com objetivo de comparar o gasto energético da família com o orçamento disponível.
- O terceiro: atua na lacuna energética, procurando comparar os níveis de consumo efetivo de energia na habitação com um padrão de referência baseado nas necessidades, isto é, baseado em uma norma que estabelece o nível de consumo adequado de energia para a satisfação de um nível normativo de bem-estar.

O déficit de bem-estar provocado pela falta de condições adequadas para um consumo de energia de acordo com as necessidades humanas de conforto tem implicações ao nível de outras dimensões importantes do bem-estar, como a saúde, a produtividade, interação com o mercado de trabalho e a mobilidade física/ transportes [13].

Apesar de Portugal apresentar um clima moderado, é um dos mais atingidos pela incapacidade para aquecer, sendo um dos dois países com maior acréscimo de mortalidade no inverno. Os preços de energia altos e a falta de rendimentos explicam esta situação. No contexto de melhoria das condições de conforto e salubridade dos espaços interiores (nomeadamente, da qualidade do ar interior) do seu parque edificado, Portugal tem direcionado a sua estratégia na reabilitação urbana, mantendo-se coerente com as políticas europeias refletidas na atual Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Esta diretiva europeia impõe a integração e o reforço de estratégias para a reabilitação a longo prazo, promovendo o combate à pobreza energética, a diminuição das necessidades de consumo de energia, o aumento da eficiência energética e o recurso a fontes de energia renovável, por forma a alcançar a descarbonização do parque edificado até 2050, conforme delineado pelo Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050).

2.4.2 ÍNDICE DE DESCONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é definido como a satisfação expressa quanto a um ambiente térmico (ASHRAE, 2005). O equilíbrio e o conforto térmico surgem associados ao estado de neutralidade térmica [4]. Nos edifícios de habitação social, o papel do utente é decisivo para a obtenção do conforto térmico, seja pela abertura de uma janela, no verão, ou pela colocação de uma peça adicional de roupa, durante o inverno. Portanto, buscando obter melhorias no conforto térmico de forma passiva (pensando em uma habitação social), muitos autores passaram a trabalhar com o índice de desconforto térmico, para comparar medidas e estratégias de projeto, buscando encontrar a melhor solução para otimizar o conforto térmico do utente e minimizar o seu desconforto. Este desconforto, sob a forma de índice, pode ser calculado no tempo e no espaço, representando um indicador único da performance térmica de um edifício.

Portanto, podemos dizer que hoje em dia existe a necessidade de pensar na reabilitação de uma forma diferente. Nos edifícios de habitação social os consumos de energia destinados ao aquecimento e arrefecimento ambiente são quase nulos, é num contexto de muito baixos consumos energéticos destinados ao conforto térmico que importa otimizar soluções de reabilitação que recorram a estratégias passivas. A reabilitação dos edifícios de habitação social deve, a par de melhoria das condições de conforto térmico dos apartamentos, promover uma melhoria significativa da sua eficiência energética. O setor dos edifícios representa uma parcela significativa do balanço energético nacional. Conforme representado na Figura 8, o peso do setor residencial no consumo de energia final, foi em torno de 20%, em 2020. Em 2020, o setor doméstico apresentou uma subida no consumo de energia, de cerca de 4%, face a 2019. De uma forma genérica todas as fontes de energia apresentam uma subida de 2% a 8%. A subida do consumo é justificada pela maior presença das pessoas na habitação, em consequência da pandemia COVID-19 [16].

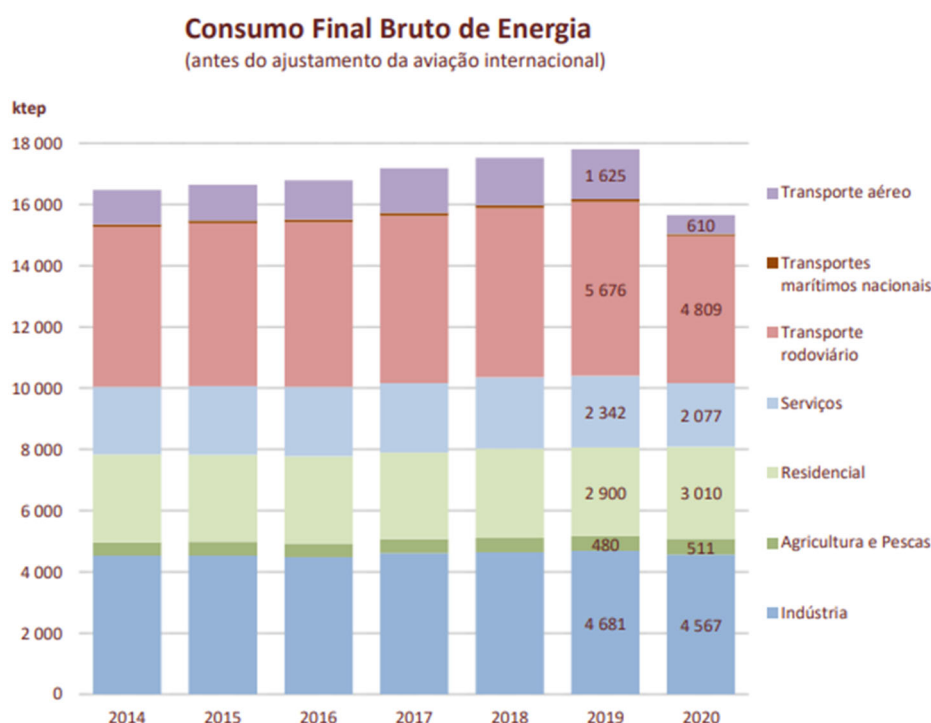


Figura 8 - Consumo de energia final por setor (Adaptado de [16])

Os desafios frente aos trabalhos de reabilitação não são poucos, enquanto a reabilitação de edifícios novos visa garantir as funções construtivas e estruturais para as quais estes foram projetados, nos edifícios antigos devem minimizar o impacto de intervenções pouco adaptativas e a correta gestão de soluções que conservem as técnicas tradicionais e respeitem a história do edifício, melhorando ainda o seu desempenho energético. Num contexto de contenção dos consumos no setor dos edifícios em Portugal torna-se relevante definir estratégias de reabilitação que conduzam à obtenção de um conjunto de soluções que potencialize as condições de conforto térmico e de eficiência energética dos edifícios de habitação, sem incremento dos consumos. Essa preocupação é mais pertinente em edifício de habitação social, onde o estrato socioeconómico da população residente é mais baixo.

2.5. BIM COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

No presente subcapítulo é feito o enquadramento da metodologia BIM ao BEM, realçando a importância dessa aplicação em projetos de reabilitação, além de demonstrar métodos disponíveis no mercado para se obter o levantamento da informações de um edifício existente, explanando alguns softwares que podem ser utilizados para tal como ferramentas de apoio para o levantamento das informações das condições existentes de uma edificação.

2.5.1. ENQUADRAMENTO BIM

O conceito Building Information Modelling (BIM) surge na indústria da construção como uma solução de modernização e de reestruturação, estimulando a colaboração entre os seus agentes, incentivando a desmaterialização e elevando a importância de se obterem melhores desempenhos e processos mais eficientes [17]. Atualmente, o BIM ainda não atingiu todo seu potencial de utilidade em projetos de reabilitação. Pode-se justificar este fato devido à resistência dos projetistas face à mudança do processo tradicional ou por achar que irá demandar muito tempo para recolher todas as informações existente e que isso implicaria em um elevado investimento inicial e demasiadas regulamentações a serem seguidas. Contudo, estudos referente ao levantamento de informações explicam que, para se obter o adequado levantamento de dados desses edifícios existentes é necessário recorrer a engenharia reversa (“point-to-BIM” ou “Scan-to-BIM”), que nada mais é do que a criação de modelos BIM baseado em point clouds, surgindo com estes a definição de modelos “as-is”, o que torna o processo de levantamento mais ágil [18].

Os principais desafios da implementação do BIM em edifícios existentes são relativos à modelação dos elementos singulares que o constituem, obrigando a um esforço laboral na modelação da informação capturada em objetos BIM e a constante necessidade de atualizar essa informação [19]. Segundo alguns autores [19], existem 3 casos distintos na criação de um processo BIM, para edifícios novos e existentes (Figura 9). No primeiro caso, onde cria um modelo do edifício novo (como planeado) e através de um software mantém a interação entre o projeto e o planeamento, que atualiza o modelo “as-built BIM”. E no caso 2, onde pode-se ter um modelo desatualizado (apenas com informação relativa ao edifício existente) ou com edifícios existentes onde não exista qualquer informação referente ao projeto inicial e ao edifício atual, sendo necessário recorrer a um levantamento de dados “points-to-BIM” (caso utilizado na tese).

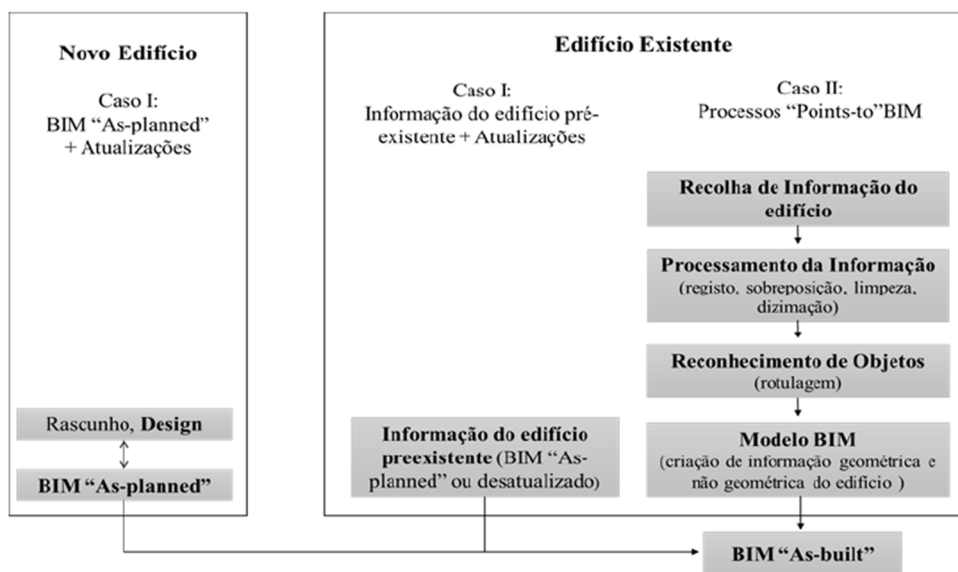


Figura 9 - Criação do modelo BIM de um Edifício Existente - (Adaptado [19]).

Com base neste contexto, o intuito deste capítulo é discutir e esplanar as possibilidades de utilização da ferramenta BIM to BEM, mostrando alguns métodos simples e de baixo custo até os métodos mais complexos e regulamentados para se obter o levantamento das informações de um edifício existente.

2.5.2. LEVANTAMENTO DA INFORMAÇÃO – LASER SCANNER E FOTOGRAMETRIA

Nos edifícios existentes, o acesso à informação relativa à sua construção e aos processos usados durante o ciclo de vida tais como ações de manutenção ou reabilitação, são geralmente raras ou nulas. Em projetos de reabilitação, é necessário realizar um levantamento de todos os dados que sejam possíveis de obter do atual estado do edifício [20]. As técnicas de levantamento de dados existentes são várias, tais como: A fotogrametria ou videogrametria, técnicas de alcance (laser scanner), entre outras (conforme apresentada na Figura 10).

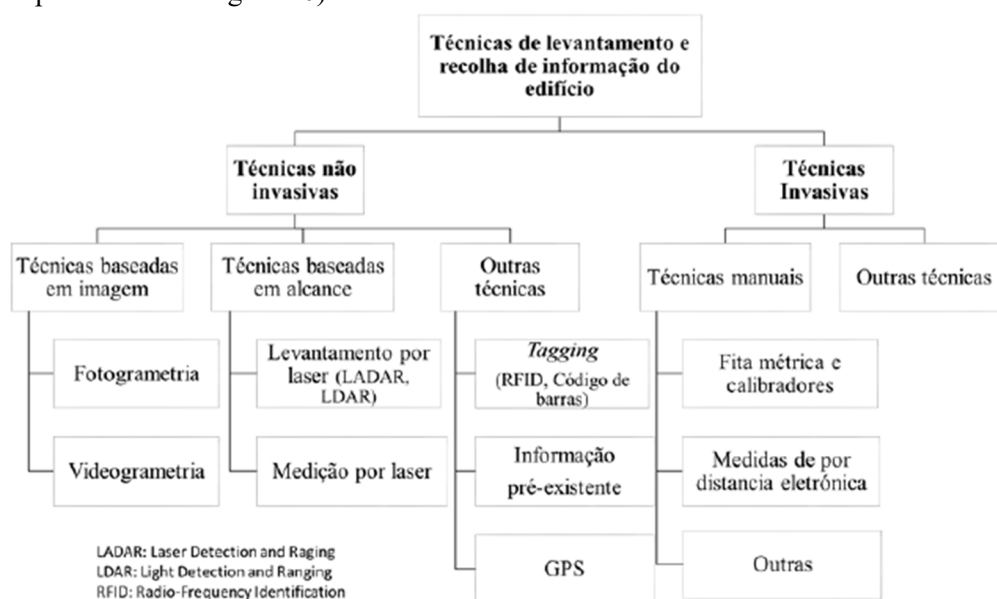


Figura 10 - Técnicas de levantamento do existente - (Adaptado de [19]).

As técnicas mais comuns para a obtenção de dados de um edifício existente são as técnicas baseadas em Imagem, seja o Laser Scanner ou a Fotogrametria (tanto terrestre como aérea – através da utilização de Drones para captura das imagens), ambos retornam como resultado os dados do existente numa representação 3D, chamada de nuvem de pontos, a qual deve passar por um processamento de dados a fim de mesclar a aquisição dos pontos do local desejado com um sistema de coordenadas confiável, facilitando e automatizando assim, um trabalho que outrora se revelava moroso, subjetivo e propenso a erros.

O Laser Scanner é uma técnica que utiliza um raio laser para detetar o objeto. As tecnologias de varredura a laser são adotadas por sua capacidade de acelerar a coleta de dados de edifícios existentes ou superfícies complexas, bem como pela exatidão e precisão dos dados adquiridos. Em particular, as tecnologias do Laser Scanner funcionam através de um feixe de laser que viaja em direção à área que está sendo digitalizada e volta, medindo ângulos e distâncias com precisão de milímetros a centímetros [21].

Já a fotogrametria é baseada em um processo preciso de medição 3D, onde inúmeras imagens são capturadas e estas permitem a recolha de informação semântica e espacial de um edifício ou objeto. Esta técnica de captação de imagens – tanto terrestre como aérea – rege-se pelo princípio da triangulação, ou seja, o ponto de vista de pelo menos duas fotografias tiradas em localizações diferentes se junta num ponto comum de um objeto, pelo que a localização da interseção desses pontos determina a localização tridimensional do ponto [22].

Hoje em dia, com a existência de diversos softwares gratuitos e fáceis de usar, capazes de reconstruir e criar modelos 3D (Nuvem de pontos) com as imagens digitais obtidas, como por exemplo os programas da Agisoft Metashape, Pix4D, RealityCapture, etc, tornou-se ainda mais popular a utilização da fotogrametria. Existem algoritmos capazes de estimar as diferentes posições da câmara aquando da triangulação e eventualmente processá-las e converter para point clouds [23].

2.5.3. BIM AO BEM (BUILDING ENERGY MODELLING)

A importância crescente da avaliação do desempenho energético de edifícios justifica o recurso a modelos BIM e BEM (Building Energy Modelling), onde se integra toda a informação necessária à análise e simulação. Para uma análise adequada dum edifício existente (“as-is”) pode-se recolher dados relativos à sua geometria 3D e medir as condições térmicas da sua envolvente [24]. O interesse em estudar a performance energética de edifícios tem aumentado e, como tal, torna-se benéfico a integração e gestão das suas informações em modelos BIM e BEM [25]. Para analisar um edifício “as-is” deve-se levantar dados relativos à sua geometria, componentes da construção existente e quanto às condições térmicas da sua envolvente, de forma a efetuar análises energéticas posteriormente.

O BEM (Building Energy Modeling) é uma tecnologia que permite avaliar a eficiência energética de um edifício, além de avaliar alternativas de projeto, comparar sistemas e subsistemas, alocar custos de energia anual, avaliar a concordância com os standards de energia e otimização económica, durante a fase de projeto do edifício [26].

O problema é que, hoje em dia, a tecnologia BEM ainda não está suficientemente integrada com o processo de um projeto BIM e, sendo assim, não se consegue obter o benefício da automatização deste processo. Exemplo disso é o facto da informação de modelos BEM terem de ser reintroduzidos manualmente para as ferramentas BEM, algo que é considerado como dispendioso em termos de custos e tempo, apesar de esta informação já estar disponível em outros modelos digitais, como o BIM [25].

Desse modo, os modelos BIM conseguem suprir estas falhas do BEM, pois a automação do processo de modelação tornam-se num grande benefício da aplicação de BIM nas simulações energéticas de edifícios, poupando tempo, reduzindo o custo e os possíveis erros humanos por comparação ao processo tradicional de modelação BEM, em que se desenvolveria um modelo gráfico BEM usando dados relacionados com a geometria, propriedades do material, equipamentos e horários [27].

Para que seja possível a análise energética da metodologia “BIM to BEM” é fundamental que contenha o nível de detalhe necessário, pois, demasiado detalhe no modelo para simulações energéticas podem levar a falha da mesma, e a falta de informações essenciais também. Neste sentido, deve-se olhar para o conceito de Nível de Desenvolvimento (LOD – Level of Development) que especifica e articula o nível de clareza, detalhe e fiabilidade das informações inseridas no modelo BIM. Os cinco níveis de desenvolvimento definidos pelo American Institute of Architects, cujas definições se encontram na Tabela 2, representam exigências tanto maiores quanto maior o valor numérico associado, sendo cumulativas, já que para um elemento apresentar determinado LOD, deverá cumprir os requisitos relativos a esse nível e a todos os níveis que o antecedem [28].

Tabela 2 - Níveis de desenvolvimento BIM (Adaptado de [28]).

Nível	Definição
LOD100	O elemento pode ser representado graficamente no modelo por um símbolo ou outra representação genérica, no entanto não satisfaz os requisitos do LOD 200; A informação relativa ao elemento (e.g. custo por metro quadrado, quantificação de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado, etc.) pode ser derivada de outros elementos do modelo.
LOD200	O elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema genérico, objeto ou conjunto de montagem com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximados; Informação não gráfica também pode ser acrescentada ao elemento do modelo.
LOD300	O elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto de montagem em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação; Informação não gráfica também pode ser acrescentada ao elemento do modelo.
LOD400	O elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto de montagem em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação com pormenorização, fabricação, montagem (assemblagem) e informação de instalação; Informação não gráfica também pode ser acrescentada ao elemento do modelo.
LOD500	O elemento do modelo é uma representação verificada no terreno no que toca à sua dimensão, forma, localização, quantidade e orientação; Informação não gráfica também pode ser acrescentada ao elemento do modelo.

Embora não exista requisitos padrões do BIM para análise de energia em processos “BIM-ao-BEM”, é recomendável trabalhar com LOD 200-300 para representar os dados do edifício com precisão. Em alguns casos, o LOD 100 pode ser usado para estudos menos detalhados, por exemplo, os estudos iniciais da forma e orientação de um edifício [29].

Em resumo, para desenvolver um procedimento BIM ao BEM de um edifício existente, conforme será demonstrado de forma mais detalhada no caso de estudo dessa dissertação, deve-se seguir basicamente os seguintes procedimentos: Recolha das imagens e informações do edifício existente, Processamento e análise das imagens recolhidas (Obtenção e tratamento da Nuvem de Pontos), integração e modelação em ambiente BIM (Revit, Archicad, etc) e por fim simulações enérgicas em programas BEM

(DesignBuilder, Energyplus, etc), conforme apresentado na Figura 11 abaixo. Para que ocorra a integração e interoperabilidade em processos BIM-to-BEM, existem dois formatos mais utilizados atualmente, que são o gbXML e o IFC, sendo o gbXML a extensão utilizada neste trabalho.

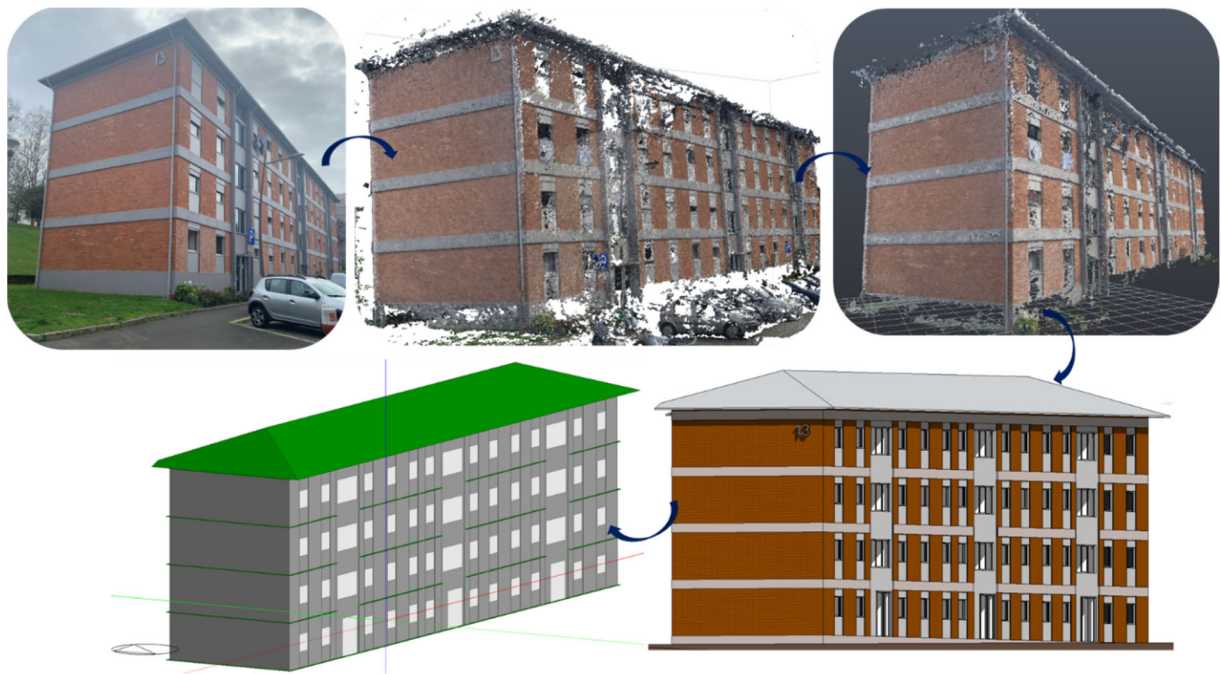


Figura 11 - Resumo da Metodologia BIM-to-BEM (Autoria Própria, 2022)

3

TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO E CRIAÇÃO DO MODELO BIM AO BEM

3.1. ENQUADRAMENTO

O intuito deste capítulo é explorar algumas técnicas que existem para realizar o levantamento de informações do existente e em seguida realizar uma análise comparativa entre essas. Com isso, será possível mostrar alguns pontos importantes, como por exemplo: o que deve-se ter em conta para a escolha da técnica adequada, os requisitos exigidos, nível dos resultados desejados, complexidade, entre outros.

Posteriormente, será aplicada a técnica de levantamento escolhida para o desenvolvimento do caso de estudo da presente tese demonstrando como foi feito todo o processo e o que levou à essa decisão. Após o levantamento fotogramétrico efetuado, será demonstrado ainda neste capítulo a integração/modelação do edifício existente em um ambiente BIM (utilizando o software Autodesk Revit) e sua integração e exportação para um ambiente BEM (DesignBuilder), com o intuito de criar um modelo BIM para realizar uma análise energética do edifício.

Atualmente, quando se pretende realizar uma análise energética de um edifício (seja ele existente ou em fase de projeto inicial), o método convencional e mais utilizado é o de criar o modelo 3D do edifício diretamente em um programa BEM (como o Eenergyplus, DesignBuilder, etc). Sendo assim, um caminho que necessita de um esforço laboral grande, principalmente nos casos de um projeto de reabilitação, onde necessita efetuar todo o levantamento do existente. Portanto, buscando preencher esse gap, e expandir a utilização e integração de um processo completo através da Fotogrametria -> BIM -> BEM, de uma maneira simples e proveitosa, deve-se seguir no decorrer deste capítulo a seguinte metodologia proposta conforme exposto na Figura 12.



Figura 12 - Fluxo da metodologia proposta

3.2. TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO

Com a tecnologia cada vez mais avançada, as opções de técnicas para levantamento da informação aumentam exponencialmente e cabe ao utilizador saber filtrar e decidir qual dessas técnicas melhor se aplica para o desejado. Das diversas técnicas existentes, seja essas invasivas ou não invasivas, apresentadas anteriormente no capítulo 2 (subcapítulo 2.5.2), será explorado neste capítulo algumas técnicas não invasivas, sendo essas: O Laser Scanner e a Fotogrametria (Aérea e Terrestre). Por fim, após explorar as técnicas de levantamento será demonstrada uma análise comparativa que ajudou na tomada de decisão da técnica final que será utilizada no desenvolvimento do caso de estudo da presente tese.

3.2.1. LEVANTAMENTO COM LASER SCANNER

O levantamento com o Laser Scanner trata-se de uma técnica que vem sendo adotada em projetos com base BIM, pois é reconhecida como uma tecnologia 3D capaz de medir com uma grande capacidade e precisão o edifício existente. A metodologia BIM introduz aos projetos de construção e reabilitação bastantes benefícios, onde, ao ser combinada com o Laser Scanner (LS) 3D, consegue-se criar modelos “as-built” (como construído) ou modelos “as-is” (como existente) com precisão, flexibilidade de gestão de informação e eficiência, o que permite ao utilizador obter projetos de conceção e construção sem utilizar técnicas invasivas [30].

Existem duas formas de atuação do Laser Scanner, este pode operar a partir do solo (conhecido como TLS – Figura 13) ou em movimento (conhecido como LiDAR – Light, Detection and Ranging – Figura 14).



Figura 13 - Exemplo de um TLS (Imagem do Google)

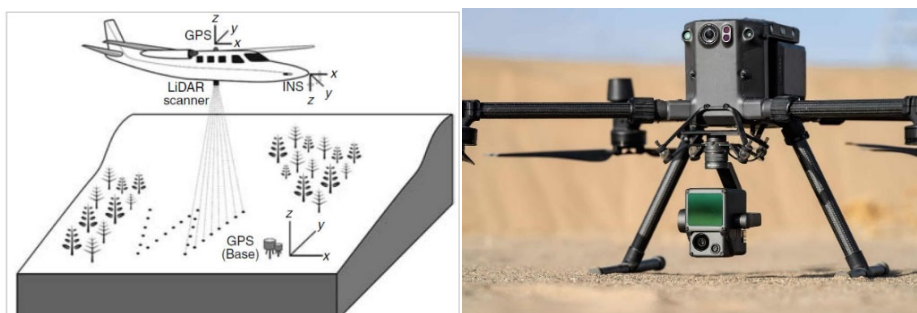


Figura 14 - Exemplos de LS LiDAR (ALS - Airborne Laser Scanning)

A digitalização a Laser aérea (LiDAR ALS visto na Figura 14) é muito utilizada em locais onde tem muitas interferências frente ao alvo desejado, o que implicaria em vários obstáculos para detecção do laser terrestre, sendo este um equipamento mais avançado pois necessita da integração de um sistema de posicionamento para medir a altitude e posição do local de captura [31].

O LS diferencia-se dos demais métodos de recolha pois os seus resultados não são influenciados negativamente devido a presença da luz, seja esta luz ambiente ou artificial, como é o caso da fotogrametria, ele funciona emitindo e recebendo a sua própria radiação eletromagnética. O grande benefício da utilização desta tecnologia reflete-se na captura de detalhe com alta definição ao ponto de incluir características de texturas dos materiais se desejado [32].

Como em todas as técnicas de levantamento, o resultado esperado deste processo pode variar dependendo do nível de detalhe desejado, tipos de objetos e nível de semântica que se pretenda que o modelo tenha. Os tempos de digitalização utilizando a técnica do TLS podem variar até 2 horas, incluindo o tempo adicional para gerar a fotografia. A tela de bordo do scanner exibe a nuvem de pontos imediatamente após a execução da digitalização, permitindo assim a verificação visual já de imediato. Geralmente, o scanner permite detectar, para cada ponto registrado, dois tipos de informação: a posição, como conjunto de coordenadas, e a refletância, como intensidade do sinal de retorno. A recolha de dados de intensidade e cor contribuem para uma melhor interpretação da nuvem de pontos e são obtidas automática e simultaneamente [31].

Portanto, apesar do processo de recolha e medição dos dados desejados ser um processo rápido, o procedimento necessário após essa recolha para tratamento dos dados é bastante delicado e demanda tempo. Como é um aparelho de alta precisão e detalhe, a nuvem de pontos obtida é bastante pesada e contém centenas de milhões de pontos que requerem recursos computacionais apropriados para que consiga ser processada. Sendo assim, o LS é uma excelente ferramenta para projetos onde o nível de detalhe do modelo desejado seja alto e necessita também de um conhecimento técnico mais apurado do equipamento para se obter a correta calibração (além de um profissional qualificado para realizar esse tipo de levantamento).

3.2.2. LEVANTAMENTO COM DRONE (FOTOGRAMETRIA AÉREA)

A fotogrametria tem também várias classificações conforme o posicionamento do sensor ótico, o número de fotografias capturadas, o tipo de reconstituição e o nível de automação do processo de reconstituição. Conforme o posicionamento do sensor ótico, a fotogrametria pode ser classificada de terrestre, aérea ou orbital [33]. Neste subcapítulo, será explorado um pouco mais da opção de fotogrametria aérea realizada com VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado – também conhecido como Drone), no que tange a parte da legislação em vigor no país onde se pretende realizar o voo, até a trajetória que deve ser traçada para realizar um levantamento, com suas informações necessárias.

Quanto à legislação aplicável, analisando o cenário de Portugal, é necessário consultar primeiramente o Anexo do Regulamento ANAC nº1093/2016 (Agência Nacional de Aviação Civil) de 14 de Dezembro 2016, disponíveis no site da ANAC, para saber em que zona geográfica se encontra o local desejado para levantar o voo, pois não são todas as zonas que são permitidas efetuar o voo.

No site da ANAC encontra-se disponível também um mapa interativo, que permite consultar essa zona geográfica e ver se o local onde se pretende sobrevoar é autorizado ou não (Figura 15 - as áreas geográficas serão estabelecidas por motivos de segurança operacional, segurança contra atos ilícitos, proteção de privacidade ou do ambiente). Os operadores de drones que operam no espaço aéreo português, devem consultar as áreas estabelecidas antes de iniciar a operação. As áreas podem ser descarregadas pelos operadores para efeitos de planeamento pré-tático e utilização durante operação. No mapa, após selecionar o local desejado, pode-se verificar se a zona pertence a um espaço aéreo de uso especial ou não, e a altura de voo permitida acima da superfície ou até à altura máxima (Figura 16).

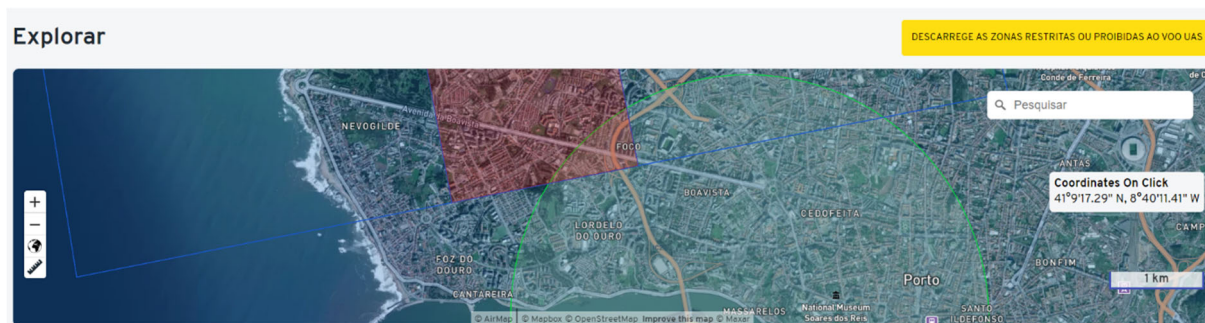


Figura 15 - Mapa interativo com zonas de voo (Disponível no site da ANAC)

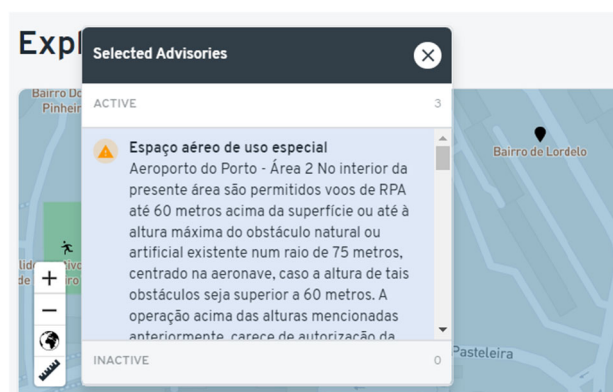


Figura 16 - Mapa de consulta da ANAC para área de voo

Estas áreas podem proibir determinadas ou todas as operações de drones, requerer condições particulares para determinadas operações ou para todas as operações, ou requerer uma autorização de Categoria Específica. Adicionalmente, podem sujeitar as operações de aeronaves não tripuladas a condições específicas de caráter ambiental, permitir o acesso apenas a algumas classes de drones com marcação de conformidade de classe europeia (CE) e permitir o acesso apenas a drones equipados com determinadas características técnicas, nomeadamente sistemas de identificação remota ou de reconhecimento aeroespacial.

Mantêm-se ainda, temporariamente em vigor, as restrições do Regulamento da ANAC n.º 1093/2016 de 14 de dezembro e do seu anexo, até que sejam aprovadas novas áreas ao abrigo do 15º Regulamento de Execução (UE) 2019/947. Nesta fase transitória, os operadores de aeronaves não tripuladas devem, além das áreas estabelecidas no Regulamento da ANAC n.º 1093/2016, considerar as restrições estabelecidas por outros regimes jurídicos, que limitam ou proíbem a operação de aeronaves abaixo de uma determinada altura ou em áreas ou locais específicos, nomeadamente:

- Os planos de Ordenamento das áreas protegidas de Portugal Continental da responsabilidade do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF I.P.);
- Nas reservas naturais e de áreas protegidas da Região Autónoma da Madeira da responsabilidade do Instituto das Florestas e Conservação da Natureza (IP-RAM);
- Rede de áreas protegidas dos Açores, da responsabilidade da Direção Regional do Ambiente dos Açores;
- Planos de ordenamento da Orla Costeira (POOC) e regulamentos ou Programas da Orla Costeira (POC), que segundo a Direção-Geral da Autoridade Marítima, são locais que estão sob a jurisdição das autoridades marítimas locais (capitanias);
- Nas zonas da cidade de Lisboa onde o voo é proibido, por razões de segurança interna/nacional, proteção do património histórico e de instalações dos órgãos de soberania, estando essas zonas previstas no Decreto-Lei n.º 248/91, de 16 de julho, e na Portaria n.º 837/91, de 16 de agosto, alterada pela Portaria n.º 362/917, de 2 de junho, sobre jurisdição militar (para voar no seu interior é necessário obter autorização da AAN).

Em seguida, após verificar devidamente a área desejada de voo, deve-se proceder à análise da categoria ou subcategoria do drone que se pretende operar. De acordo com o site da EASA (European Union Aviation Safety Agency) os regulamentos da UE 2019/947 e 2019/945 estabelecem a estrutura para a operação segura de drones civis nos céus europeus. Estes adotam uma abordagem baseada em risco e, como tal, não distinguem entre atividades de lazer ou comerciais de drones civis [34], [35]. O que os regulamentos consideram é o peso e as especificações do drone civil e a operação que ele pretende realizar, definindo assim três categorias de operações de drones civis: a categoria 'aberta', a 'específica' e a categoria 'certificada' (Figura 17):

- A categoria 'aberta' aborda as operações de drones civis de baixo risco, onde a segurança é garantida desde que o operador de drones civis cumpra os requisitos relevantes para a operação pretendida. Esta categoria está subdividida em três subcategorias, nomeadamente A1, A2 e A3 (Figura 18). Os riscos operacionais na categoria 'aberto' são considerados baixos e, portanto, não é necessária autorização operacional antes de iniciar um voo.
- A categoria 'específica' abrange operações de drones civis mais arriscadas, em que a segurança é garantida pelo operador do drone, obtendo uma autorização operacional da autoridade nacional competente antes de iniciar a operação. Para obter a autorização operacional, o operador do drone é obrigado a realizar uma avaliação de risco, que determinará os requisitos necessários para a operação segura do drone civil.
- Na categoria 'certificado', o risco de segurança é consideravelmente alto, portanto, a certificação do operador de drone e seu drone, bem como o licenciamento do piloto remoto, é sempre necessária para garantir a segurança. [36].

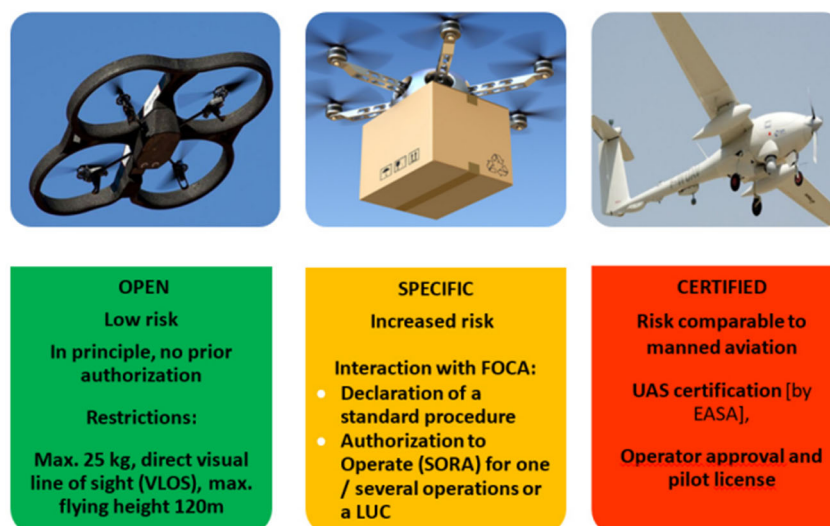


Figura 17 - Categoria específica para drones

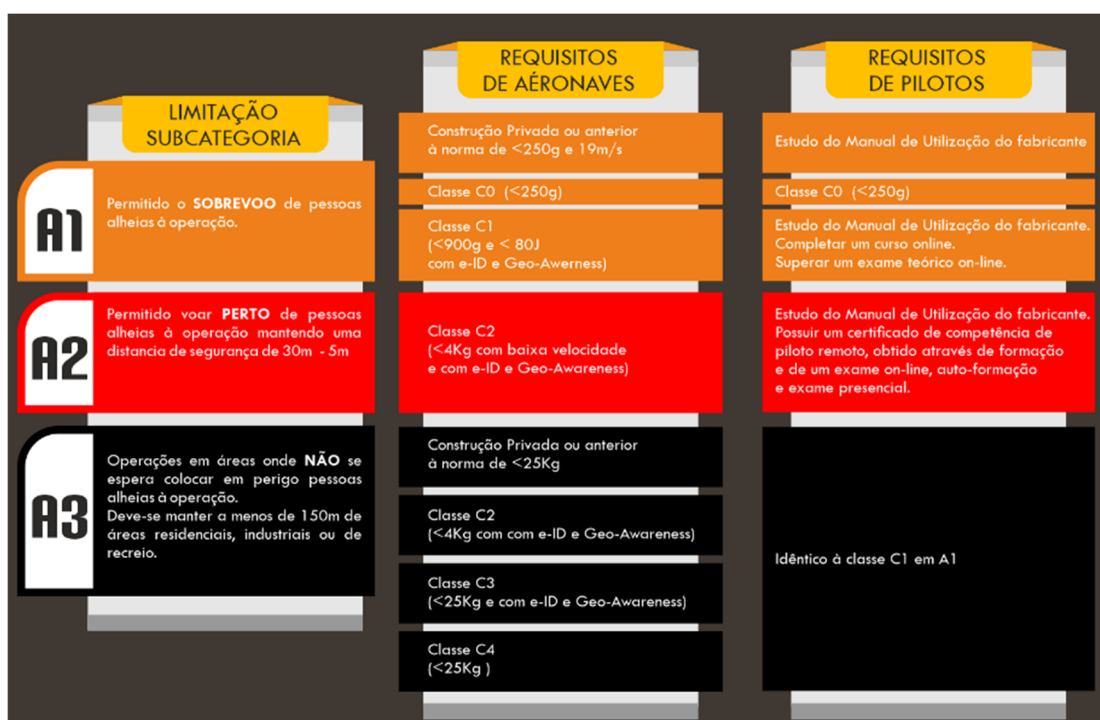


Figura 18 - Categorias da certificação necessária para pilotar drone

No entanto, de acordo com a APANT (Associação Portuguesa de Aeronaves Não Tripuladas) existem outras obrigações a serem cumpridas, como é o caso do dever de colocar o número de registo do operador disponibilizado após o registo na plataforma da ANAC no quadro de cada uma das aeronaves não tripuladas que compõem a frota do operador, além de ser obrigatório a colocação nos sistemas de identificação à distância remota, embutido pelo fabricante durante a construção como um componente do sistema [37], [38]. O não cumprimento destas obrigações está previsto no Decreto-Lei nº58/2018 Artigo 12º e constituem contraordenações muito graves, puníveis com coima de 2000€ a 3000€, para o caso de pessoas singulares, e de 5000€ a 7500€, no caso de pessoas coletivas [39], [38].

Posteriormente, com todas as certificações e legislações devidamente atendidas, pode-se seguir para a etapa da definição de trajetória e planeamento de voo. Para um devido planeamento fotogramétrico aéreo deve-se ter em atenção as condições climáticas e exposição solar, pois essas interferem diretamente nos resultados e na trajetória traçada.

Para obter resultados de alta precisão automaticamente, é necessária uma alta sobreposição entre as imagens. Portanto, o plano de aquisição de imagens deve ser cuidadosamente projetado para ter sobreposição suficiente. Um plano de aquisição de imagem ruim levará a resultados imprecisos ou falha de processamento e exigirá a aquisição de imagens novamente.

Ao projetar o plano de aquisição de imagem, os seguintes fatores precisam ser levados em consideração:

- Tipo de plano de aquisição de imagem – que irá depender do tipo de terreno/objeto a ser reconstruído.
- Distância de amostragem do solo – onde o exigido pelas especificações do projeto definirá a distância (altura de voo) na qual as imagens devem ser tiradas.
- Sobreposição – que irá depender do tipo de terreno mapeado e determinará a taxa na qual as imagens devem ser tiradas.

Hoje em dia, os drones tecnologicamente avançados vêm com um software que pode projetar o plano de aquisição de imagem com alguns parâmetros (área de interesse, porcentagem de sobreposição entre as imagens, a distância de amostragem do solo desejada, etc). Neste caso, as imagens são tiradas automaticamente de acordo com as imagens selecionadas no plano de aquisição sem qualquer intervenção do usuário. O plano de aquisição de imagem ideal depende do tipo de terreno/objeto a ser reconstruído:

- Caso geral: Para projetos que não incluam florestas, neve, lagos, campos agrícolas e/ou outros terrenos de difícil reconstrução.
- Floresta e vegetação densa: Para projeto com áreas cobertas por floresta ou vegetação densa.
- Terreno plano com campos agrícolas: Para terreno plano com conteúdo visual homogêneo, como campos agrícolas.
- Reconstrução de edifícios: Para modelagem 3D de edifícios.
- Casos especiais: Para superfícies de neve, areia e água (oceanos, lagos, rios, etc).
- Mapeamento de corredor: Para projetos com área de interesse linear (estradas, rios, etc).
- Vários voos: Para projetos com imagens tiradas usando vários voos.
- Reconstrução da cidade (fachadas visíveis): Para modelagem 3D de áreas urbanas.
- Reconstrução de interiores 3D: Para modelagem 3D do interior de edifícios.
- Reconstrução mista: Para conjuntos de dados combinados (interior/exterior e/ou aéreo/terrestre e/ou nadir/oblíquo).
- Reconstrução de grandes objetos verticais: Para modelagem 3D de objetos como torres de energia, turbinas eólicas, etc.
- Reconstrução de túnel: Para modelagem 3D de um túnel.
- Objetos pequenos: Para modelagem 3D de objetos pequenos.

Para a reconstrução de um edifício, que é o foco do desenvolvimento da tese, é necessário ter um plano de aquisição de imagem específico (Figura 19), como:

- Voar com o drone ao redor do prédio pela primeira vez com um ângulo de câmera de 45°;
- Voar uma segunda e terceira vez ao redor do prédio, aumentando a altura do voo e diminuindo o ângulo da câmera a cada rodada;

- Recomenda-se tirar uma imagem a cada 5-10 graus para garantir sobreposição suficiente, dependendo do tamanho do objeto e da distância a ele. Distâncias mais curtas e objetos maiores requerem imagens a cada grau menor.

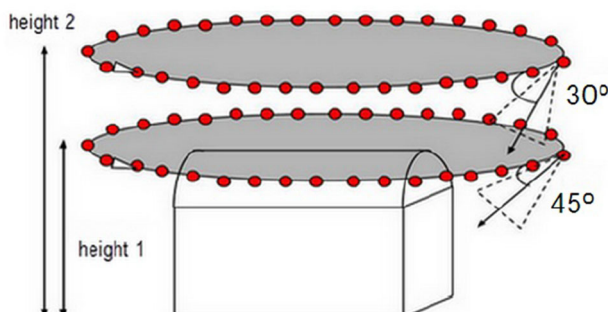


Figura 19 - Sobreposição das imagens capturadas pelo drone

Assim, a sugestão é que o levantamento seja feito em um dia com clima estável, preferencialmente com as mesmas condições de luminosidade e/ou céu nublado, de forma a evitar excessiva exposição solar e a evitar sombreamento, pois atrapalham no resultado das imagens que serão capturadas.

3.2.3. LEVANTAMENTO COM CÂMERA (FOTOGRAMETRIA TERRESTRE)

A fotogrametria terrestre é geralmente usada para obter informação dimensional detalhada, esta contém a mesma base teórica e intencional da fotogrametria aérea, porém, a captura das imagens irá ocorrer do solo. Na fotogrametria, o uso de câmaras digitais deve ter em conta os seguintes fatores: resolução, distância focal, foco, exposição, formato da imagem, memória de armazenamento e características da bateria. Para fotogrametria terrestre, por vezes, pode ser importante também a utilização de alguns acessórios como um tripé e o flash externo.

A distância da câmara ao objeto tem influência nos resultados obtidos. Quanto maior for a distância entre a câmara e o objeto e menor for o ângulo da lente, menor a profundidade (Figura 20). A partir de uma fotografia, apenas se consegue obter coordenadas de duas dimensões. A partir de 2 ou mais fotografias do mesmo objeto, obtidas a partir de posições diferentes, é possível calcular as coordenadas tridimensionais de qualquer ponto representado em comum nas fotografias [40]. Com isso, através de algoritmos é possível reconstruir tridimensionalmente um objeto a partir de fotografias tiradas em diferentes pontos e com grandes áreas de sobreposição, sendo possível obter uma reconstruções 3D de objetos através dos resultados obtidos pelo levantamento de informação.

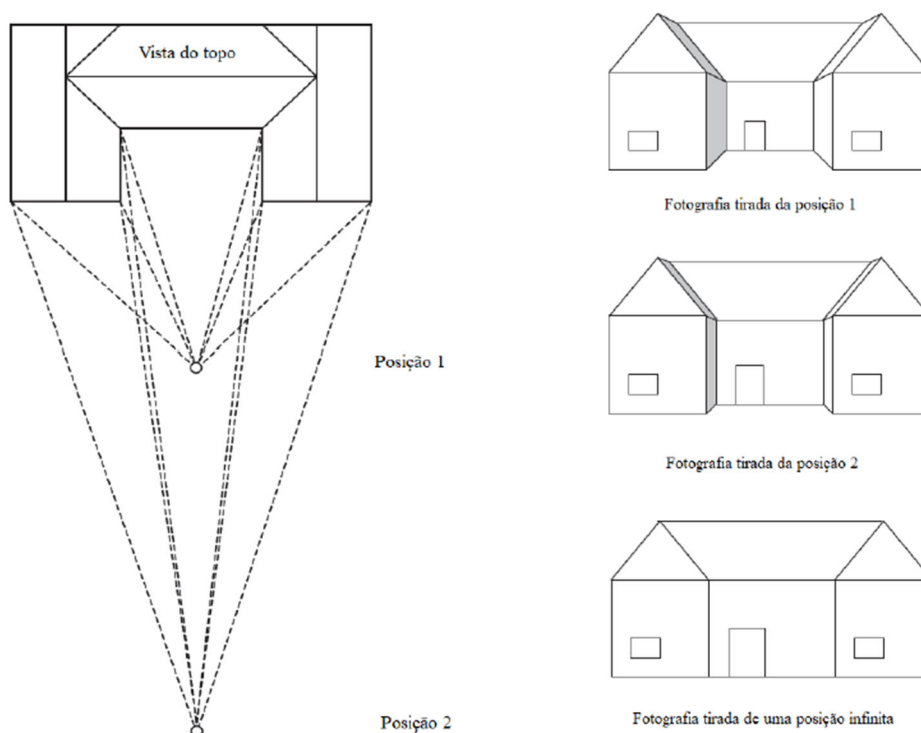


Figura 20 - Distância de posicionamento da câmera

Assim como na fotogrametria aérea, o processo para captura da informação também precisa de um planeamento e cuidados a serem tomados. Deve-se ter atenção à resolução da imagem, nitidez, quantidade de fotografias, aos ângulos em que serão capturaadas as imagens e à iluminação do dia. Destaque-se este último fator, pois as fotografias devem ser retiradas nas mesmas condições de luz para diminuir a variação radiométrica entre fotografias distintas, permitindo assim o processo de sobreposição de pontos. Seguem-se exemplos de como proceder para retirar as fotografias, em que o primeiro caso é equivalente a um edifício e o segundo a uma fachada (Figura 21) [33].

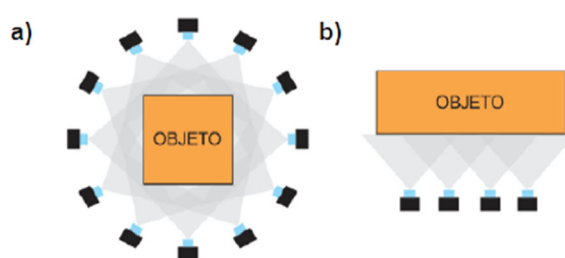


Figura 21 - Posicionamento para fotogrametria de um objeto

Esse procedimento nada mais é do que capturar o máximo de fotos possíveis ao redor do prédio, com a câmera mantida em uma posição única. Pode-se consultar o Guião, Anexo A1 da tese, para maiores informações sobre o procedimento e os cuidados que devem ser levados em conta para que se consiga obter um bom resultado.

Por ser uma fotogrametria terrestre, não tem como mudar muito o ângulo de visão do local desejado, portanto, para que se obtenha a quantidade necessária de sobreposição que o software consiga

reconhecer e alinhar os pontos, devem ser capturadas o máximo de fotos possíveis do mesmo local seguindo uma sequência de disparos.

3.2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO

A Fotogrametria e o Laser Scanner são técnicas distintas com mesmo objetivo: medir coordenadas 3D de pontos remotos, sem tocá-los. Portanto, neste subcapítulo, o intuito é comparar as principais diferenças entre essas técnicas e justificar assim o que levou à tomada de decisão da técnica que foi utilizada para o desenvolvimento dessa tese. A Tabela 3 apresenta resumidamente as vantagens e desvantagens de cada técnica que foi apresentada no subcapítulo 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3:

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens de cada técnica

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
L A S E R S C A N N E R	- É capaz de capturar, com qualidade e precisão, a localização exata dos pontos; - Os dados já são capturados em formato 3D, sem a necessidade de processamento adicional, e podem ser verificados diretamente no local; - O sistema é independente da exigência de uma fonte de luz externa; - Fornece uma enorme densidade de dados e uma velocidade de digitalização de até um milhão de pontos por segundo; - Os aparelhos são compactos e portáteis, com interface amigável, e podem operar em condições ou ambientes diversos; - Incluem uma câmara incorporada.	- A geometria pode conter informações de textura inutilizáveis; - Pode conter presença de lacunas nos dados das nuvens causadas por obstruções ao alvo durante a captura; - Requer um operador experiente para garantir a qualidade do resultado desejado; - Necessita de um software especializado para extrair, registrar e processar os dados das nuvens de pontos. - Limitações na medição de locais de difícil acesso (como a cobertura por exemplo), a menos que o Laser seja posicionado acima do nível do local; - Custo elevado do equipamento;
D R O N E S	- Tempo necessário para recolher as imagens em campo é curto, de 30 a 60 minutos; - Captura uma visão tridimensional do objeto e o equipamento é mais fácil de se transportar; - Obtenção de resultados rápidos, rentáveis e mais realistas de levantamento 3D. - Consegue capturar grandes área e terrenos;	- É uma técnica sensível a mudanças nas condições de iluminação e depende da visão desobstruída do alvo a fotografar; - O processamento em softwares é lento e o seu resultado só pode ser conferido depois. - Requer cumprimento de todas as legislações vigentes do país para autorização do voo; - Necessita ter os certificados obrigatórios para poder pilotar um drone; - Necessitar um bom planeamento de voo para que o resultado seja bom;
C Â M E R A	- Tempo necessário para recolher as imagens em campo é curto, de 10 a 30 minutos; - Captura uma visão tridimensional do objeto e o equipamento é mais fácil de se transportar; - Obtenção de resultados rápidos, rentáveis e mais realistas de levantamento 3D. - Custo baixo; - Não necessita de um operador especializado;	- É uma técnica sensível a mudanças nas condições de iluminação e depende da visão desobstruída do alvo a fotografar; - O processamento em softwares é lento e o seu resultado só pode ser conferido depois. - Necessita de muitas fotos para que se consiga obter as sobreposições necessárias e uma nuvem de pontos mais fidedigna.

Portanto, comparando as técnicas de levantamento, pode-se concluir que quando o baixo custo é a prioridade, o usuário pode optar pela fotogrametria como tecnologia para produzir nuvem de pontos. Entretanto, se a prioridade for precisão e um alto nível de detalhe, o laser scanner é o mais indicado.

Sendo assim, optou-se por utilizar para o desenvolvimento dessa tese a fotogrametria terrestre, pois, ao contrário do drone, não necessitaria de solicitar liberações vigentes devido a legislação do país, nem da obtenção de certificados para pilotar um drone, e atende ao nível de detalhe desejado para a tese de forma simples (onde se pretende analisar apenas a envolvente do edifício), acessível e sem nenhum custo adicional.

3.3. LEVANTAMENTO FOTOGAMÉTRICO DO CASO DE ESTUDO

Após analisar as técnicas de levantamento, e definir qual técnica utilizar para o desenvolvimento da presente tese (sendo essa a fotogrametria terrestre – câmeras), será aplicado neste subcapítulo o levantamento fotogramétrico do edifício existente (caso de estudo da tese) e todo o passo a passo de como se obter a nuvem de pontos 3D a partir deste levantamento, com o intuito de posteriormente modelar o edifício em um ambiente BIM utilizando como base a nuvem de pontos obtida. O edifício encontra-se no Bairro de Lordelo do Ouro, na cidade do Porto – Portugal (mais detalhes sobre o edifício existente será exposto no Capítulo 4 – Caso de Estudo), sendo um local de fácil acesso e sem muitos obstáculos que impedissem a captura de imagens da sua envolvente através da fotogrametria terrestre.

Para realizar o levantamento fotogramétrico foi necessário utilizar apenas a câmera de um celular (conforme propriedades expostas na Figura 22) e posteriormente o software Agisoft Metashape Professional Versão Experimental 1.8.3.

Câmera	
Fabricante da câmera	Apple
Modelo da câmera	iPhone XS
Escala de número f	f/1.8
Tempo de exposição	1/3086 s
Velocidade ISO	ISO-25
Ajuste de exposição	etapa 0
Distância focal	4 mm
Abertura máxima	
Modo de medição	Padrão
Distância do objeto	
Modo do flash	Sem flash, auto
Energia do flash	
Distância focal de 35 mm	26

Figura 22 - Propriedades da Câmera utilizado para levantamento

O princípio utilizado para o levantamento fotogramétrico do edifício existente foi o SfM (Structure-from-Motion), que nada mais é do que um método fotogramétrico emergente e de baixo custo para reconstrução de alta resolução. SfM opera sob os mesmos princípios básicos como fotogrametria estereoscópica, ou seja, que a estrutura 3D pode ser resolvida a partir de uma série de imagens sobrepostas e deslocadas (Figura 23). No entanto, difere fundamentalmente da fotogrametria convencional, na medida em que a geometria da cena, as posições da câmera e a orientação são resolvidas automaticamente (pelo software) sem a necessidade de especificar a priori, uma rede de alvos que possuem posições 3D conhecidas.

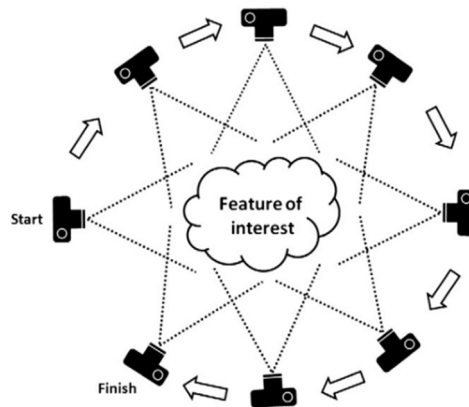


Figura 23 - Structure-from-Motion (SfM) technique, adaptado de [41]

Portanto, para realizar o levantamento, vale seguir algumas recomendações [42]:

- Não capturar a foto de um único ponto. É importante mover-se com um certo passo ao longo do objeto (Figura 24). Quando a distância entre locais de câmeras é pequena e as imagens são tiradas quase do mesmo ponto, é difícil obter informações sobre a profundidade. Recomenda-se que, para ficar mais ou menos na mesma distância do objeto, deve-se mover paralelamente ao lado e capturar as imagens na mesma altura primeiro, então pode-se usar um tripé e se mover ao longo do objeto para completar a próxima rota em outra altura (caso deseje uma precisão maior). No entanto, é importante manter uma sobreposição suficiente entre as imagens (tanto entre as imagens da mesma rota quanto entre as imagens das diferentes rotas).

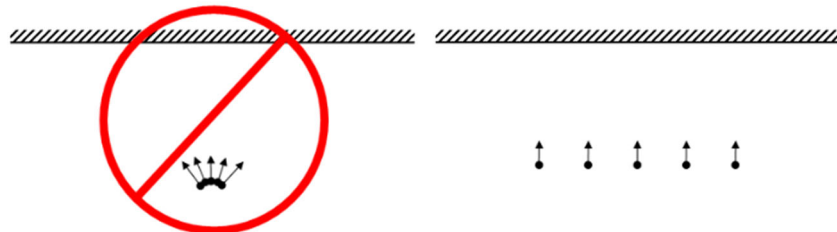


Figura 24 - Movimento de captura das fotos, adaptado de [43]

- É recomendado minimizar o tempo de aquisição da imagem para evitar grandes diferenças entre as sombras ao fotografar ao ar livre com tempo ensolarado. É ideal para fotografar ao meio-dia e/ou com tempo nublado.
- Se utilizar modelos de câmera diferentes, recomenda-se processar todos os subconjuntos juntos. Os grupos de calibração serão formados automaticamente com base no modelo da câmera, resolução da imagem e distância focal, mas ainda assim, é sugerido usar uma lente fixa ou fixar a distância focal em uma lente zoom, no caso da captura de imagens terrestres.

É difícil especificar um número mínimo de fotografias a serem obtidas de um objeto/edifício para obtenção de resultados adequados da “nuvem de pontos”, uma vez que são muitas as variáveis envolvidas, porém, quanto mais fotos, maior será o número de sobreposição e melhor será o resultado. Seguindo todas as recomendações, para o edifício caso de estudo em questão, foram obtidas 175 fotos ao redor do edifício (Figura 25).



Figura 25 - Sequência de Fotos iniciais do levantamento fotogramétrico realizado

Após a recolha das imagens, pôde-se iniciar o processo de obtenção da nuvem de pontos do edifício com a utilização do software Agisoft Metashape. Para isso, basta adicionar todas as fotos no software e em seguida alinhar (Figura 26, consultar Guião, Anexo A1 da tese, para maiores detalhes do procedimento realizado).

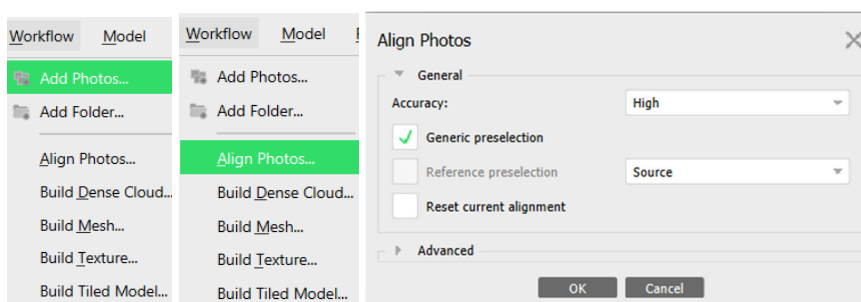


Figura 26 - Workflow Agisoft Metashape - Adicionar e alinhar fotos

O software retorna como resultado uma primeira nuvem de pontos ainda bastante espaçada, e é possível ver também a localização da câmara de onde foram capturadas cada foto (Figura 27).

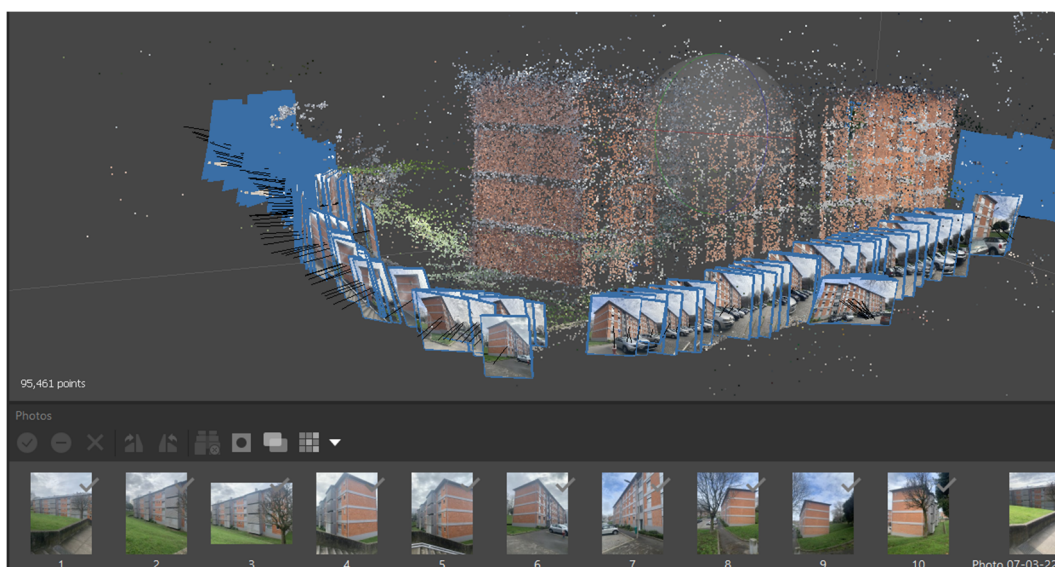


Figura 27 - Tie Points Agisoft Metashape

Com essa primeira nuvem de pontos espaçadas já é possível observar se as fotos capturadas foram suficientes ou não para o resultado desejado (analisando se ainda tem muito espaço vazio ou se a geometria desejada já está bem visível nessa primeira etapa). Em seguida, basta dar continuidade ao fluxo de trabalho no Agisoft Metashape, criando a nuvem de pontos densa do edifício. Para isso, basta seleccionar a opção “Build Dense Cloud” (Figura 28).

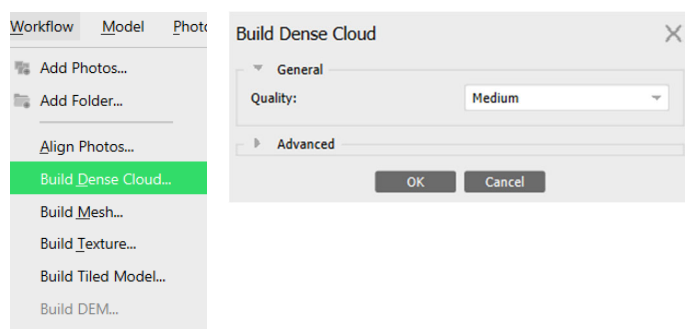


Figura 28 - Workflow Agisoft Metashape - Criar nuvem de pontos densa

Após essa etapa, o software retorna como resultados a nuvem de pontos densa final, com o edifício já bem definido e sem muitos espaços abertos (Figura 29).

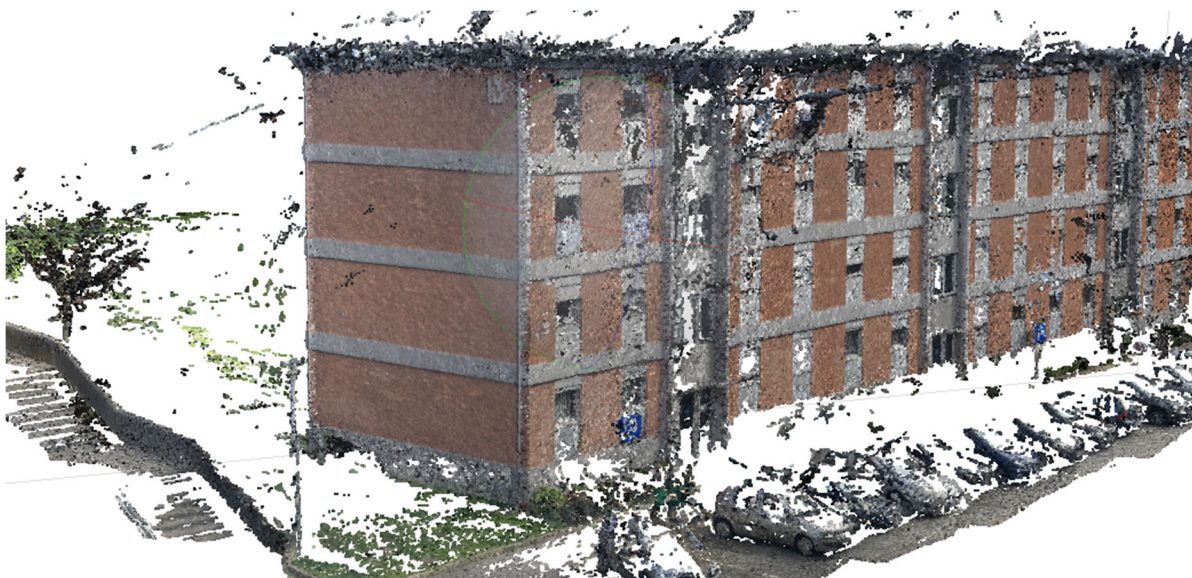


Figura 29 - Nuvem de pontos densa do edifício em estudo.

Sendo assim, com a nuvem de pontos densa criada (Figura 29), pode-se iniciar o processo para a integração e modelação do edifício existente em ambiente BIM.

3.4. INTEGRAÇÃO E MODELAÇÃO DO CASO DE ESTUDO EM AMBIENTE BIM

Após obter uma nuvem de pontos limpa, pode-se seguir para a Etapa da modelagem do edifício usando a nuvem de pontos como base. O intuito de utilizar a nuvem de pontos para essa etapa é de facilitar e

agilizar esse processo, pois as localizações de caixilharias, paredes, portas, e dimensões do edifício como um todo, já estará bem-posicionada, necessitando apenas de um “decalque” da realidade e posterior inclusão das informações detalhadas dos materiais no ambiente BIM. Portanto, neste subcapítulo será demonstrado como foi feita a importação dessa nuvem de pontos para o software Autodesk Revit e a posterior modelagem do edifício existente, com o nível de detalhe necessário para uma futura análise energética em ambiente BEM. Neste subcapítulo serão utilizados os softwares Autodesk Recap e o Revit.

3.4.1. IMPORTAÇÃO PARA O AUTODESK REVIT

Com a Nuvem de Pontos densa já obtida através do Agisoft Metashape (demonstrado no subcapítulo 3.3), o próximo passo é integrar essa nuvem com o software Autodesk Revit. Para isso, deve-se exportar a nuvem de pontos do software Agisoft Metashape em formato ASTM E57 e importar para o software Autodesk Recap. O software da Autodesk Recap será utilizado para realizar o tratamento e limpeza da nuvem de pontos, deixando assim apenas os pontos do local de interesse para o projeto. Essa etapa requer um pouco mais de atenção e tempo, pois, uma nuvem de pontos bem limpa e posicionada irá facilitar a modelagem na etapa seguinte, no ambiente BIM.

Para a importação da Nuvem de pontos densa para o Autodesk Recap, basta criar um projeto novo, e escolher a opção de “Importar Nuvem de Pontos”, em seguida escolher a nuvem de pontos que foi extraída do Metashape no Formato ASTM E57 e importar para o Recap, o software então irá retornar como resultado um novo projeto com a nuvem desejada (Figura 30). Todo esse procedimento e passo a passo mais detalhado, pode ser encontrado no Guião, Anexo A1, dessa tese.

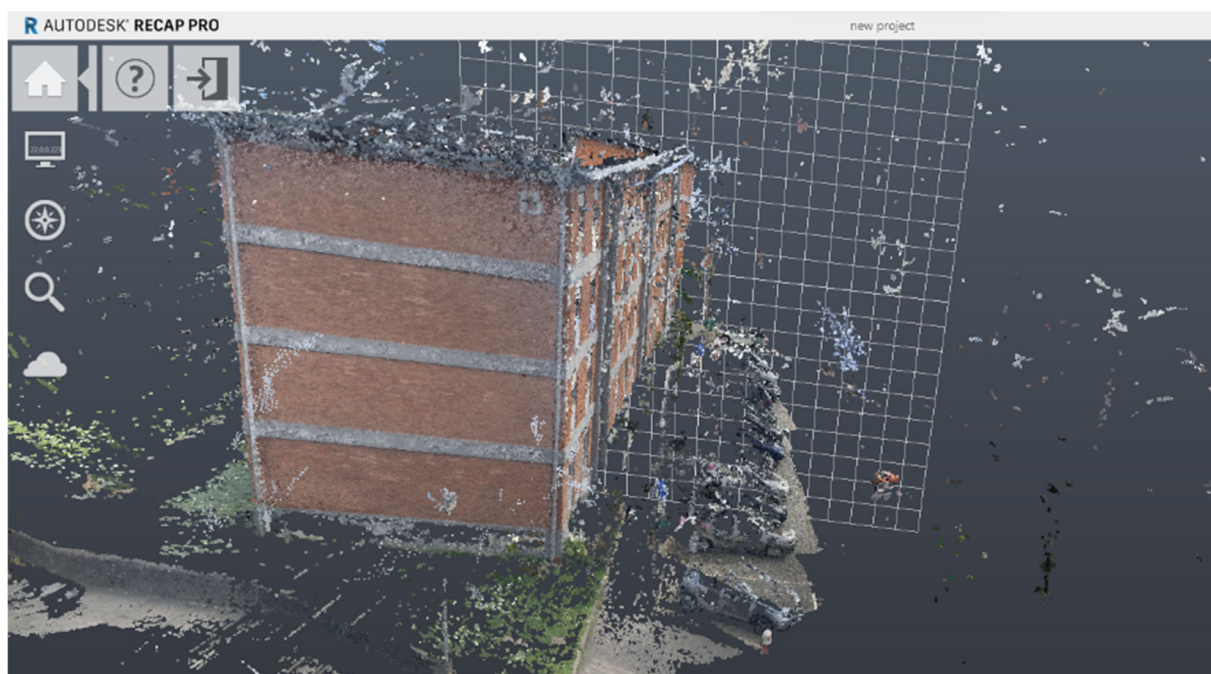


Figura 30 - Nuvem de Pontos Densa no Autodesk Recap

Como é possível observar, a Nuvem de pontos importada contém vários pontos que não serão necessários para a modelagem do edifício. Portanto, deverá ser efetuada a limpeza dos mesmos nessa

etapa (por exemplo: retirar pontos referente aos carros, árvores, calçada, grama etc.) e deixar apenas o essencial para o modelo, conforme pode-se observar na Figura 31 abaixo.



Figura 31 - Nuvem de pontos do Edifício em estudo após a limpeza

Criando assim uma nuvem de pontos mais leve e limpa, fácil de executar uma modelagem posteriormente utilizando esses pontos como base de localização. Após a limpeza total, pode-se exportar a nuvem em formato. rcs (Figura 32) para que se possa importar em seguida para o Autodesk Revit.

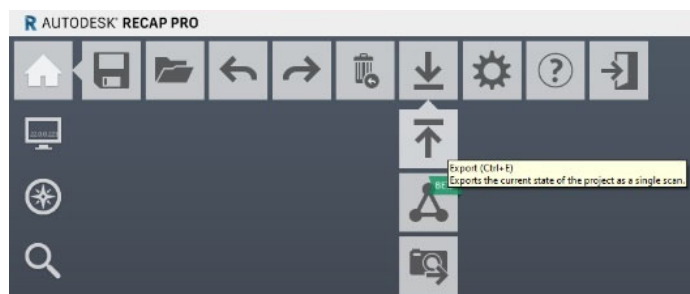


Figura 32 - Exportação da Nuvem de pontos limpa em Formato .rcs

Portanto, para integrar a nuvem de pontos limpa no Autodesk Revit, deve-se abrir o menu “Gerenciar”, em seguida “Gerenciar Vínculos”, ir na aba de “Nuvem de pontos” e adicionar o arquivo exportado do Autodesk Recap no formato. rcs. O Revit então reconhecerá a nuvem de pontos inserida e será visível na vista 3D e na vista de planta essa nuvem (Figura 33).



Figura 33 - Nuvem de pontos na vista 3D do Revit

3.4.2. MODELAÇÃO EM AMBIENTE BIM 3D – AUTODESK REVIT

Neste subcapítulo será demonstrado como deve-se iniciar as configurações dentro do software Revit para que seja possível modelar em cima da Nuvem de Pontos. O intuito não é ensinar como usar o software, e sim como configurá-lo corretamente para modelagem com o intuito de uma posterior análise energética. Antes de iniciar a modelagem deve-se ter a consciência do nível de detalhe pretendido. Existem artigos que procuram responder à falta de padronização quanto aos requisitos BIM necessários a uma correta análise energética no processo BIM para BEM, nomeadamente na identificação dos parâmetros necessários e do LOD (Level of Detail) necessário, sendo sugerido trabalhar-se com LOD 200-300, como forma de representar corretamente os dados dos edifícios a serem analisados, utilizando o nível mais baixo (LOD 100) apenas para estudos menos detalhados, como para processos decisivos do projeto, como são exemplos a forma do edifício e a orientação [29].

O intuito deste modelo criado para o desenvolvimento da tese é que seja possível realizar uma análise energética do edifício como um todo, sendo assim, é importante modelar de forma fidedigna principalmente as paredes da envolvente, caixilharias, portas, lajes e coberturas. Não necessita, para essa etapa, se preocupar com a inclusão de sistemas AVAC, iluminação e operação do edifício, pois estes serão inseridos manualmente no software de análise energética (DesignBuilder), que será demonstrado mais a frente (subcapítulo 3.5). Para maiores detalhes do passo a passo que será demonstrado neste subcapítulo, pode-se consultar o Guião, Anexo A1, da presente tese. Portanto, após a importação da nuvem de pontos no Autodesk Revit, é sugerido que antes de iniciar a modelagem se coloque os diferentes níveis de pisos do edifício a ser modelado (Figura 34).



Figura 34 - Níveis dos pavimentos inseridos

Em seguida, com os níveis já posicionados, pode-se dar início a modelagem do edifício através da parede da envolvente, lajes, portas, caixilharias, cobertura etc., por sobreposição à Nuvem de Pontos (Figura 35), com as respectivas dimensões e localizações destes elementos.

Vale ressaltar que, além das informações geométricas obtidas através do levantamento fotogramétrico do edifício, foi necessário efetuar a recolha das informações do edifício através de documentos como: projetos de intervenção, fotos e documentos da intervenção efetuada em 2011, fornecida pelo Prof. Engenheiro Vasco Peixoto de Freitas (responsável pelo projeto de reabilitação do local, efetuado em 2011) e obtidas também da Tese de doutorado do António Curado (que efetuou um caso de estudo com a habitação social de Lordelo do Ouro, a mesma que será utilizada para o desenvolvimento dessa tese, [1]). Essas informações são de grande valia para suprir os pontos do projeto que não ficaram bem claros através da visualização na nuvem de pontos, como por exemplo foi o caso da cobertura do edifício em estudo, onde não foi possível obter nenhum ponto referente à cobertura e então houve a necessidade de consultar os documentos de projetos disponibilizados e fotos para modelar a cobertura buscando refletir o mais próximo possível da realidade.

O auxílio da informação de projeto é essencial para a modelação geométrica e para a correta aplicação das propriedades dos materiais a integrar no modelo BIM [44], uma vez que as informações sobre as propriedades térmicas dos materiais serão de extrema importância e influência para a posterior análise energética do edifício.

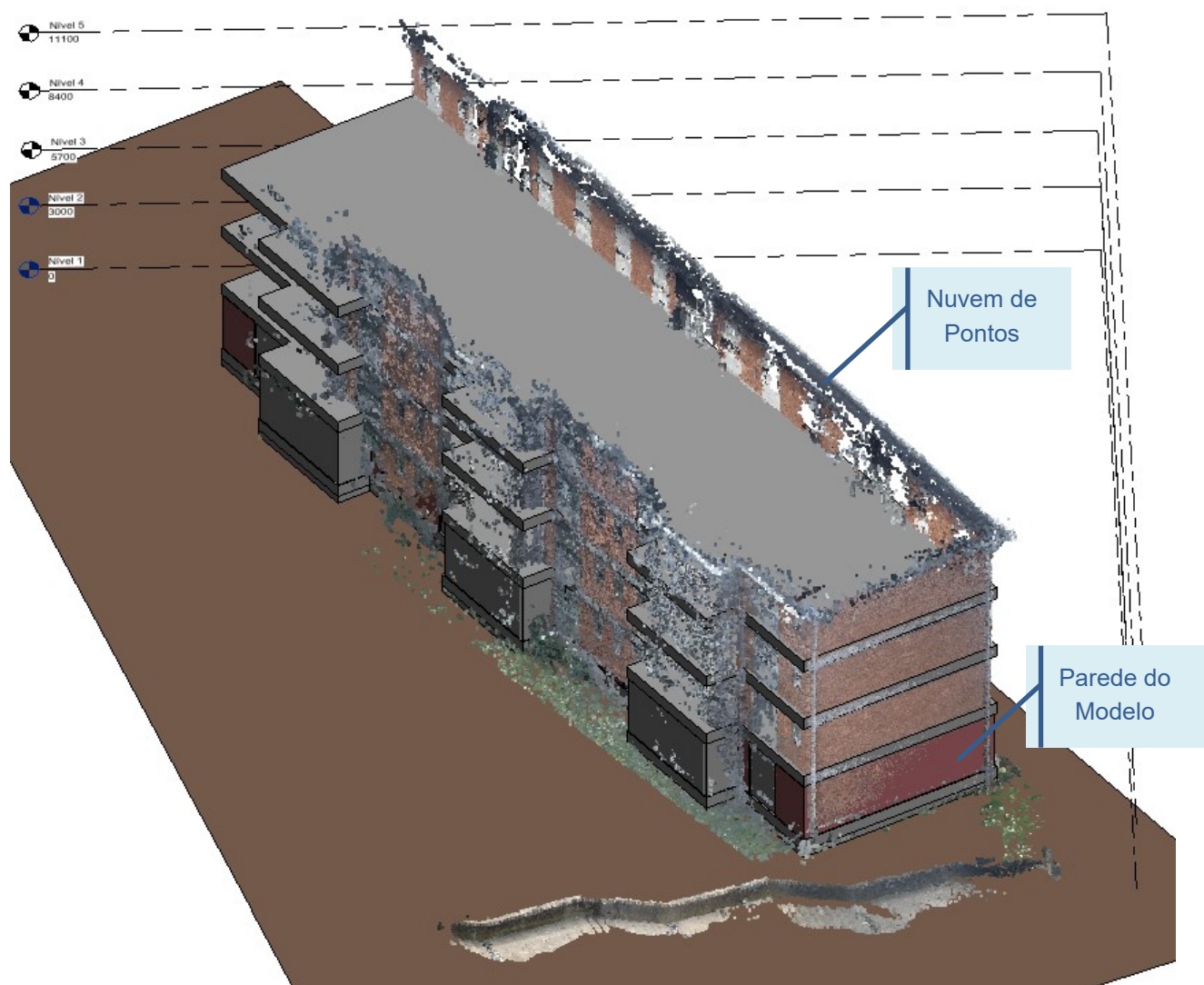


Figura 35 - Modelagem com nuvem de pontos como referência

O trabalho para criar um modelo de um edifício existente no software Revit, com a utilização da nuvem de pontos obtida como base, torna-se muito rápido, porém, a inserção da localização do edifício (Figura 36) e dos materiais constituintes da construção tem de ser inserida manualmente. Nesse quesito, a tese de doutorado do António Curado [1] possibilitou o acesso a informações mais detalhadas do edifício “as it is”, tais como coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, cobertura e caixilharias existentes (conforme será apresentado de forma mais detalhada no Capítulo 4 – Estudo de Caso).

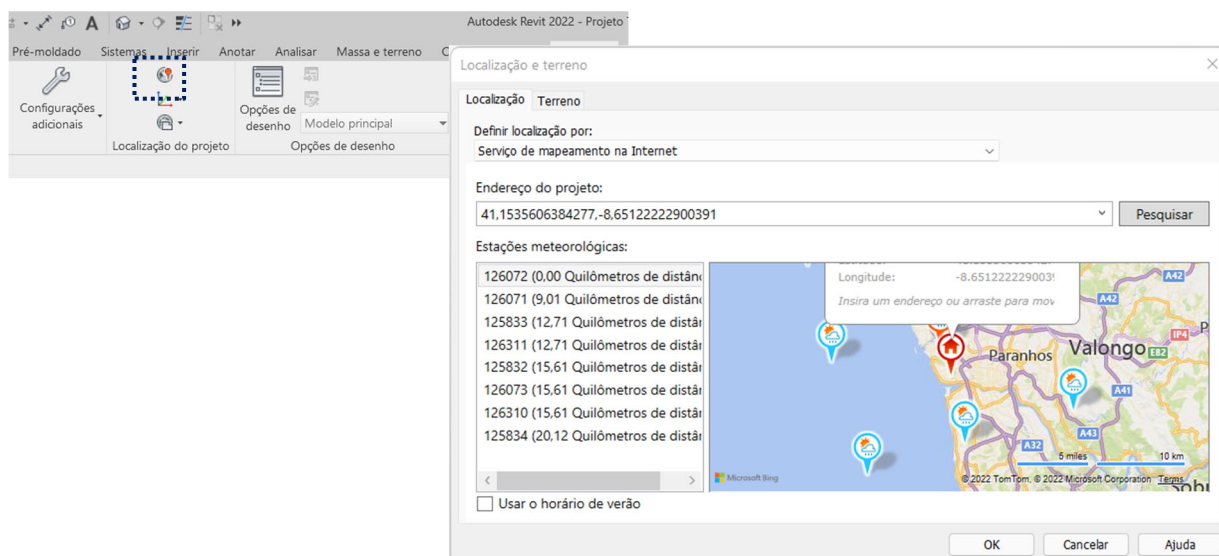


Figura 36 - Inserindo a localização do terreno no Revit

Como o intuito do modelo é para que seja possível efetuar uma análise energética, é essencial que se defina todos os ambientes contidos no modelo, pois, ao exportar para um software BEM posteriormente, esses ambientes serão relacionados com zonas térmicas. Para isso, cada ambiente deve ser devidamente atribuído no Revit. Vale ressaltar que, se as paredes do modelo estiverem devidamente unidas e com a correta definição de “delimitação de ambientes” assinalada, o Revit consegue reconhecer automaticamente essa definição do ambiente (Figura 37).

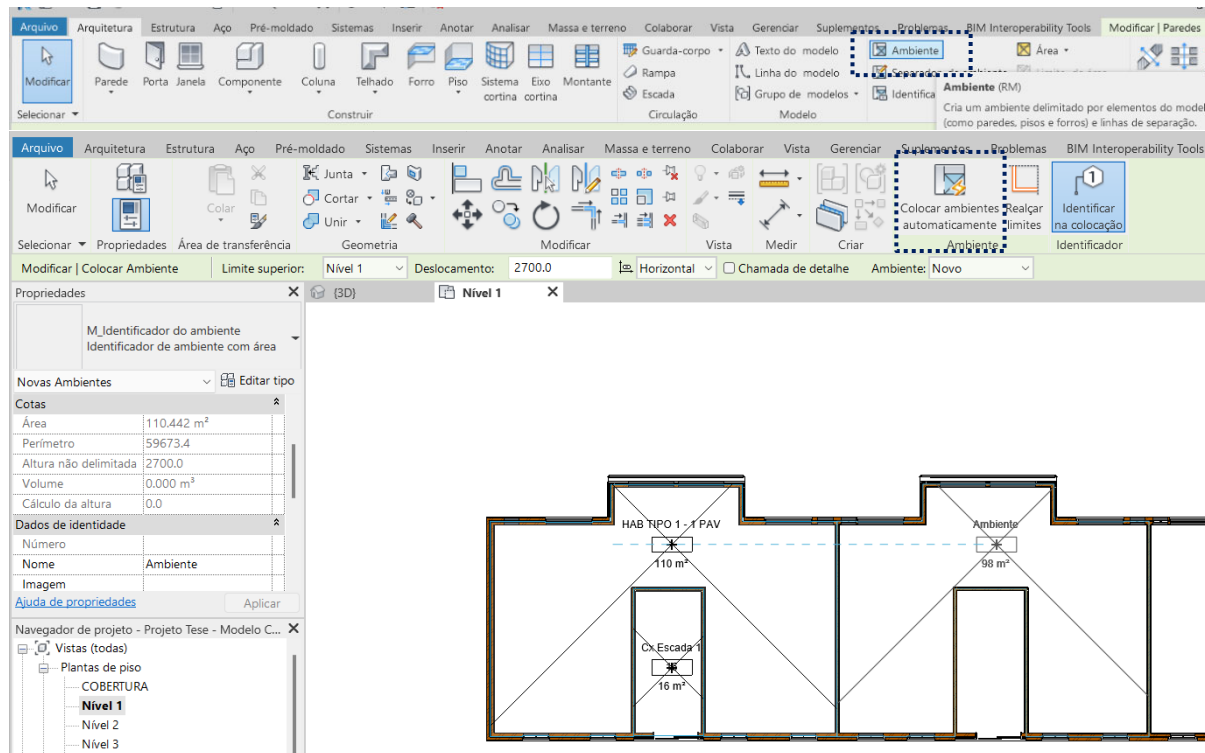


Figura 37 - Delimitação de Ambientes

Convém também renomear os ambientes conforme o desejado, pois o nome do ambiente que for inserido no Revit será exportado para o ambiente BEM posteriormente com a mesma nomenclatura, e deve-se verificar se todos os ambientes estão devidamente preenchidos (ocupando todo o volume do ambiente). Para que essa verificação do ambiente ocorra de uma maneira prática, pode-se alterar na opção de “Visibilidade/Sobreposição” do Revit e editar para que os ambientes apareçam com um preenchimento interno e definir o esquema de cor para que seja fácil de visualizar (Figura 38).

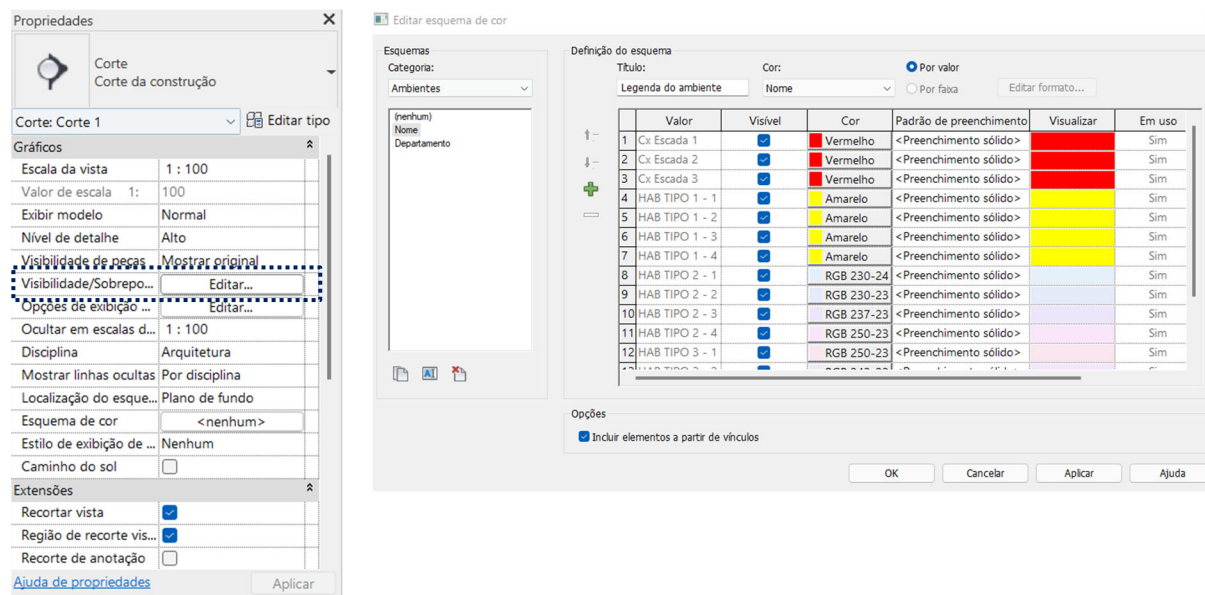


Figura 38 - Visualização dos Ambientes no Revit

Concluindo assim o modelo em BIM do edifício caso de estudo existente, com uma aparência e propriedades bem próximas do real (conforme pode-se observar nas Figura 39 e Figura 40).



Figura 39 - Edifício Existente x Modelo em BIM (vista traseira)

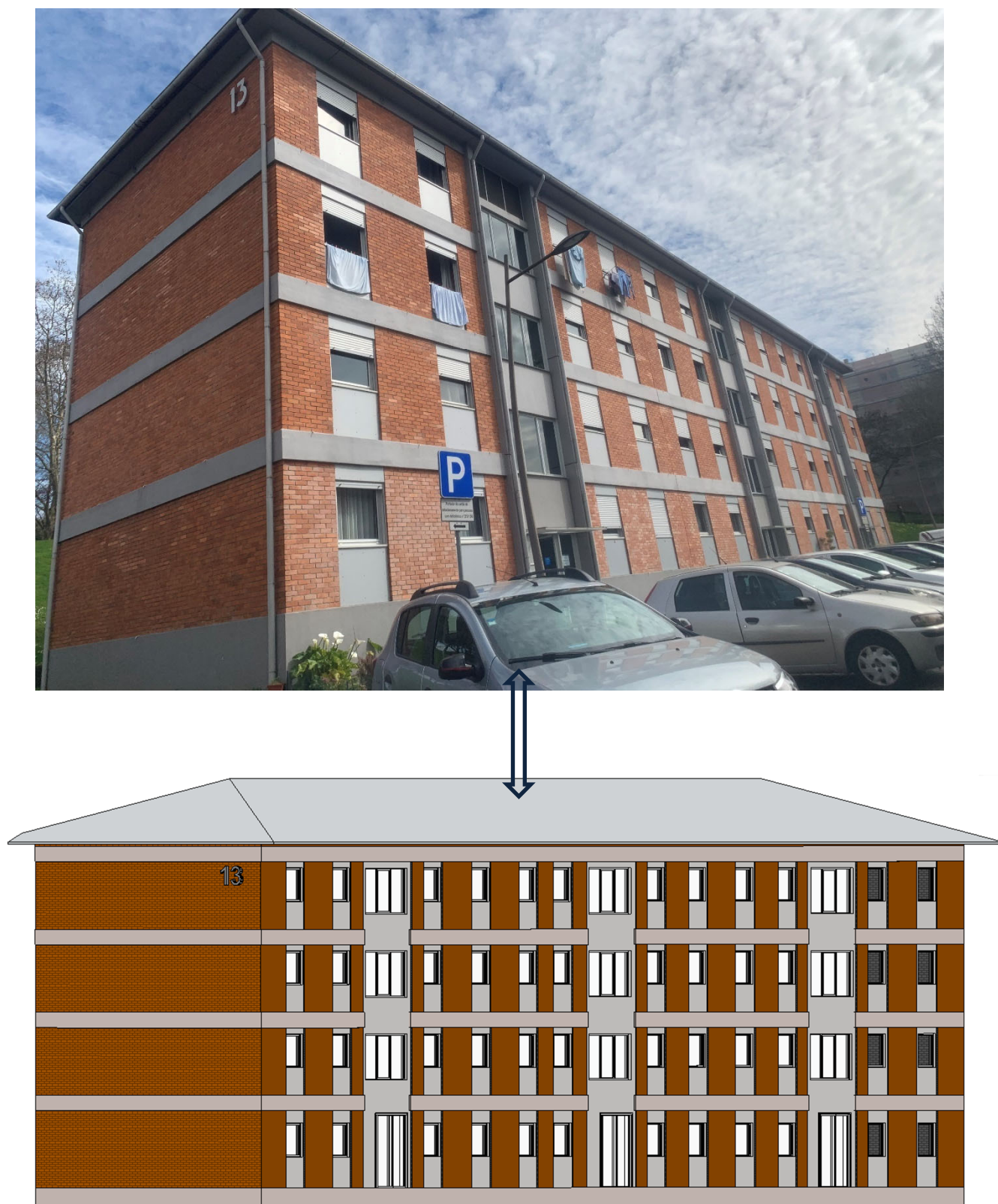


Figura 40 - Edifício Existente x Modelo em BIM (vista frontal)

3.5. IMPORTAÇÃO DO MODELO PARA UM AMBIENTE BEM – DESIGNBUILDER

Após o modelo finalizado no Revit, pode-se seguir para a etapa de integração e exportação do edifício modelo para um ambiente BEM. O intuito desse subcapítulo é explicar como acontece a integração de um edifício modelado em ambiente BIM para um ambiente BEM, no que tange a transferência de dados e propriedades dos materiais conforme consta no modelo BIM. Em seguida, como ocorre a importação desse modelo no ambiente BEM, que no caso dessa tese, será utilizado o software DesginBuilder como ambiente BEM para posterior análise energética do edifício que será explicado mais afundo nos Capítulos 4 e 5.

Para que seja possível exportar o modelo criado em um ambiente BIM (Revit) para um ambiente BEM (DesignBuilder), são necessárias algumas configurações que serão demonstradas neste subcapítulo. Tendo sido concluída a modelação da arquitetura do edifício, por forma a preparar o modelo para a análise energética, foram inseridas as propriedades térmicas de todos os materiais presentes nos elementos de construção. O Revit possui uma biblioteca de materiais correntes utilizados na construção. Para isso, basta ir às propriedades do material, e caso não tenha a propriedade térmica, deve-se adicionar (Figura 41).

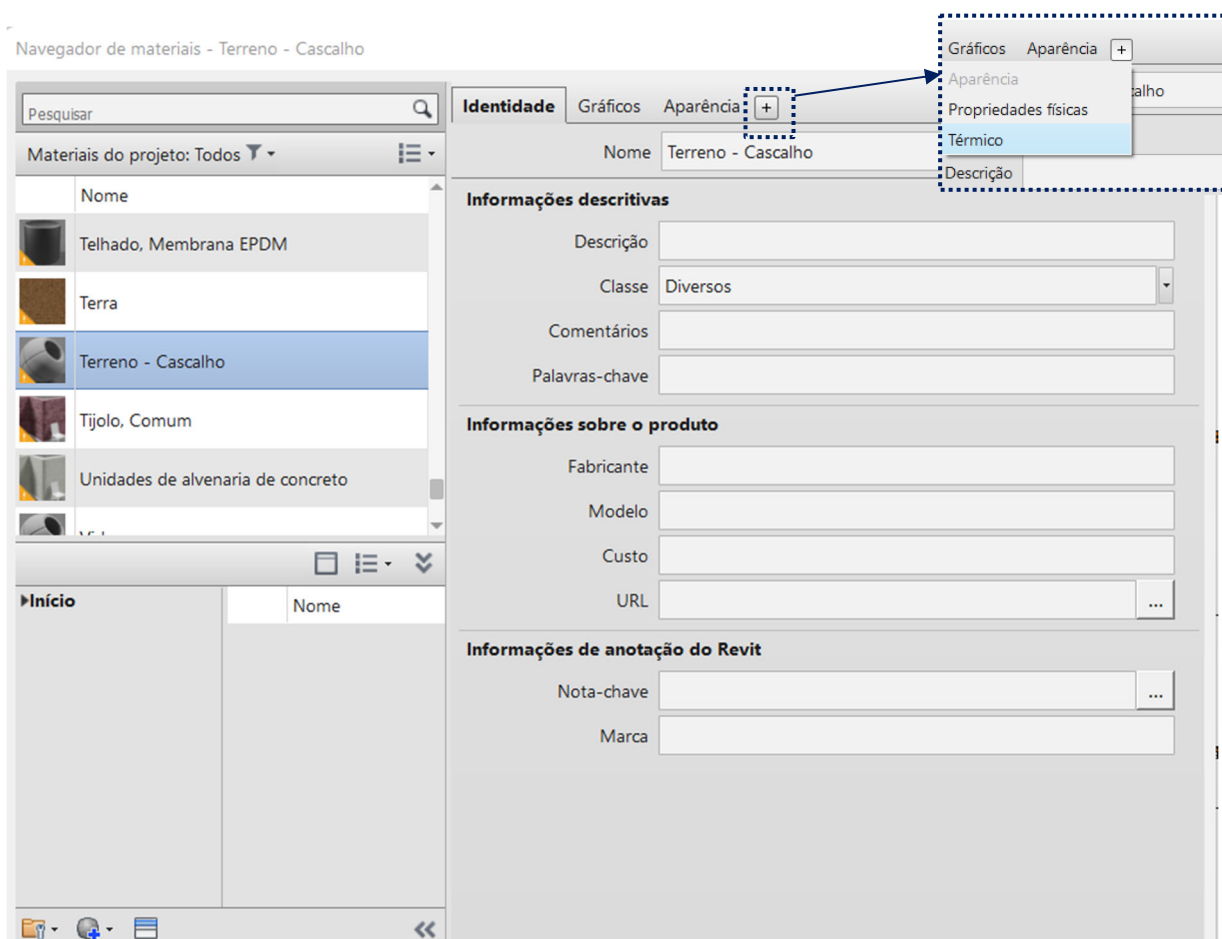


Figura 41 - Inserindo Propriedades Térmica dos Materiais de construção

Após todos os materiais conter as devidas propriedades térmicas, segue para a etapa de configurações de energia, para criar um modelo analítico que será exportado do Revit em formato gbXML. Com o intuito de que todos os materiais e camadas de construção inseridas no modelo BIM sejam exportados

de forma fidedigna para o ambiente BEM, sem alterar as propriedades térmicas e/ou espessuras dos mesmos, deve-se ir na aba de configurações de energia, editar as opções avançadas, e seleccionar a caixa de diálogo na aba de propriedades térmicas chamada “elementos detalhados” (Figura 42).

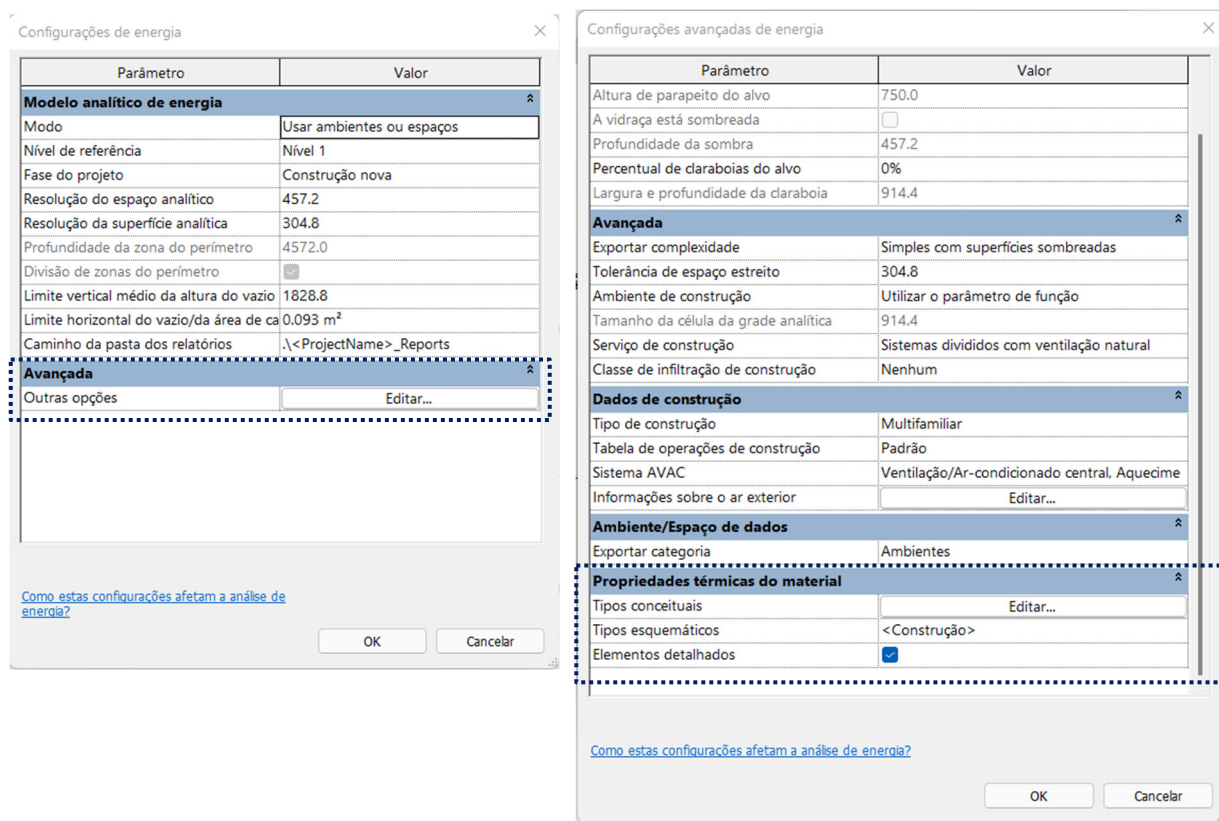


Figura 42 - Configurações de Energia no Revit

Com essas configurações devidamente finalizadas, pode-se então criar o modelo analítico e em seguida seleccionar a opção “exportar em gbXML” usando elementos de ambientes/espacos.

Após obter o arquivo em formato gbXML exportado do Revit, a etapa final será importar este modelo para o DesignBuilder (DB) e obter a simulação energética do edificio. Portanto, para finalizar essa etapa, basta abrir o software DB, seleccionar a opção “importar 3D Model”. Em seguida, ao importar o arquivo gbXML, irá aparecer uma tela inicial com um “preview” do modelo, onde deve-se efetuar algumas configurações iniciais antes de finalizar a importação, conforme demonstrado na Figura 43.

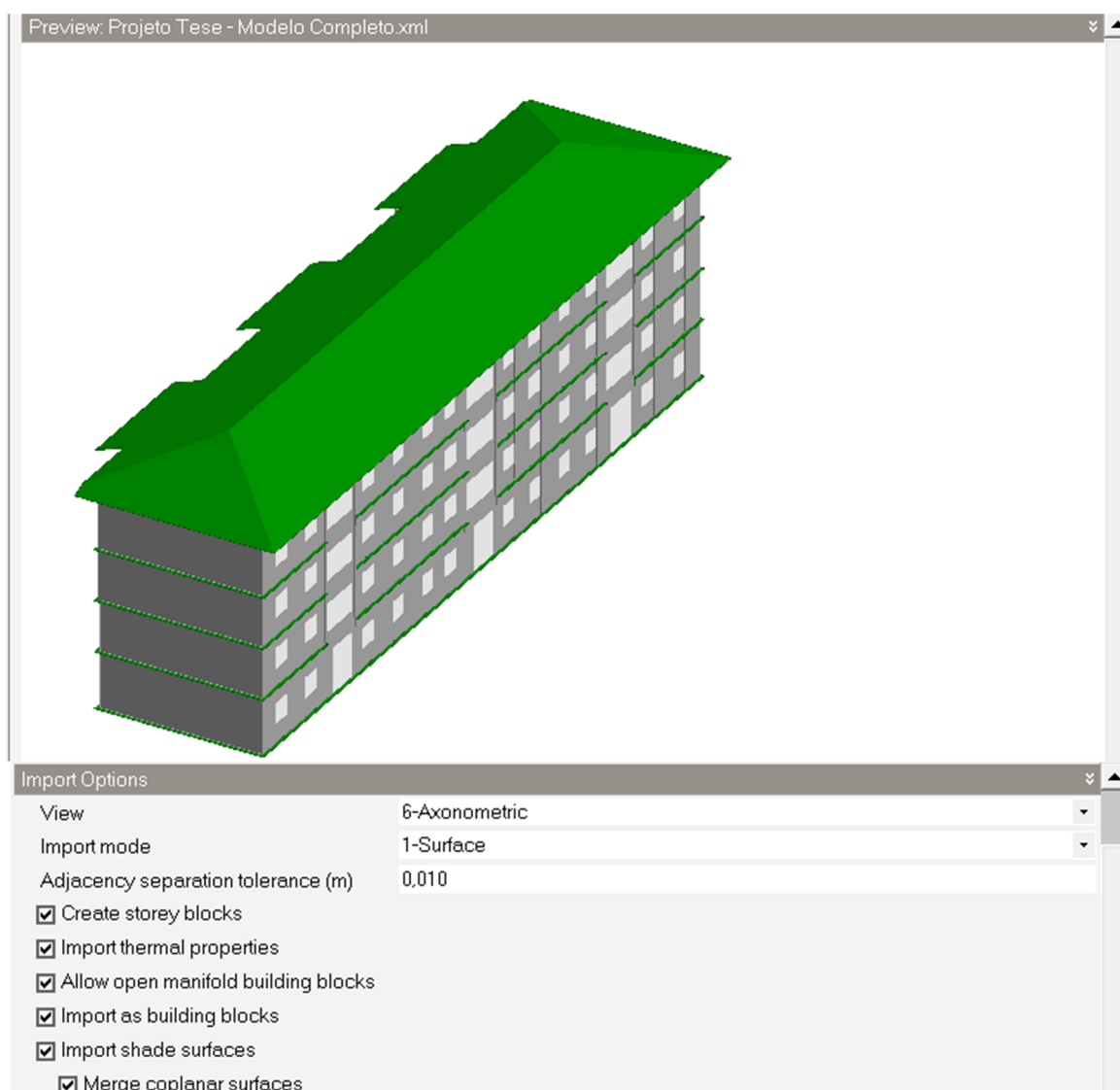


Figura 43 - Visualização finalizada no DB

Após isso, o modelo já está finalizado para que seja feita as devidas configurações para simulação energética do edifício. Essas configurações serão detalhadas no Capítulo 4 e a análise dos resultados discutidas no Capítulo 5 dessa tese.

4

CASO DE ESTUDO

4.1. OBJETIVOS

O principal objetivo da tese consiste na aplicação de simulações em ambiente BEM para que se possa avaliar o desempenho energético de um conjunto habitacional tomado como caso de estudo, buscando obter resultados que justifiquem adotar a metodologia exposta na tese para futuros projetos de reabilitação. Sendo assim, neste capítulo, o objetivo é caracterizar o edifício em estudo, explorando desde sua fase original (em 1978) até a reabilitação que foi executada no edifício em 2011 e propor uma nova fase com possíveis soluções de reabilitação, com o intuito de demonstrar resultados práticos da metodologia desenvolvida na tese, onde permite gerar simulações energéticas e obter resultados fidedignos, simples e rápido do impacto dessas propostas no edifício, para que venha a ser utilizado em um projeto futuro de reabilitação.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO EDIFÍCIO EM ESTUDO

4.2.1. ENQUADRAMENTO

Neste subcapítulo, será caracterizado as fases do edifício de habitação social utilizado como caso de estudo utilizado para aplicação da metodologia proposta no Capítulo 3. O conjunto habitacional é composto por 4 edifícios isolados, identificados pelos números 12, 13, 14 e 15 (Figura 44). É um complexo de edifícios multifamiliar, que fica localizado na freguesia de Lordelo do Ouro, na cidade do Porto. Para a tese será estudado apenas o edifício 13 do conjunto habitacional.

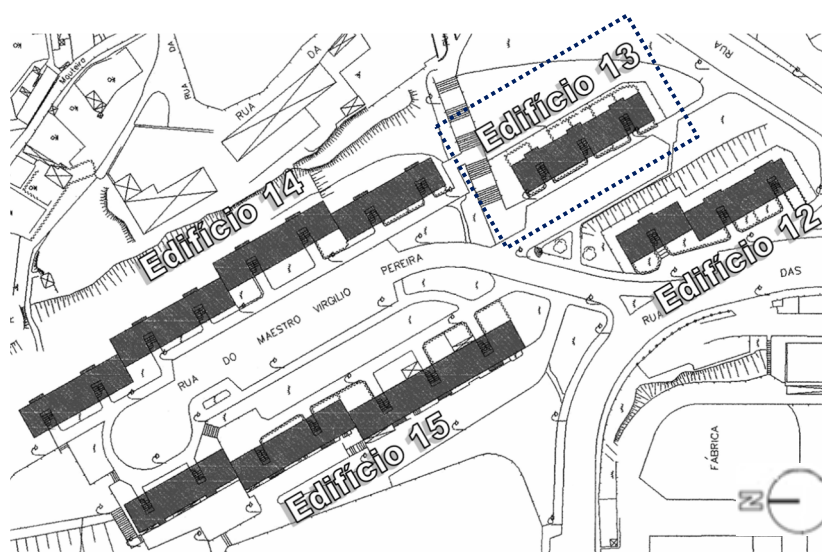


Figura 44 - Bairro de Lordelo do Ouro

O conjunto habitacional tem um total de 179 apartamentos, com tipologias T1 até T5, sendo em maior quantidade as tipologias T3 (72 habitações). A construção dos edifícios foi concluída em 1978 e com o passar dos anos o bairro encontrava-se em estado degradado e apresentava diversas patologias, sendo então solicitada a primeira proposta para um projeto de reabilitação do conjunto habitacional em 2005, e obra de reabilitação finalizada em 2011.

A definição de uma metodologia de reabilitação exige o conhecimento do modo como se encontram executados os diferentes elementos de construção associados, principalmente, à envolvente exterior. Com base nisso, será exposto nesse subcapítulo os elementos principais relacionados a envolvente exterior (cobertura, paredes exteriores, vãos envidraçados e proteções solares e sistemas de ventilação das habitações) de cada uma das fases do edifício, para que se possa entender como era o edifício na sua versão original, o que foi proposto e executado na reabilitação, e como se encontra o edifício hoje, após 11 anos.

Neste subcapítulo, após explanar as soluções construtivas pré e pós reabilitação, será proposto algumas soluções teóricas de reabilitação ao edifício 13 em estudo, com o intuito de que essas propostas sejam analisadas posteriormente em um software BEM e que com essa análise seja possível compreender o ganho energético que se conseguiria obter com a implementação de cada solução, para que fique claro como se torna mais simples de analisar um projeto de reabilitação com a metodologia proposta na tese.

4.2.2. FASE 1 (1978) – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PRÉ-REABILITAÇÃO

O edifício teve a sua construção finalizada em 1978, onde vale ressaltar que ainda não existia nessa época nenhum regulamento para requisitos térmicos dos edifícios, sendo o primeiro Decreto de lei 40/90 (Regulamento das características do comportamento térmico dos edifícios – RCCTE) criado apenas em 1990. Portanto, as principais soluções construtivas relacionadas a envolvente exterior que foram utilizadas na fase pré-reabilitação estão descritas na Tabela 4, e demonstrada a aparência original do edifício na Figura 45.

Tabela 4 - Composição dos diferentes elementos da Fase 1

ELEMENTO	SOLUÇÃO	VALOR
COBERTURA	× Cobertura Inclínada (3 águas nos extremos e 2 águas no intermédio);	U= 3,4 W/m ² . °C
	× Revestimento de chapas onduladas em fibrocimento;	
	× Desvão da cobertura ventilado;	
	× Sobre o pavimento do desvão ventilado tem a laje maciça de Betão armado com (20cm);	
	× Sem qualquer tipo de isolamento térmico.	
PAREDES EXTERIORES (ZONAS CORRENTES)	× Parede dupla em alvenaria de tijolo perfurado (30cm), face à vista:	U = 1,3 W/m ² . °C
	Ext.	
	Tijolo perfurado (11cm)	
	Caixa de Ar (4cm)	
	Reboco de impermeabilização (2cm)	
	Tijolo perfurado (11cm)	
	Reboco à base de cimento (2cm)	
	Int.	

PAREDES EXTERIORES (ZONAS SINGULARES)	* Placas de fibrocimento fixas mecanicamente nos troços de fachada sob os vãos envidraçados das salas e quartos.	
PONTOS SINGULARES	* O topo da laje de piso se encontra saliente em relação à face exterior dos tijolos; * Pilares revestidos pelo exterior com tijolo de face a vista cortado; * Tubos de ventilação/drenagem na base da caixa-de-ar das paredes exteriores;	
LAVANDARIA	* Grelha composta por elementos cerâmicos, que, na generalidade dos fogos, foi posteriormente alterada por uma parede de tijolo vazado ou tijolo face à vista;	
VÃOS ENVIDRAÇADOS	* Caixilharia de madeira com vidro simples incolor de mm e proteção solar exterior em estores de PVC de cor branca, com uma configuração distinta entre si: - Os vãos envidraçados das janelas dos quartos são formados por uma Janela de guilhotina; - Os vãos envidraçados das janelas das instalações sanitárias são formados por uma janela de batente de uma folha com eixo horizontal ou vertical, sem proteção solar; - Os vãos envidraçados das janelas das salas são formados por duas janelas de guilhotina; - Os peitoris das janelas são em madeira e possuem um ou dois orifícios de drenagem.	$U = 3.4$ W/m ² .°C
VENTILAÇÃO	* Chaminé coletiva que agrega a totalidade das condutas de exaustão das cozinhas das habitações de até 8 fogos; * Não existem dispositivos de extração de ar nas instalações sanitárias.	



Figura 45 - Edifício na fase 1: Pré-reabilitação

4.2.3. FASE 2 (2011) – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PÓS-REABILITAÇÃO

Após 33 anos de utilização do edifício, e sem nenhum tipo de manutenção efetuada durante esse tempo (o que, de acordo com o RGEU deveria ocorrer de 7 em 7 anos) foi realizado a primeira obra para reabilitação do conjunto habitacional, que já se encontrava com um nível de degradação e desgaste bastante elevado. Portanto, assegurar a durabilidade do conjunto habitacional era o maior desafio (visto que é uma habitação social e não são efetuadas as manutenções periodicamente, como deveriam) para esse projeto de reabilitação, além da busca de minimizar o desconforto dos utilizadores, resolver problemas de humidade e assegurar uma ventilação adequada. Para atender essas a essas estratégias, as soluções adotadas em 2011 para esse projeto estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição dos diferentes elementos da Fase 2 (Adaptado de [45])

ELEMENTO	SOLUÇÃO	VALOR
COBERTURA	* Cobertura Inclinada (3 águas nos extremos e 2 águas no intermédio); * Revestimento com Painel Sandwich (preenchido com lã mineral de 3cm); * Desvão da cobertura ventilado; * Sobre o pavimento do desvão ventilado com a laje maciça de Betão armado com (20cm) foram aplicados painéis rígidos de isolamento térmico em lã mineral com 8cm de espessura;	U= 0,45 W/m ² .°C
PAREDES EXTERIORES (ZONAS CORRENTES)	* Conservou-se a parede dupla simples original – apenas foram efetuados tratamentos singulares onde o material encontrava-se degradado.	U = 1,3 W/m ² .°C
PAREDES EXTERIORES (ZONAS SINGULARES)	* Placas de fibrocimento substituídas por painéis em alumínio pré-lacado e termo colado sobre uma alma em polietileno fixos em uma estrutura de aço inox (para salas e quartos), e para as casas de banho aplicados apenas na parte superior da caixilharia; * Na caixa de ar formada foi aplicado painel rígido de poliestireno extrudido com 3cm e impermeabilizado na face interior com emulsão betuminosa.	
PONTOS SINGULARES	* Aplicadas caixas de estore em madeira revestidas pelo seu interior com isolamento térmico constituído por painéis rígidos de lã mineral com uma espessura de 2cm. * Aplicação de grelha de ventilação autorregulável nas caixas de estore para admissão de ar que garantem um caudal variável entre 30 e 45 m³/h.	
LAVANDARIA	* Substituição das grelhas compostas por uma estrutura metálica de ocultação, fixadas aos elementos laterais de betão dos corpos em balanço e introdução do estendal. * Criação de aberturas permanentes de ventilação entre os elementos laterais de betão dos corpos em balanço, realizadas em chapa de alumínio anodizado à cor natural.	
VÃOS ENVIDRAÇADOS	* Substituição das caixilharias de madeira por caixilharia de alumínio anodizado à cor natural com: - Os vãos envidraçados das janelas da lavandaria são formados por uma janela de correr de duas folhas com vidro simples incolor de 8cm; - Os vãos envidraçados das janelas das instalações sanitárias e quartos são formados por uma janela de batente de uma folha, com vidro duplo incolor de 4mm e 10mm (respectivamente), e proteção solar em estores de alumínio anodizado; - Os vãos envidraçados das janelas das salas são formados por uma janela de correr de duas folhas com vidro duplo incolor de 6mm e proteção solar em estores de alumínio anodizado;	Salas / Quartos e Casa de banho: U = 3,0 / 4,8 e 2,8 (W/m ² .°C)

VENTILAÇÃO

- * Ventilador mecânico coletivo nas cozinhas associados a relógios programadores que extraem, em regime contínuo, um caudal de 125 a 400m³/h por apartamento;
- * Extração de ar nas instalações sanitárias de cada apartamento com ventilador mecânico de fachada (funcionamento contínuo e caudal de 60m³/h).



Figura 46 - Edifício na fase 2: Pós-reabilitação

É perceptível os ganhos, principalmente visuais, que o conjunto habitacional obteve após esse projeto de reabilitação concluído em 2011 (Figura 46). O conjunto habitacional já se encontrava em um estado de degradação avançado, como pode-se observar na Tabela 6 com as fotos comparativas de como era e como ficou o edifício pós reabilitação. O Professor, Doutor e Engenheiro Vasco Peixoto de Freitas foi o responsável pelo projeto de reabilitação e estudo das patologias efetuadas para esse conjunto habitacional, e foi citado pelo próprio, durante um Webinar do Fora de Portas sobre o bairro de Lordelo, que uma das suas maiores dificuldades para esse projeto se deu em assegurar a durabilidade da construção com um baixo investimento disponível para tal.

Tabela 6 - Quadro comparativo do pré e pós reabilitação

PRÉ-REABILITAÇÃO	PÓS-REABILITAÇÃO
	
COBERTURA E CHAMINÉ	COBERTURA E CHAMINÉ



CAIXA DE ESCADA



CAIXA DE ESCADA



CAIXILHARIAS E ENVIDRAÇADOS



CAIXILHARIAS E ENVIDRAÇADOS



LAVANDARIA



LAVANDARIA

4.2.4. FASE 3 – CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA PROPOSTA PARA UMA REABILITAÇÃO

Com o intuito de aplicar a metodologia proposta na tese utilizando o bairro de Lordelo do Ouro como caso de estudo, será proposto aqui algumas soluções passivas para um projeto de reabilitação (soluções essas que possivelmente seriam propostas como uma opção em um projeto de reabilitação, demonstrada aqui com o intuito de análise teórica para o direcionamento de uma possível tomada de decisão), utilizando como caso de estudo apenas o edifício 13 do conjunto habitacional. O intuito de cada proposta que será descrita na Tabela 7 é o de, posteriormente, gerar simulações em cima do modelo BEM (conforme demonstrado no capítulo 3) do edifício nas condições atuais, Fase 3 - pós reabilitação, buscando assim analisar resultados através da antecipação com a utilização da tecnologia “BIM ao BEM” que essas soluções trariam para o edifício.

Tabela 7 - Caracterização construtivas das propostas de reabilitação para Fase 3

ELEM.	ESQUEMA ILUSTRATIVO (Exp. DB)	PROPOSTA	VALOR
P A R E D E S E X T E R I O R E S	EXT. 110,00mm gb×ML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017 30,00mm gb×ML Poliestireno, Extrudido: 30 [mm] - aim3003 40,00mm gb×ML Ar: 40 [mm] - aim3072 20,00mm gb×ML Impermeabilização: 20 [mm] - aim3079 110,00mm gb×ML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017 INT.	1.1: ISOLAMENTO EXTERNO Tijolo perfurado (11cm) XPS (3cm) Caixa de Ar (4cm) Reboco de impermeabilização (2cm) Tijolo perfurado (11cm) Reboco à base de cimento (2cm)	U= 0.549 W/m².°C
	EXT. 110,00mm gb×ML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017 40,00mm gb×ML Ar: 40 [mm] - aim3072 20,00mm gb×ML Impermeabilização: 20 [mm] - aim3079 30,00mm gb×ML Poliestireno, Extrudido: 30 [mm] - aim3003 110,00mm gb×ML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017 INT.	1.2: ISOLAMENTO INTERNO Tijolo perfurado (11cm) Caixa de Ar (4cm) Reboco de impermeabilização (2cm) XPS (3cm) Tijolo perfurado (11cm) Reboco à base de cimento (2cm)	U= 0.549 W/m².°C

110,00mm gbXML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017	EXT.
80,00mm gbXML Poliestireno, Extrudido: 30 [mm] - aim3003	
40,00mm gbXML Ar: 40 [mm] - aim3072	
20,00mm gbXML Impermeabilização: 20 [mm] - aim3079	
110,00mm gbXML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017	
20,00mm gbXML Argamassa de parede: 20 [mm] - aim3024	INT.

1.3: ISOLAMENTO EXTERNO

Tijolo perfurado (11cm)
XPS (8cm)
Caixa de Ar (4cm)
Reboco de impermeabilização (2cm)
Tijolo perfurado (11cm)
Reboco à base de cimento (2cm)

U= 0,327
W/m². °C

120,00mm gbXML Poliestireno, Extrudido - aim3003	EXT.
80,00mm gbXML Lã de rocha: 80 [mm] - aim3118	
200,00mm gbXML Concreto, Faixa de areia/cimento - aim3125	INT.

2.1: ISOLAMENTO EXTERNO

XPS (12cm)
Lã mineral (8cm)
Laje Maciça de Betão armado (20cm)

U = 0,16
W/m². °C

C
O
B
E
R
T
U
R
A

30,00mm gbXML Poliestireno, Extrudido - aim3003	EXT.
80,00mm gbXML Lã de rocha: 80 [mm] - aim3118	
200,00mm gbXML Concreto, Faixa de areia/cimento - aim3125	INT.

2.2: ISOLAMENTO EXTERNO

XPS (3cm)
Lã mineral (8cm)
Laje Maciça de Betão armado (20cm)

U = 0,28
W/m². °C

80,00mm gbXML Lã de rocha: 80 [mm] - aim3118	EXT.
200,00mm gbXML Concreto, Faixa de areia/cimento - aim3125	
40,00mm gbXML Ar - aim3072	INT.
13,00mm gbXML Placa de gesso - aim3094(not to scale)	

2.3: TETO FALSO

Lã mineral (8cm)
Laje Maciça de Betão armado (20cm)
Caixa de Ar (4cm)
Placa de Gesso (1,3cm)

U = 0,30
W/m². °C

**E
N
V
I
D
R
A
Ç
A
D
O
S**



(Representativo, adaptado de [1])

3.1: Alterando todos os envidraçados para um com coeficiente de transmissão térmica de 2,8. $U = 2,8$ (W/m².°C)

3.2: Alterando todos os envidraçados para um com coeficiente de transmissão térmica de 1,3. $U = 1,3$ (W/m².°C)

FINAL

Unir propostas as soluções apresentadas anteriormente com as que apresentarem os melhores desempenho individuais após a simulação, para analisar seu desempenho em conjunto.

Portanto, as simulações que serão utilizadas para análise das propostas sugeridas irão seguir a metodologia exposta na Figura 47, e será apresentada a caracterização dos parâmetros necessários a serem inseridos no programa DesignBuilder junto com suas condições de simulações no subcapítulo 4.3, e por fim, a análises dos resultados apresentada no capítulo 5.



Figura 47 - Metodologia utilizada para simulação das propostas

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO NO DESIGNBUILDER

4.3.1. ENQUADRAMENTO

Neste subcapítulo será caracterizado os parâmetros que foram necessários adicionar no software Designbuilder para que o modelo criado no Revit e exportado para o software BEM apresentasse as características, mais próximas do real possíveis, do edifício 13 (utilizado como caso de estudo). No capítulo 3 foi apresentado todo o processo de modelagem do edifício no Revit, até chegar na fase da importação do modelo no software DesignBuilder, para que então, seja caracterizado neste subcapítulo todo o restante do processo que precisa ser executado até que se obtenham as simulações desejadas.

O método de simulação dinâmica no DesignBuilder, será utilizado para determinar o uso de energia e levar em conta os efeitos da dinâmica do edifício, analisando em detalhe as contribuições da inércia térmica das paredes, a variabilidade da temperatura exterior, radiação solar, ventilação e utilização dos ocupantes, com as alterações das soluções passivas propostas. Além disso, dados detalhados devem ser considerados não apenas para as propriedades da edificação, mas também para as condições climáticas por meio de um arquivo meteorológico que representa as condições climáticas típicas da localização da edificação.

4.3.2. BREVE EXPLICAÇÃO DO DESIGNBUILDER

Para uma breve percepção do software que será utilizado nas etapas seguintes, além de poder consultar o Guião, Anexo A1, dessa tese, será feita uma breve explicação do programa para que se possa posteriormente passar para a fase de introdução dos dados. O DesignBuilder divide-se na sua interface em diferentes níveis de trabalho que ficam expostos no lado esquerdo do programa (Figura 48).

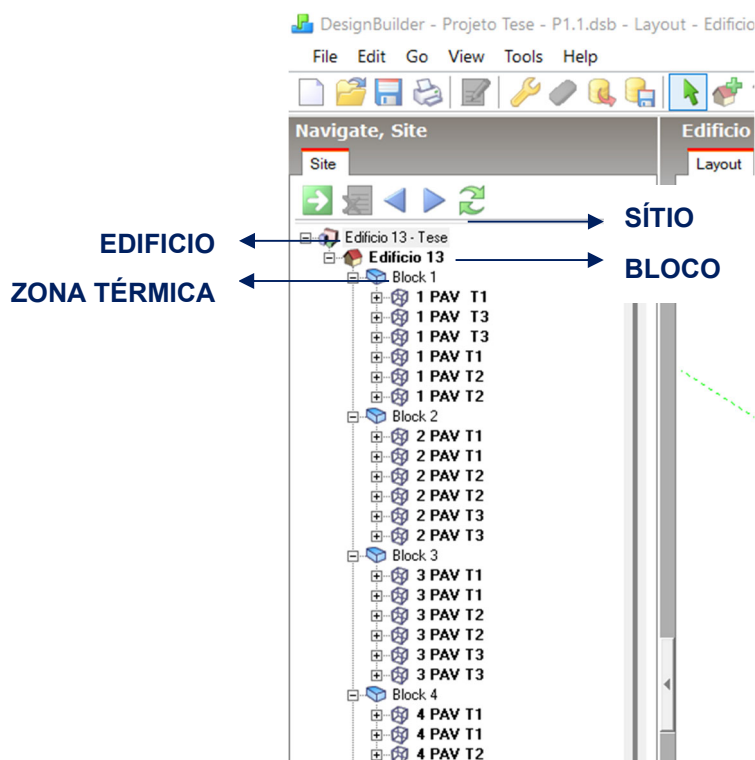
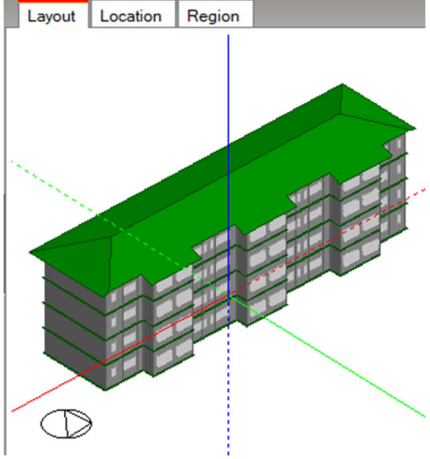
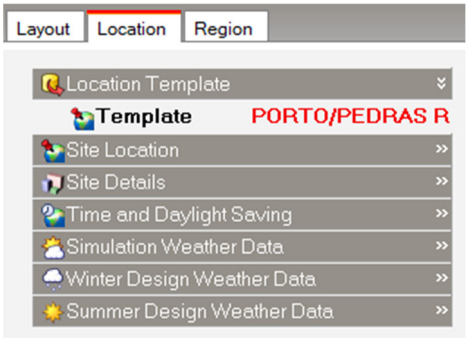
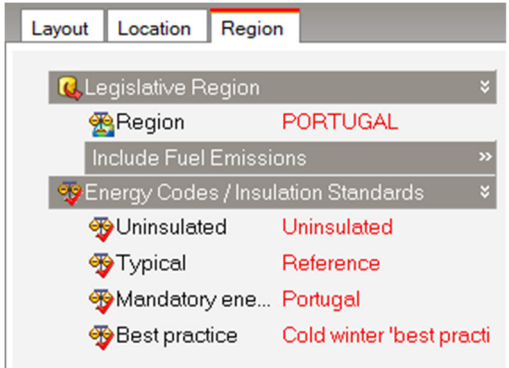
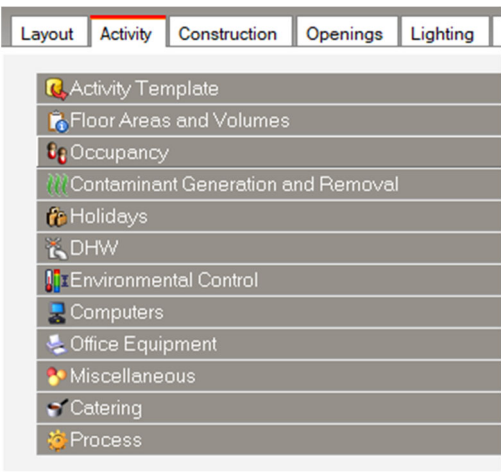
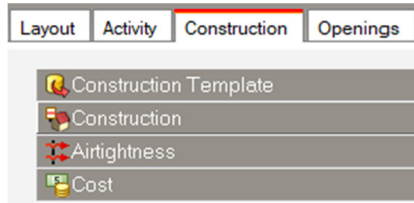
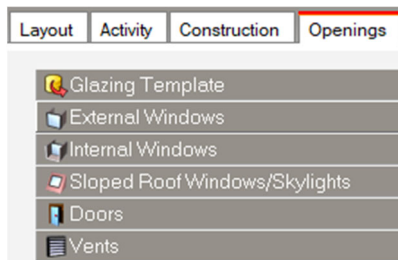
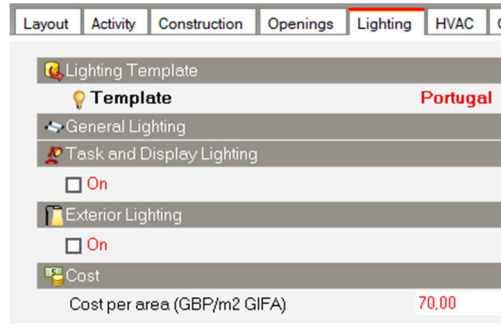


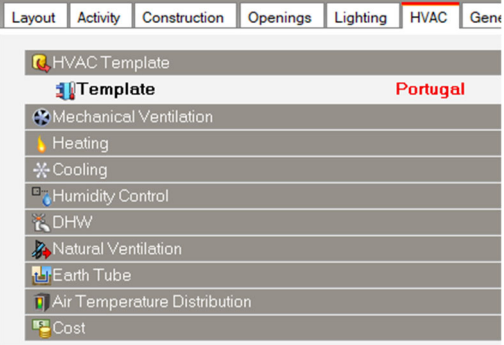
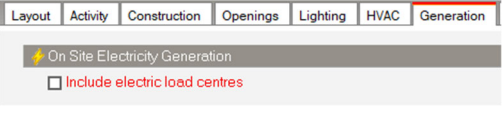
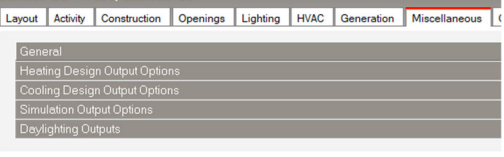
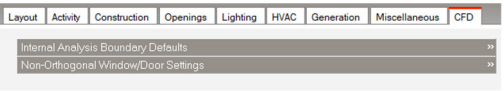
Figura 48 - Interface DesignBuilder

Cada um desses níveis permitem o acesso a diferentes tipos de configurações e diferentes abas para implementar as informações mais detalhadas do modelo, como será descrito brevemente na Tabela 8.

Tabela 8 - Descrição das abas de ferramentas no DesignBuilder

NÍVEIS	FERRAMENTA	DESCRIÇÃO	APARÊNCIA
Sítio	Layout	Campo de visualização do modelo 3D do edifício que permite a edição do bloco do edifício.	
	Localização	Neste campo consegue-se editar a localização do edifício, os dados climáticos, as poupanças de iluminação natural em horário de verão, entre outros referentes a localização e tempo.	
	Região	Serve para escolher a região legislativa e os códigos energéticos do projeto.	

Edifício / Blocos e Superfície	Atividade	Serve para editar os dados relativos à atividade do edifício tais como: tipo de atividades do edifício, densidade de ocupação, conforto, controlo ambiental entre outros.	
	Construção	Campo onde se define a composição e a espessura dos diferentes elementos construtivos.	
	Aberturas	Campo onde se define o tipo de janelas e portas que se pretende inserir no edifício. Também é possível introduzir dispositivos de sombreamento para as janelas.	
	Iluminação	Campo onde se define a intensidade e o período de funcionamento da luz artificial.	

	AVAC Campo onde pode-se definir o sistema de ventilação natural e/ou mecânico, um sistema de energia auxiliar, um sistema de arrefecimento e/ou aquecimento e controlo da humidade e um sistema para a água quente do Edifício.	
	Geração Campo de geração elétrica no local do edifício.	
	Diversos Campo que permite definir opções que se deseja obter na exportação dos resultados.	
	CFD “Computational Fluid Dynamics”: Campo onde pode-se definir os parâmetros de temperatura interna de superfície interior /exterior, temperatura superficial interna das janelas, temperatura média do ar interior e temperatura de entrada do ar.	

4.3.3. INTRODUÇÃO DE DADOS NO PROGRAMA

Concluída a modelação e importação do edifício para o software BEM, pode-se passar para a fase da introdução de alguns dados importantes no simulador, que fazem com que as condições se assemelhem o mais próximo possível à realidade. É de salientar que, como intuito é avaliar a nível de desempenho das alterações da envolvente, a arquitetura interna do edifício não foi detalhada, pois isso não iria interferir nos resultados desejados.

4.3.3.1. GEOMETRIA, LOCALIZAÇÃO E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DO EDIFÍCIO

Quanto à sua geometria, o edifício ao ser exportado do Revit para o DB já vem dividido por zonas térmicas de acordo com a tipologia de cada habitação e com sua geometria definida. Único ponto referente a esse quesito que deve ser introduzido no DB é referente a atividade de cada uma dessas tipologias, para isso, basta ir à zona térmica desejada e na aba “Activity”, e definir o “Activity template” que melhor se enquadre para zona em questão, conforme exemplo demonstrado na Figura 49 (onde definiu-se o template da atividade como TM59_1_BedLivingKitchen para a zona 1 PAV T1).

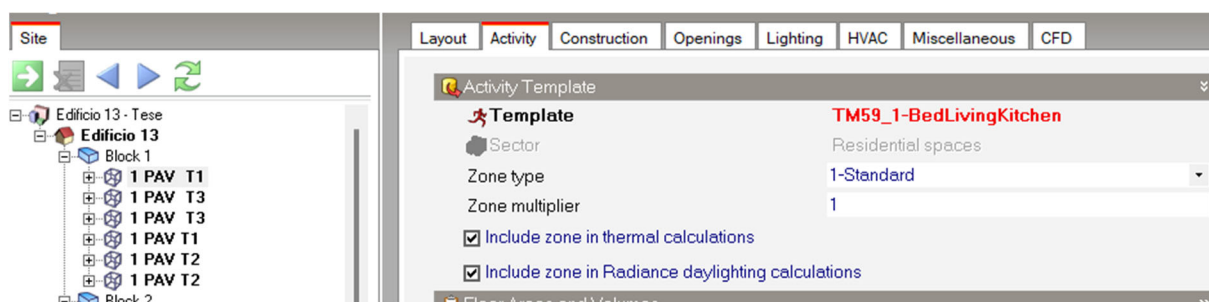


Figura 49 - Definição do Activity Template no DB

Para o estudo, as tipologias consideradas foram: 2 T1, 2 T2 e 2 T3, para cada piso do edifício 13 (total de 4 pisos), e definidos as devidas atividades referentes a cada zona, sendo dispostos da seguinte maneira (Figura 50):

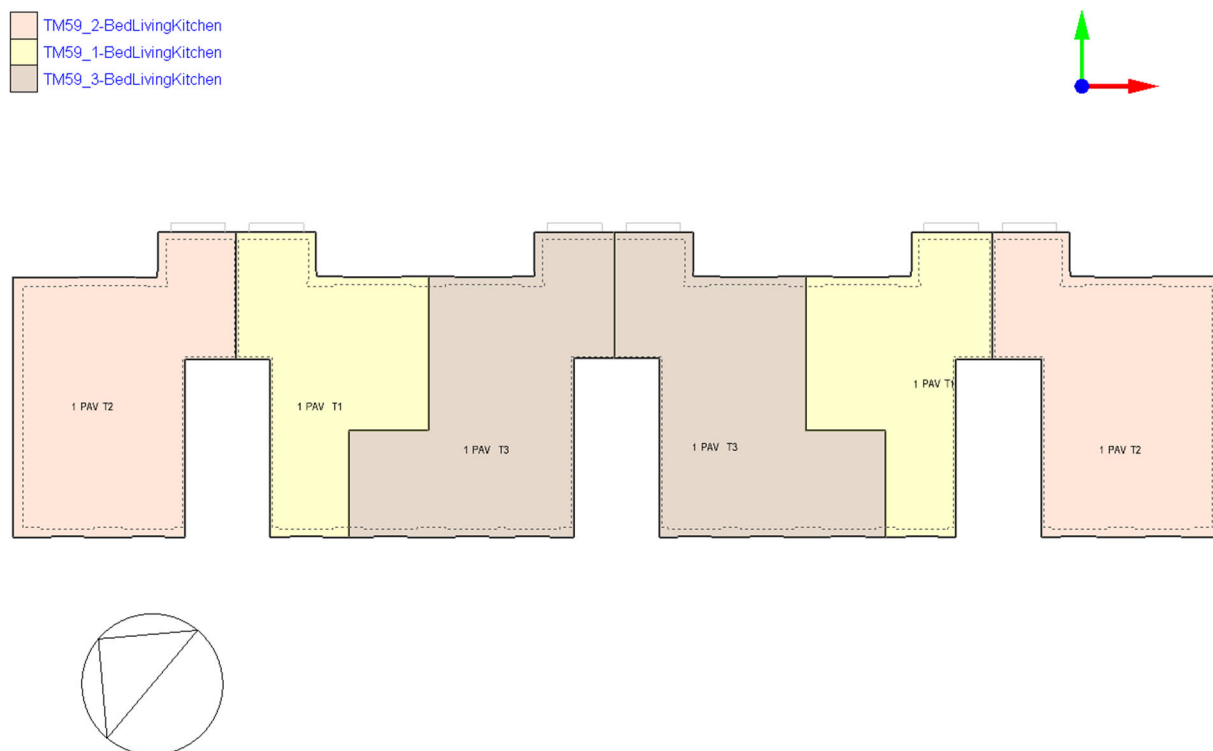


Figura 50 - Tipologias do Edifício 13 considerada para Estudo

Totalizando assim em 24 fogos, com 72 moradores para o edifício 13, totalizando em uma área útil de 1160 m² (Tabela 9). A densidade de ocupação (pessoas/m²) para esse edifício será de 0,06. Para esta simulação também foi necessário classificar o período de ocupação do edifício como “Residential Occ”, que considera a ocupação de acordo com a Figura 51.

Tabela 9 - Tipologias e nº de moradores

	Qnt. T1	Qnt. T1xÁrea útil (m ²)	Qnt. T1xNº pessoas (Tn+1)	Qnt. T2	Qnt. T2xÁrea útil (m ²)	Qnt. T2xNº pessoas (Tn+1)	Qnt. T3	Qnt. T3xÁrea útil (m ²)	Qnt. T3xNº pessoas (Tn+1)
1 PISO	2	80	4	2	100	6	2	110	8
2 PISO	2	80	4	2	100	6	2	110	8
3 PISO	2	80	4	2	100	6	2	110	8
4 PISO	2	80	4	2	100	6	2	110	8
TOTAL	8	320	16	8	400	24	8	440	32

```

Schedule: Compact
Occ_Residential,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays,
Until: 05:00, 1.00,
Until: 06:00, 0.80,
Until: 08:00, 0.75,
Until: 09:00, 0.50,
Until: 15:00, 0.43,
Until: 18:00, 0.50,
Until: 21:00, 0.75,
Until: 24:00, 0.80,
For: Saturday,
Until: 07:00, 1.00,
Until: 08:00, 0.80,
Until: 09:00, 0.75,
Until: 10:00, 0.50,
Until: 15:00, 0.43,
Until: 18:00, 0.50,
Until: 21:00, 0.75,
Until: 24:00, 0.80,
For: Sunday Holidays,
Until: 07:00, 1.00,
Until: 08:00, 0.80,
Until: 09:00, 0.75,
Until: 10:00, 0.50,
Until: 15:00, 0.43,
Until: 18:00, 0.50,
Until: 21:00, 0.75,

```

Figura 51 - "Residential Occ" - Schedule de ocupação no DB

A nível de representação, cada tipologia representa uma zona térmica no DesignBuilder, e cada zona tem um número de referência que representa a habitação nos resultados que serão demonstrados posteriormente. Para entender os resultados é importante saber qual número diz respeito a cada habitação, sendo esses devidamente indicados na Figura 52.

T2 22899	C X. D E E S C A D A	T1 22924	T3 22946	C X. D E E S C A D A	T3 22977	T1 23007	C X. D E E S C A D A	T2 23030	4º Piso 8,4 m
T2 22451		T1 22476	T3 22498		T3 22529	T1 22559		T2 22582	3º Piso 5,7 m
T2 21720		T1 21745	T3 21767		T3 21798	T1 21828		T2 21851	2º Piso 3,0 m
T2 21271		T1 21296	T3 21319		T3 21350	T1 21381		T2 21404	1º Piso

Figura 52 - Representação das Tipologias com numeração de referência no DB

Ainda na aba das atividades, também é possível definir a temperatura pretendida para o interior do edifício, levando em consideração a cidade em que está localizado, a ventilação natural (definindo o valor de temperatura mínima e máxima para que a ventilação natural ocorra), e o mínimo de ar fresco por pessoa adotado para esse edifício.

A temperatura interior do edifício é influenciada tanto pelas trocas de calor com o meio exterior como também através dos ganhos de calor interno de um edifício (por exemplo: os equipamentos, iluminação e a ocupação). A temperatura interior divide-se em dois campos: o “Heating Setpoint Temperature” (estação de inverno) e o “Cooling Setpoint Temperature” (estação de verão). O primeiro subdivide-se nas seguintes opções preenchíveis: “Heating” e “Heating set back”, e o segundo subdivide-se em “Cooling” e em “Cooling set back”. O “Heating” e o “Cooling” correspondem à temperatura no interior do edifício durante o período em que este se encontra ocupado, para essas foram consideradas 18°C e 25°C, respectivamente. Já o “Heating set back” e o “Cooling set back” representam a temperatura no interior do edifício no período em que este não se encontra ocupado, onde foram consideradas as temperaturas de 15°C e 28°C, respectivamente (Figura 53).

Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	18,0
Heating set back (°C)	15,0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	25,0
Cooling set back (°C)	28,0

Figura 53 - Configuração das temperaturas no DB

Já o caudal de ventilação natural devido a aberturas exteriores é definido por defeito pelo programa, para um ambiente residencial, em 10 l/s por ocupante [46]. Compararam-se os valores definidos pelo programa e os regulamentados. O decreto de lei nº79/2006 [47], de 4 de abril (RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios), define o valor do caudal mínimo de ar novo, por ocupante para espaços residenciais, de 30 m³ de ar renovado por hora e por ocupante (Figura 54). Sendo assim, foi considerado o caudal mínimo referente ao tipo de atividade exercida por defeito do

programa, ou seja, é necessário cumprir os 30 m³/h por ocupante (8,333 l/s-ocupante). Desta forma, foi considerado o valor de ar fresco por pessoa que se encontra definido por defeito no programa, em 10 litros por segundo (l/s) (36 m³/h.ocupante).

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	

Figura 54 - Caudal Mínimo exigido pelo RSECE para residência

Em relação a infiltrações de ar no edifício (“Airtightness”), por pequenas fissuras e defeitos de construção, adotou-se o valor constante de 0,7 renovações de ar por hora (rph), definido por defeito pelo programa (Figura 55).

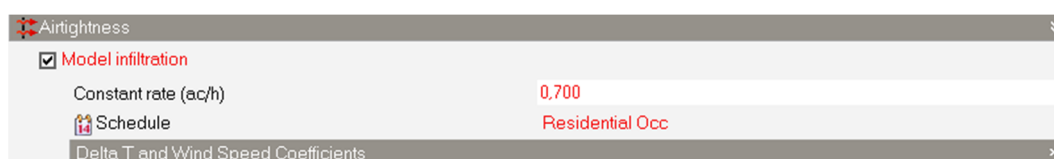


Figura 55 - Definição da Infiltração de ar no DesignBuilder

Referente a localização e elementos construtivos do edifício, ao definir corretamente essas informações e passo a passo no Revit (conforme foi demonstrado detalhadamente no Guião, Anexo A1 da tese), ao ser exportado para o DB o modelo já vem com essas informações corretas, sem necessitar de nenhuma alteração adicional. Contudo, é recomendado ir na aba de construção e aberturas para verificar se os elementos construtivos e janelas estão de acordo com todas as camadas e espessuras conforme especificado no modelo original no Revit, apenas por questão de validação.

4.3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ABERTURAS E ILUMINAÇÃO

A caracterização dos ganhos internos, tanto de ventilação quanto de equipamentos/iluminação, deve ser inserida diretamente no DB. Para a ventilação natural proveniente da abertura das janelas, devem ser definidos os horários de aberturas das janelas. Para o modelo em questão, foi inserido um schedule para manter a janela sempre aberta até que a temperatura atinja a temperatura mínima de 18°C, ao atingir essa temperatura considera a janela sempre fechada (por exemplo, durante o inverno), conforme Figura 56.

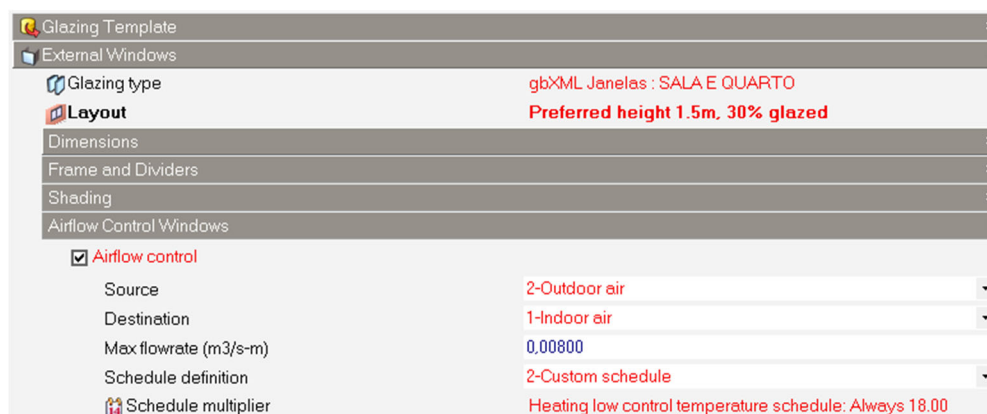


Figura 56 - Schedule de abertura das janelas no DB

As janelas referentes a lavandaria não contêm estore, porém, tem proteção solar definitiva com a proteção da estrutura metálica de ocultação externa. Já para as janelas das casas de banho, salas e quartos, contém a caixa de estore. Para a simulação foram considerados que os horários de fechamento da caixa de estore para esses ambientes (Figura 57) se dão no período da manhã para os envidraçados das casas de banho e salas (07h às 12h –Figura 58) e no período da tarde para os envidraçados das salas e quartos (15h às 18h –Figura 59) onde o sol incide diretamente na maior parte desses envidraçados.

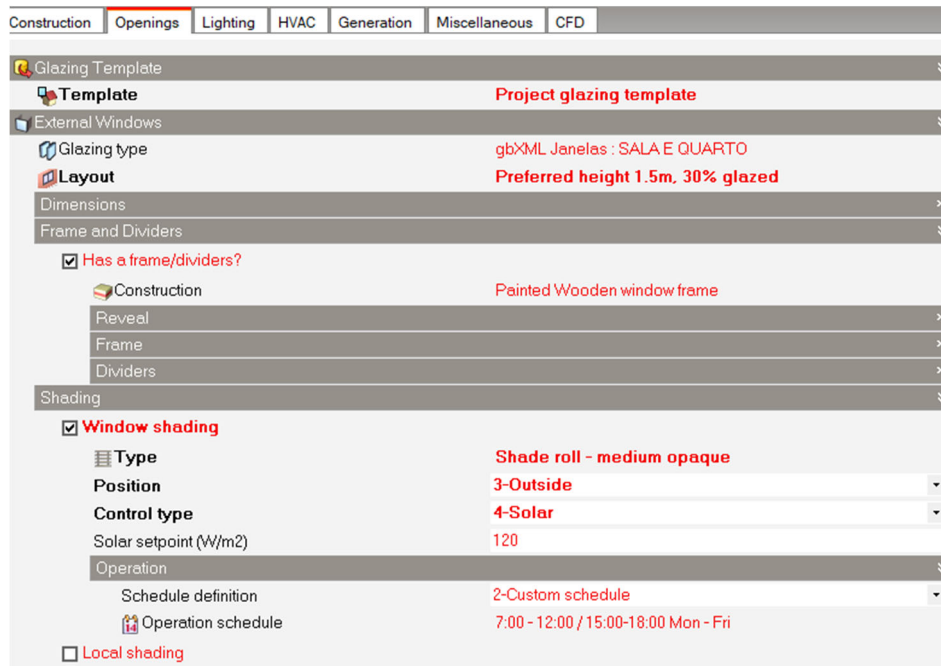


Figura 57 - Schedule para abertura da Caixa de Store no DesignBuilder

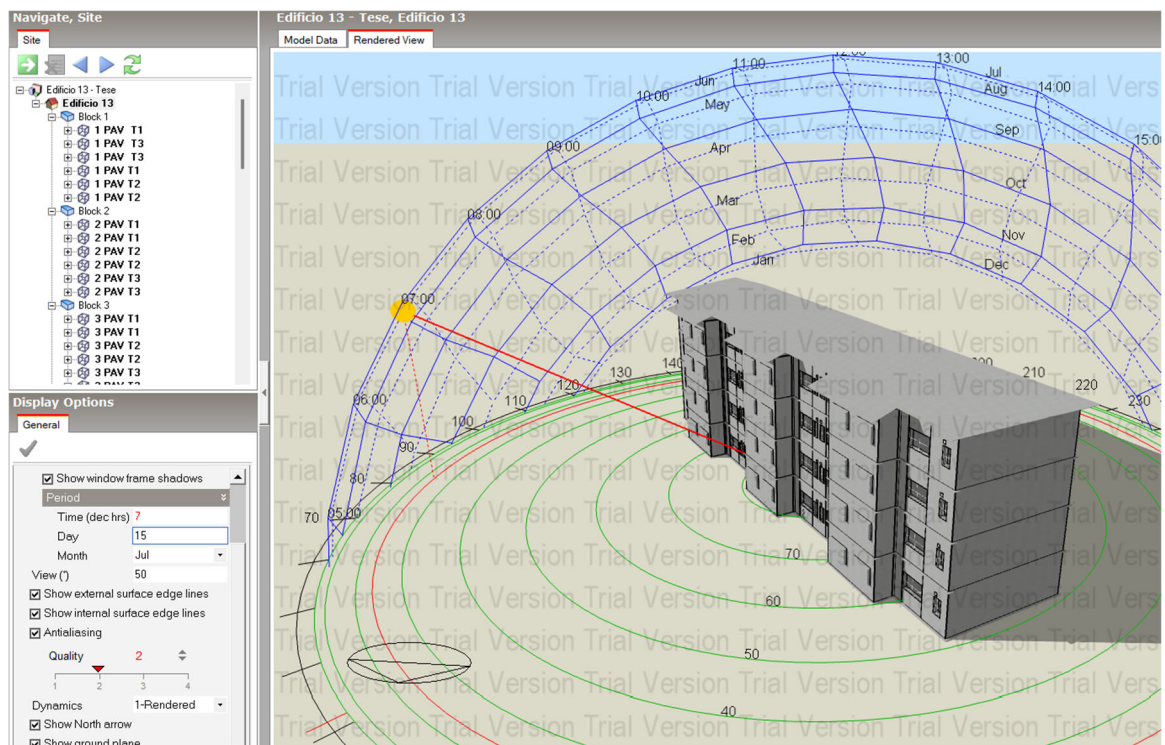


Figura 58 - Simulação da incidência solar no DB (Fundo do edifício 13)

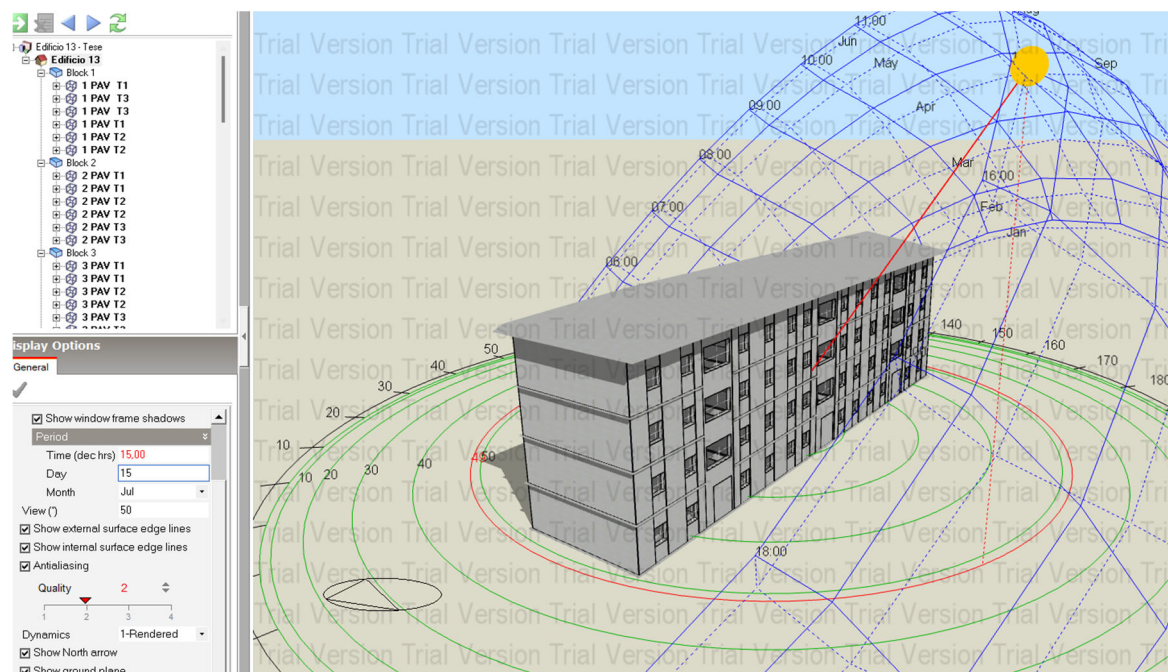


Figura 59 - Simulação da incidência solar no DB (Frente do edifício 13)

Já para o template de iluminação, um modelo para iluminação residencial da biblioteca DB sob a categoria ASHRAE 90.1-2007 foi considerada, denominada “Building Area Method Multifamily”, conforme Figura 60.

ty	Construction	Openings	Lighting	HVAC	Generation	Miscellaneous	CFD
Lighting Template							
Template							
Building Area Method, Multifamily, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 50							
General Lighting							
☒ On							
Normalised power density (W/m2-100 lux)							
2.5116							
☒ Schedule							
Residential Light							
Luminaire type							
2-Surface mount							
Return air fraction							
0.000							
Radiant fraction							
0.720							
Visible fraction							
0.180							
Convective fraction							
0.100							
Lighting Control							
☒ On							
Working plane height (m)							
0.80							
Control type							
3-Stepped							
Number of steps							
3							
Glare							
Lighting Area 1							
Lighting Area 2							
Task and Display Lighting							
☐ On							
Exterior Lighting							
☐ On							
Cost							
Cost per area (GBP/m2 GIFA)							
60,00							

Figura 60 - Template utilizado para iluminação do edifício 13 no DB

O schedule programado de utilização para o “General Lighting” foi o “Residential Light”, que define os horários de funcionamento conforme apresentado na Figura 61.

```

Profiles
Schedule:Compact
Occ_Residential,
Fraction,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays,
Until: 06:00, 0.00,
Until: 22:00, 1.00,
Until: 23:00, 0.80,
Until: 24:00, 0.20,
For: Saturday,
Until: 07:00, 0.00,
Until: 22:00, 1.00,
Until: 23:00, 0.80,
Until: 24:00, 0.20,
For: Sunday Holidays,
Until: 07:00, 0.00,
Until: 22:00, 1.00,
Until: 23:00, 0.80,
Until: 24:00, 0.20,
For: SummerDesignDay,
Until: 24:00, 1,
For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0 ;

```

Figura 61 - Schedule utilizado para Iluminação no DB

4.3.3.3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AVAC

É necessário explicar alguns conceitos que estão associados à ventilação natural no simulador DesignBuilder para uma melhor compreensão deste aspecto. A ventilação natural no programa possui duas opções: a opção “Schedule Natural Ventilation” e a opção “Calculated Natural Ventilation”. A primeira define explicitamente o valor do caudal de renovações de ar em cada zona e o valor constante do caudal de infiltração, estabelecendo um horário de funcionamento e uma gama de temperaturas em que a ventilação natural ocorre, chamada “setpoint temperature”. Por outro lado, a opção “Calculated Natural Ventilation” calcula o caudal de infiltração e de circulação do ar, baseando-se na abertura das janelas, fissuras, flutuações e diferenças de pressão derivadas do vento, controlando-o através da “setpoint temperature”. A “Calculated Natural Ventilation” aproxima-se mais da realidade, pois na realidade a ventilação não pode ser controlada com o horário de funcionamento. Apesar disto, se for conhecida a ordem de grandeza do edifício, o modo “Schedule Natural Ventilation” apresenta resultados coerentes com os reais, segundo o ficheiro help do programa DB. Com base nisto, seleccionou-se a opção “Schedule Natural Ventilation” [48], [49].

A esta seleção estão associados alguns valores, sendo um deles a infiltração do ar por pequenas fissuras, no programa chamado de Airtightness. Este apresenta um valor de 0,7 renovações por hora (rph). Outro valor associado é o valor do caudal de circulação de ar devido a aberturas exteriores, sendo este de 10 l/s por ocupante (conforme detalhado no subcapítulo 4.3.3.1).

Não há equipamentos de climatização padrão instalados na habitação social, apenas ventilação natural, portanto será assumido o modelo AVAC Simples de cargas ideais (Ideal loads), onde o software dimensiona automaticamente os equipamentos de aquecimento e resfriamento antes de cada simulação caso nenhum dimensionamento tenha sido inserido manualmente, com o intuito de obter resultados teóricos para que sejam possíveis de se analisar os resultados para a presente tese. Visto que, a inserção das informações referentes ao sistema AVAC são as mais importantes no que diz respeito a simulação energética pretendida, para se obter um resultado “as it is” (com ventilação natural), seria necessário a inserção de muitas informações detalhadas a respeito da utilização da habitação, a nível de equipamentos

de cada habitação, inserção de diferentes equipamentos por habitação, valor real do caudal de ventilação e abertura das janelas, entre outros dados e valores detalhados que o software DesignBuilder exige para que seja possível efetuar o cálculo e simulação do edifício com o sistema AVAC detalhado. Portanto, para que seja possível realizar a análise comparativa será considerado para essa tese o sistema AVAC Simples considerando cargas ideais, com o intuito de analisar através do consumo de energia necessário para atingir a temperatura de conforto, o impacto de cada solução. Para isso, serão feitas algumas considerações:

- ✱ Ventilação Mecânica: Esta função do AVAC controla a quantidade de ar fresco que entra no edifício ou renovações de ar por hora (ac/h ou RPH), ou seja, quantas vezes por hora todo o volume de ar no interior do edifício é renovado. Este tipo de controlo já foi definido na fase de Activity, visto no capítulo 4.3.3.1, através de uma função usada na simulação denominada de “Minimum fresh air”, que determina a entrada de ar novo relativamente à ocupação ou área, em l/socupante e l/s-m2 respetivamente. Sendo assim, pode-se desativar esse campo na parte do AVAC.
- ✱ Aquecimento: No que tange o aquecimento, foi considerado automaticamente pelo software um aquecedor elétrico (CoP=1). Para o cronograma de horas de funcionamento foi considerado um schedule compacto chamado de “Dwell_DomCommonAreas_Heat” para espaços residenciais na aba AVAC do DesignBuilder, conforme apresentado na Figura 62.

```
Schedule:Compact
Dwell_DomCommonAreas_Heat
Temperature,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay,
Until: 05:00, 0.5,
Until: 10:00, 1,
Until: 15:00, 0.5,
Until: 24:00, 1,
For: WinterDesignDay,
Until: 24:00, 1,
For: Weekends,
Until: 07:00, 0.5,
Until: 21:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,
For: Holidays,
Until: 07:00, 0.5,
Until: 21:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,
For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0;
```

Figura 62 - Schedule do sistema de aquecimento no DB

- ✱ Resfriamento: Já para o sistema de refrigeração, foi considerado automaticamente pelo software um sistema com CoP=0,88. Para o cronograma compacto, foi utilizado o “Dwell_DomCommonAreas_Cool” para espaços residenciais na aba AVAC do DesignBuilder, conforme apresentado na Figura 63.

```

Schedule:Compact
Dwell_DomCommonAreas_Cool,
Temperature,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays SummerDesignDay,
Until: 05:00, 0,
Until: 10:00, 1,
Until: 15:00, 0,
Until: 24:00, 1,
For: Weekends,
Until: 07:00, 0,
Until: 21:00, 1,
Until: 24:00, 0,
For: Holidays,
Until: 07:00, 0,
Until: 21:00, 1,
Until: 24:00, 0,
For: WinterDesignDay AllOtherDays,
Until: 24:00, 0;

```

Figura 63 - Schedule do sistema de arrefecimento no DB

4.3.4. CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

O programa não só permite fazer uma simulação do edifício total como também permite simular por zonas. Neste subcapítulo serão explicadas algumas opções que serão adotadas para as simulações geradas na tese e analisadas posteriormente, no capítulo 5. Em um primeiro momento o DesignBuilder permite escolher a altura do ano da simulação. Este também possui semanas críticas pré-definidas de verão e inverno, como:

- Summer design week – de 5 a 11 de agosto.
- Summer typical week – de 15 a 21 de julho.
- Winter design week – de 22 a 28 de janeiro.
- Winter typical week – de 29 de janeiro a 4 de fevereiro.

Para este estudo, será simulada a situação do comportamento do edifício para o período de 1 ano (sendo considerado de 01/01/2021 até 31/12/2021). Após isto, entra o EnergyPlus no seguinte campo de opções de simulação, pois esta é uma ferramenta de simulação energética de edifícios que se encontra incorporado no DesignBuilder, possuindo quatro métodos de cálculo numérico (EnergyPlus), sendo esses:

- ✖ Conduction Transfer Function (CTF): O método padrão usado no EnergyPlus para cálculos de CTF é conhecido como método do espaço de estados. O CTF é uma solução somente de calor sensível, não levando em consideração o armazenamento ou difusão de umidade nos elementos de construção;
- ✖ Finite Difference (CondFD): Esta técnica de solução usa uma solução de diferença finita 1-D nos elementos de construção. É uma solução apenas de calor sensível e não leva em consideração o armazenamento ou difusão de umidade nos elementos de construção. Esta opção é necessária para simulações de PCM;
- ✖ Combined Heat And Moisture Finite Element (HAMT): Uma solução acoplada de transferência e armazenamento de calor e umidade usa uma solução de diferença finita unidimensional nos elementos de construção. Requer outras entradas de dados de propriedades de transferência de umidade que são definidas no componente Transferência de umidade;
- ✖ Moisture Penetration Depth Conduction Transfer Function (EMPD): Uma difusão de calor sensível e um algoritmo de armazenamento de umidade de superfície interna que também precisa de entradas

de dados de propriedade de material de umidade adicionais que são definidas no componente de Transferência de Umidade [50].

Para a simulação dessa tese será utilizado o parâmetro padrão CTF. Outra opção de escolha que o programa oferece é em relação à temperatura de controlo, que podem ser:

- ✖ “Air temperature” - Controla as temperaturas médias do ar da zona para as temperaturas do ponto de ajuste de aquecimento e arrefecimento.
- ✖ “Operative temperature” - Controla a temperatura ambiente usando 0,5 de fração radiante.
- ✖ “Others” – pode-se inserir a fração de controle de temperatura radiante [48].

Sendo assim, optou-se pela opção de temperatura do ar. Após isso definido, pode-se dar início a simulação propriamente dita. Ao fim da simulação é fornecido um Sumário com os resultados e a possibilidade de se visualizar alguns resultados através de gráficos. As opções selecionadas e mencionadas acima podem ser vistas na figura abaixo (Figura 64) e mais detalhes podem ser consultados também no Guião, Anexo A1, dessa tese.

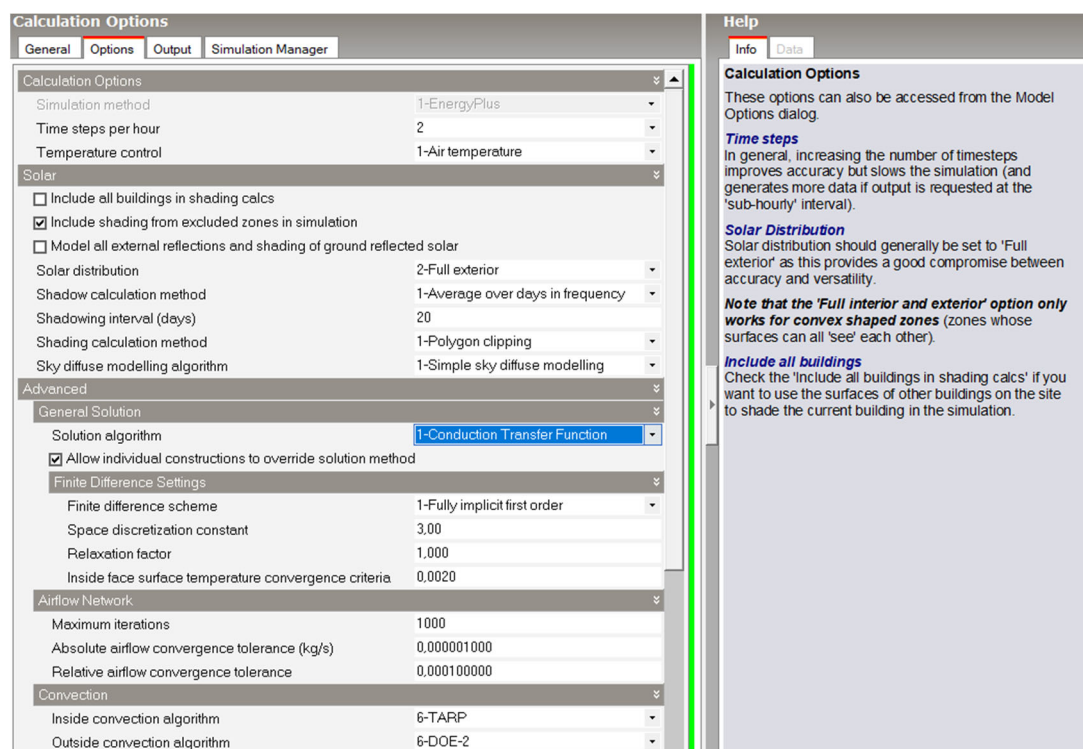


Figura 64 - Opções para simulação dos resultados no DB.

5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. ENQUADRAMENTO

Caracterizado os parâmetros do caso de estudo, dentro do software DesignBuilder, pode-se dar início ao processo das simulações e exportações dos resultados gerados. Pretende-se, com isso, avaliar o efeito das soluções expostas na fase 3 do subcapítulo 4.2.3, onde foram sugeridas propostas como: reforço do isolamento térmico na fachada do edifício e cobertura, e alteração dos envidraçados.

O intuito deste capítulo é analisar o impacto dessas soluções passivas no que diz respeito a energia necessária para manter o conforto térmico no edifício em estudo (com a temperatura de conforto variando de 18°C máximo para a estação de aquecimento e 25°C mínimo para estação de arrefecimento), em comparação com a solução correspondente ao edifício atual (“*as it is*”), e com isso ser possível responder a algumas questões relevantes na hora de definir uma estratégia de reabilitação para edifícios de habitação social, avaliando os seus benefícios em face ao contexto de carácter económico, que limitam drasticamente os custos, nomeadamente de construção e de meios ativos de aquecimento e arrefecimento.

A estrutura do capítulo 5 segue a seguinte metodologia:

- Avaliou-se a influência do coeficiente de transmissão térmica da fachada no que diz respeito ao tempo de desconforto em horas e na eficiência energética necessária para manter o conforto nas habitações, tendo para o efeito sido estudadas 3 soluções de reforço do isolamento: aplicação de espessuras crescentes de isolamento térmico (3 cm e 8 cm de XPS) pelo exterior da fachada e aplicação de 3cm de XPS pelo interior da fachada. Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual, que tem a fachada não isolada, e as 3 soluções de isolamento térmico consideradas para o efeito;
- Avaliou-se a influência da reabilitação sugerida na cobertura no que diz respeito ao tempo de desconforto em horas e na eficiência energética necessária para manter o conforto nas habitações, tendo para o efeito sido estudadas 3 soluções de reforço do isolamento: aplicação de espessuras de isolamento térmico XPS de 3cm e 12 cm pelo exterior da cobertura e inclusão de um teto falso, considerando 4 cm de camada de ar com 1,3 cm de placa de gesso. Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual, que tem 8 cm de lã de rocha mineral na sua face exterior, e as 3 soluções expostas consideradas para o efeito. Posteriormente, avaliou-se uma simulação adicional para comparar o impacto de uma cobertura sem nenhum tipo de isolamento com a cobertura atual isolada;
- Avaliou-se a influência do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados no que diz respeito ao tempo de desconforto em horas e na eficiência energética necessária para manter o conforto nas habitações, tendo para o efeito sido estudadas 2 soluções de reforço: alterações de todos os envidraçados existentes para um que apresente o coeficiente de transmissão térmica (U) de 2,8 W/m² °C e outra propondo a substituição por caixilharias com envidraçado de U=1,3 W/m² °C. Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado

atual, que contém $U=3,0 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ para salas e quartos; $U=4,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ para lavandarias e $U=2,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ nas casas de banho, e as 2 soluções consideradas para o efeito;

- Avaliou-se a influência das melhores soluções apresentadas anteriormente, porém, analisando agora o seu impacto em conjunto. Tendo para o efeito sido estudadas 4 combinações de soluções: aplicação do isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com Teto falso na cobertura, isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, Teto falso na cobertura com envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, e por último a combinação de isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com Teto falso na cobertura e envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual e as 4 soluções de combinações consideradas para o efeito;

- Por fim, foram apresentadas todas as soluções relevantes para definir uma eficaz estratégia de reabilitação para edifícios de habitação social.

5.2. ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PROPOSTAS

5.2.1. INTRODUÇÃO

As simulações geradas no DesignBuilder com as devidas propostas, foram consideradas para o período de 1 ano (sendo de 01/01/2021 até 31/12/2021). Em todas as simulações, os ganhos internos com iluminação, calor latente, ventilação e equipamentos domésticos foram mantidos constantes, apenas alterando as soluções passivas indicadas com o intuito de analisar o impacto de cada solução na eficiência energética do edifício. As temperaturas de conforto foram estabelecidas em $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (máximo) para a estação de arrefecimento e $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (mínimo) para a estação de aquecimento.

Após realizar a simulação energética para cada proposta de possíveis reabilitações, o software gera as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento como saída. Os resultados serão apresentados nos subcapítulos seguintes.

5.2.2. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA AS PAREDES EXTERIORES

Para avaliar a influência do coeficiente de transmissão térmica (U) da fachada, na necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento do apartamento, foram estudadas 3 soluções de reforço do isolamento da fachada. Para implementação das 3 soluções de reforço do isolamento na fachada foram criados 3 cenários de simulação correspondentes: aplicação pelo exterior da fachada de 3 cm e 8 cm de XPS ($U = 0.615$ e $0.327 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, respetivamente), e a aplicação pelo interior da fachada de 3 cm de XPS ($U = 0.615 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$) cujos resultados foram comparados com os do Modelo Atual (demonstrado no capítulo 4), o qual traduz a solução correspondente ao edifício como é hoje, sem aplicação de isolamento térmico na fachada ($U = 1.30 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$). O estudo comparativo pretende dar resposta às seguintes questões:

- Justifica utilizar o isolamento térmico na fachada, para um projeto de reabilitação de um edifício de habitação social, onde sabemos serem reduzidas as verbas económicas disponíveis, e onde as práticas de utilização de equipamentos para aquecer o ambiente seja quase nula?
- Será que o aumento da espessura de isolamento térmico na fachada do edifício se traduz num incremento ao conforto térmico e a eficiência energética dos apartamentos?

Sendo assim, conforme os resultados expostos na Tabela 10, pode-se observar qual solução que traria um benefício direto ao nível do consumo energético do edifício. A simulação gerada do modelo atual demonstra que o maior consumo da energia se deve ao período de inverno, onde há necessidade de utilizar energia para manter o ambiente confortavelmente aquecido (temperaturas acima de 18°C), o que é um comportamento térmico esperado devido à localização do edifício. A melhor solução passiva (solução 1.3), obteve a redução de 60% na necessidade energética para manter o apartamento devidamente aquecido.

Tabela 10 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções da Envolvente

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh-ano)	
		ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL		7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA 1	1.1 - IE:3cm XPS	4.072,40	-2.209,69
	1.2 - II:3cm XPS	4.077,32	-2.209,30
<i>Parede da Envolvente</i>	1.3 - IE:8cm XPS	2.845,48	-2.209,68

Através dos resultados exportados do programa, pode-se observar também, em que mês ocorreu o pico de necessidade energética para o arrefecimento e aquecimento do edifício. Para todos os 4 cenários (Modelo atual, e as 3 propostas), o valor máximo do consumo energético de aquecimento é atingido no mês de janeiro, e o arrefecimento no mês de agosto. Para a proposta 1.3, que obteve a redução considerável de necessidade energética, o valor máximo para a energia de aquecimento foi de 1.452KWh (janeiro) e de 870KWh para arrefecimento (agosto), conforme pode-se observar na Figura 65.

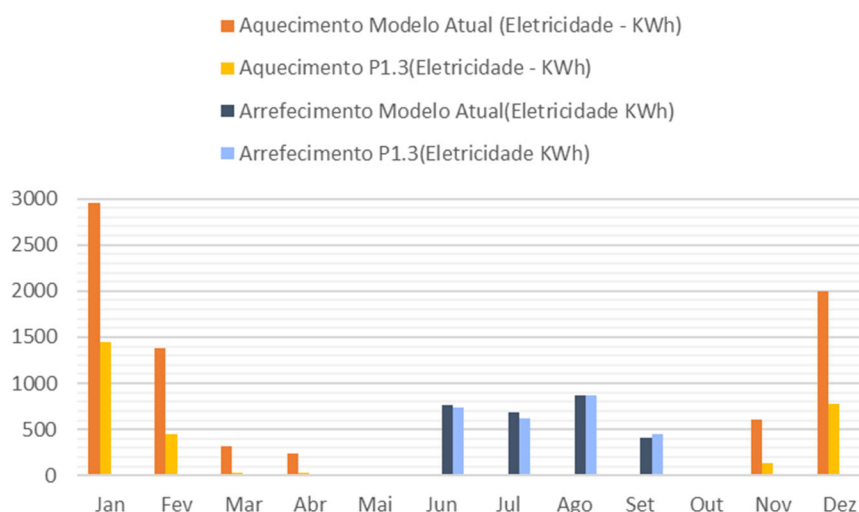


Figura 65 - Gráfico comparativo da necessidade energética do modelo atual x P1.3

Como a solução passiva atuou apenas na parede da envolvente para essa simulação em questão, o DB permite analisar também os ganhos ou perdas de calor e ventilação para o espaço a partir do elemento de superfície selecionado (paredes, pisos, tetos etc.), onde valores negativos indicam as perdas de calor (gráfico da exportação nomeado de “Fabric and ventilation” no software). Sendo assim, pôde-se

observar que com a inclusão do XPS na envolvente, a perda de calor do espaço reduziu consideravelmente (redução de aproximadamente 2.000KWh no mês de janeiro – Figura 66), sendo isso um reflexo da necessidade de energia para aquecimento também ter reduzido e a necessidade de arrefecer não ter sido tão influenciada.

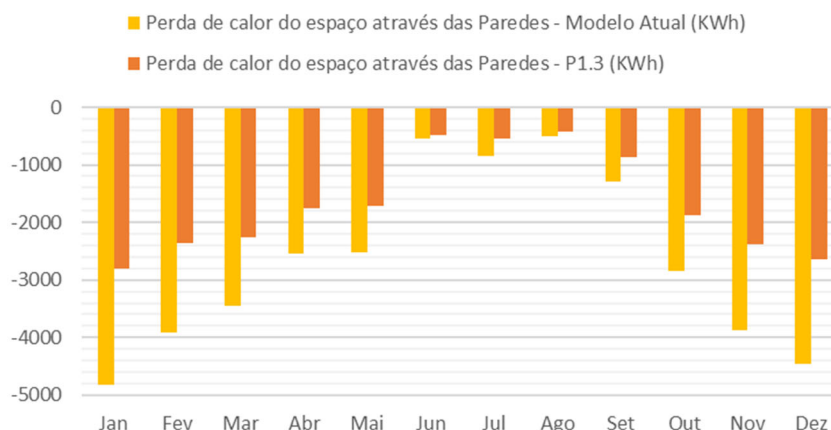


Figura 66 - Gráfico da perda de calor através das paredes da envolvente do modelo atual x P1.3

Em face dos resultados, constata-se que as necessidades energéticas para o arrefecimento do edifício não têm grandes variações com a mudança de soluções passivas, independente da espessura do isolamento que se coloque, o impacto é quase que indiferente. Porém, em contrapartida, a necessidade energética para aquecimento chegou a reduzir cerca de 60%, apenas com a inserção do isolamento exterior de 8cm de Poliestireno Extrudido na parede da envolvente.

Com o intuito de avaliar o impacto por habitação da inclusão do isolamento na envolvente do edifício, foi realizada uma análise fina do relatório obtido no DB, onde pôde-se perceber a variação da temperatura interna nas habitações (Figura 67) e a redução da necessidade energética por habitação (Figura 68).

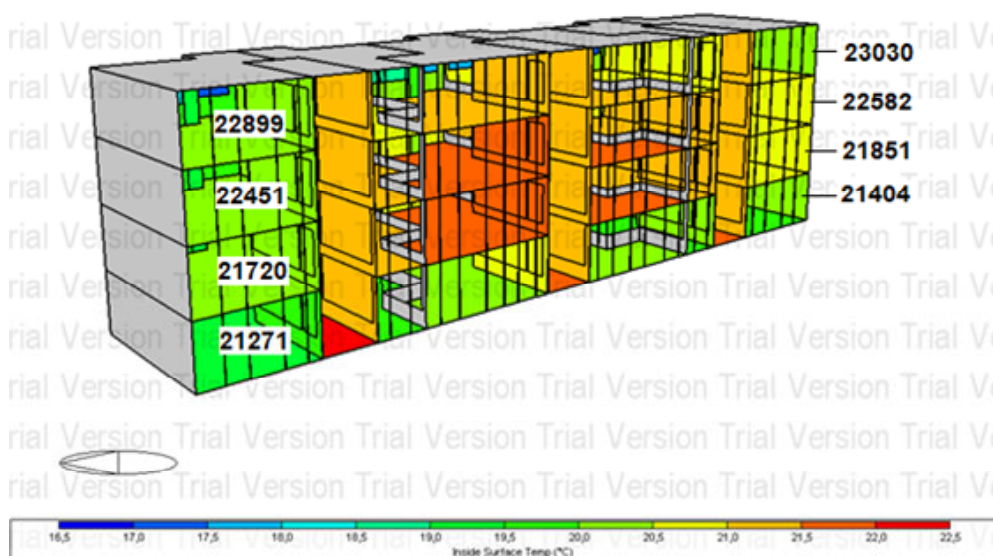


Figura 67 - Temperaturas internas das habitações no modelo atual

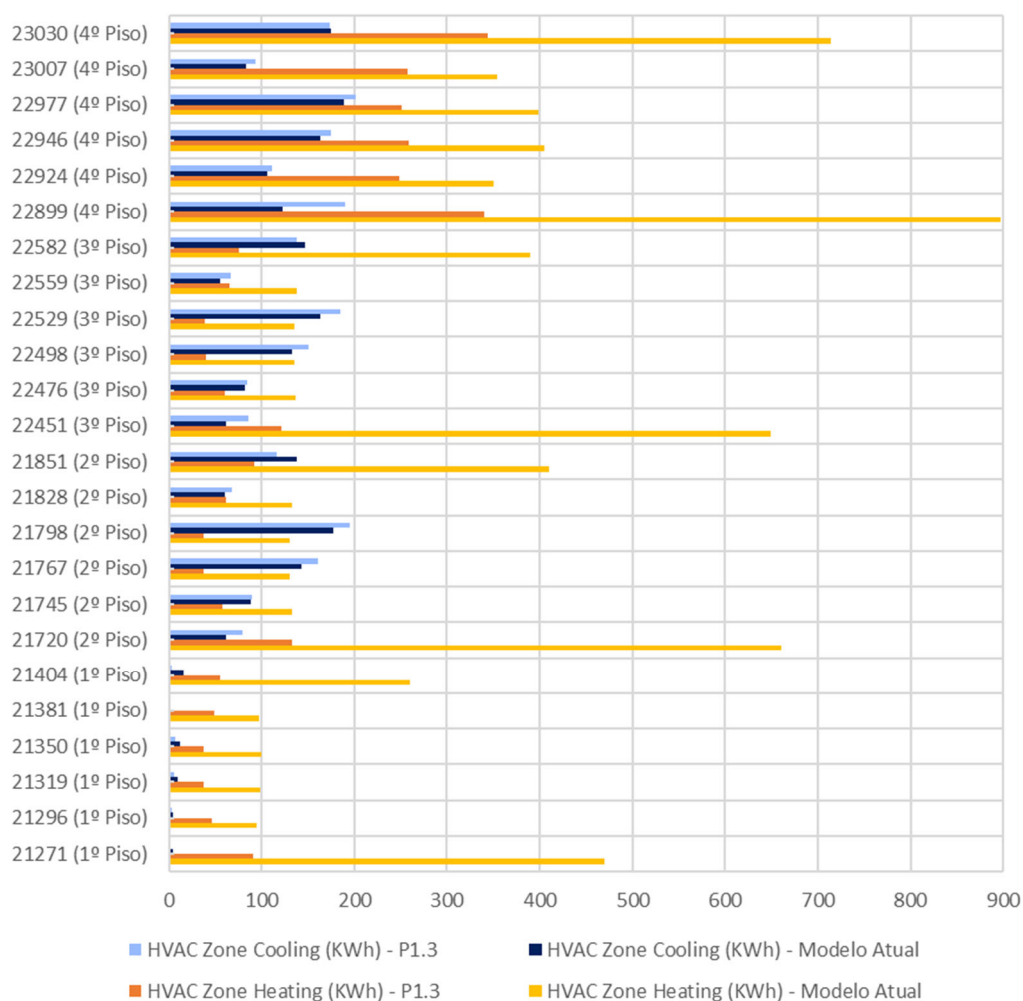


Figura 68 – Necessidade de Energia para a comparação entre o Modelo Atual x Proposta 1.3

As habitações que se encontram nas extremidades do edifício, onde tem maior zona de contato com as condições externas, tem uma maior transferência de calor e temperaturas internas afetadas diretamente, necessitando assim de mais energia para manter a habitação devidamente aquecida. A redução da necessidade de energia para aquecimento nessas habitações, com a inclusão do isolamento, chegou até 500KWh.

5.2.2. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA A COBERTURA

Para avaliar a influência das propostas sugeridas para a solução da cobertura, na necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento do apartamento, foram estudadas 3 soluções. Para implementação das 3 soluções foram criados 3 cenários de reforço do isolamento: aplicação de isolamento térmico XPS pelo Exterior de 12 cm ($U=0,163 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), de 3 cm ($U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) e pôr fim a inclusão de um teto falso (considerando 4 cm de camada de ar com 1,3 cm de placa de gesso, com $U=0,308 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual, que tem 8 cm de lã de rocha mineral na sua face exterior da cobertura ($U=0,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), e as 3 soluções expostas consideradas para o efeito. O estudo comparativo pretende dar resposta às seguintes questões:

- Justifica acrescentar mais espessura de isolamento térmico na cobertura?
- Será que o impacto do isolamento térmico na cobertura atinge em escala o edifício como um todo ou apenas traz ganhos para as habitações que têm contato direto com a cobertura?

Sendo assim, conforme os resultados expostos na Tabela 11, pode-se observar o nível do impacto que as intervenções na cobertura podem trazer ao edifício. A simulação gerada demonstra que os resultados referentes a necessidade energética para manter o apartamento devidamente aquecido, não altera em muito com as soluções passivas propostas, o que era de se esperar, visto que o modelo atual do edifício já contém uma camada de isolamento externa na sua cobertura, qualquer incremento a mais, pouco iria alterar no impacto de conforto para as habitações. Porém, ainda assim, obteve-se uma redução de aproximadamente 900KWh na melhor solução proposta (2.1).

Tabela 11 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções da Cobertura

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh)	
		ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL	<i>IE: ISOLAMENTO EXTERIOR; II: ISOLAMENTO INTERIOR; TF: TETO FALSO;</i>	7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA 2 <i>Cobertura</i>	2.1 - IE:12cm XPS	6.530,72	-2.109,09
	2.2 - IE:3cm XPS	7.043,77	-2.170,89
	2.3 – TF:4cm Ar + 1,3cm Gesso	7.159,20	-2.187,66

Através dos resultados exportados do programa, pode-se observar também, em que mês ocorreu o pico de necessidade energética para o arrefecimento e aquecimento do edifício. Para todos os 4 cenários (Modelo atual, e as 3 propostas), o valor máximo do consumo energético de aquecimento é atingido no mês de janeiro, e o arrefecimento no mês de agosto. Para a proposta 2.1, que obteve a redução considerável de necessidade energética, o valor máximo para a energia de aquecimento foi de 2.650KWh (janeiro) e de 865KWh para arrefecimento (agosto), conforme pode-se observar na Figura 69.

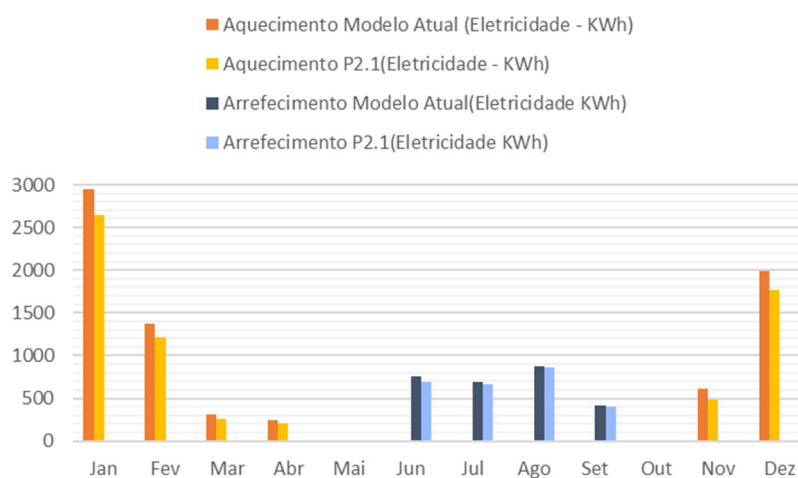


Figura 69 - Gráfico comparativa da necessidade energética do modelo atual x P2.1

Foi feita uma simulação adicional considerando uma cobertura sem nenhum tipo de isolamento ($U=3,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), para demonstrar que o desempenho do edifício de fato já é satisfatório com o incremento dos 8 cm de lã de rocha mineral na cobertura ($U=0,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), conforme apresentado na Tabela 12, com a redução da necessidade energética para aquecimento em torno de 60%.

Tabela 12 - Resultados da comparação entre cobertura sem o Isolamento e a cobertura do modelo atual

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS		NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh)	
			ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL			7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA ADICIONAL	Cobertura Isolamento	sem	18.566,26	-7.067,33

Portanto, pode-se concluir que os principais parâmetros que influenciam nas necessidades de aquecimento e arrefecimento de uma habitação, é possível dizer que é a transferência de calor devido à transmissão na envolvente, sendo essa a principal diferença entre as tipologias de um edifício. Sendo assim, vale a pena considerar que o mínimo de isolamento necessário para a cobertura é de extrema importância, porém, mais que isso talvez não justifique os custos associados, pois só iria impactar consideravelmente nas habitações do último piso.

Como a solução passiva atuou apenas na cobertura para essa simulação em questão, o DB permite analisar também os ganhos ou perdas de calor e ventilação para o espaço a partir do elemento de superfície selecionado (paredes, pisos, tetos etc.), onde valores negativos indicam as perdas de calor (gráfico da exportação nomeado de “Fabric and ventilation” no software). Sendo assim, pôde-se observar que com a inclusão de 12cm de XPS na cobertura, a perda de calor do espaço reduziu consideravelmente (redução de aproximadamente 388KWh no mês de janeiro – Figura 70), sendo isso um reflexo da necessidade de energia para aquecimento também ter reduzido e a necessidade de arrefecer não ter sido tão influenciada.

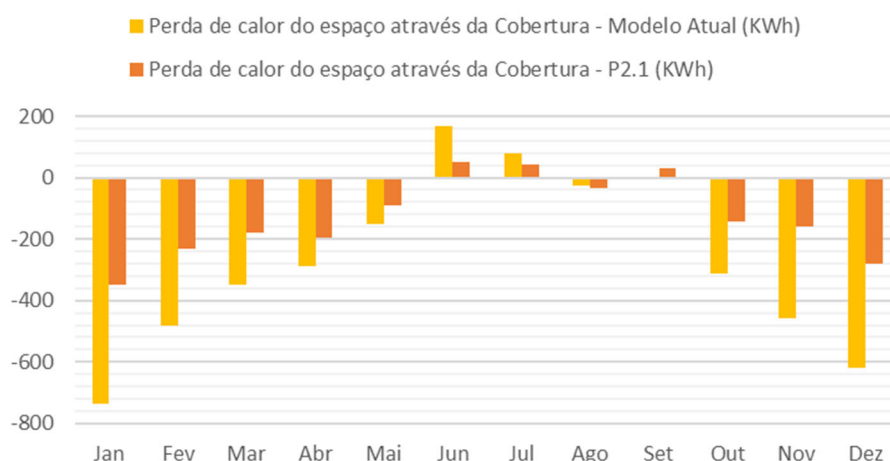


Figura 70 - Gráfico da perda de calor através da cobertura do modelo atual x P2.1

Outro ponto que vale a pena destacar, é o impacto que uma intervenção na cobertura tem no edifício. Conforme demonstrado na Figura 71, referente a comparação do Modelo original com a cobertura sem isolamento, é nítido que as habitações dos pisos superiores apresentam uma maior necessidade de energia do que as outras tipologias. A necessidade energética para aquecimento e arrefecimento dessas zonas, com a cobertura sem o isolamento, era cerca de 70% maior antes da adição do isolamento na cobertura.

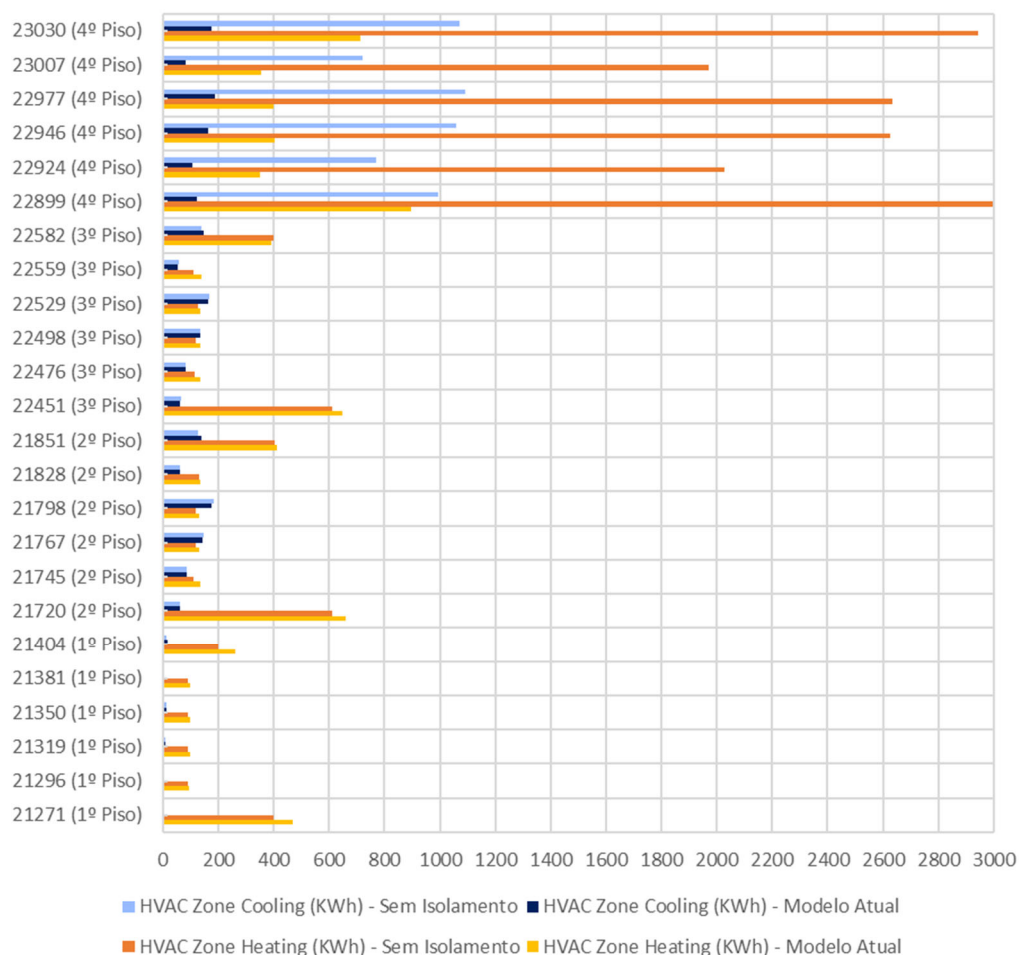


Figura 71 – Necessidade de Energia para a comparação entre o Modelo Atual x Prop.cob. s/ isolamento

5.2.3. INFLUÊNCIA DA PROPOSTA SUGERIDA PARA OS ENVIDRAÇADOS

Para avaliar a influência do coeficiente de transmissão térmica (U) dos envidraçados, na necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento do apartamento, foram estudadas 2 soluções de reforço. Para implementação das 2 soluções foram criados 2 cenários de propostas: alteração de todas as caixilharias existentes para uma que apresente o coeficiente de transmissão térmica (U) de $2,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ e uma segunda propondo a substituição por caixilharias $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual, que contém $U=3,0 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ para salas e quartos; $U=4,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ para lavandarias e $U=2,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ nas casas de banho, e as 2 soluções consideradas para o efeito. O estudo comparativo pretende dar resposta às seguintes questões:

- Justifica o custo para a troca de todas as caixilharias em um projeto de reabilitação para um edifício de habitação social, onde sabemos serem reduzidas a verba econômica disponível?

- Qual o impacto dessa substituição no edifício como um todo?

Considerando assim as simulações que foram executadas, conforme os resultados expostos na Tabela 13, pôde-se analisar o impacto que uma intervenção em todas as caixilharias traria ao edifício. A simulação gerada demonstra que a necessidade energética para manter o apartamento devidamente aquecido reduziu cerca de 30% na melhor das soluções propostas (3.2).

Tabela 13 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções de Caixilharias

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh)	
		ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL		7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA 3	3.1- U=2,8W/m ² °C	7.028,33	-2.143,66
<i>Caixilharias</i>	3.2- U=1,3 W/m ² °C	5.221,81	-2.134,15

Através dos resultados exportados do programa, pode-se observar também, em que mês ocorreu o pico de necessidade energética para o arrefecimento e aquecimento do edifício. Para todos os 3 cenários (Modelo atual, e as 2 propostas), o valor máximo do consumo energético de aquecimento é atingido no mês de janeiro, e o arrefecimento no mês de agosto. Para a proposta 3.2, que obteve a redução considerável de necessidade energética, o valor máximo para a energia de aquecimento foi de 2.239KWh (janeiro) e de 870KWh para arrefecimento (agosto), conforme pode-se observar na Figura 72.

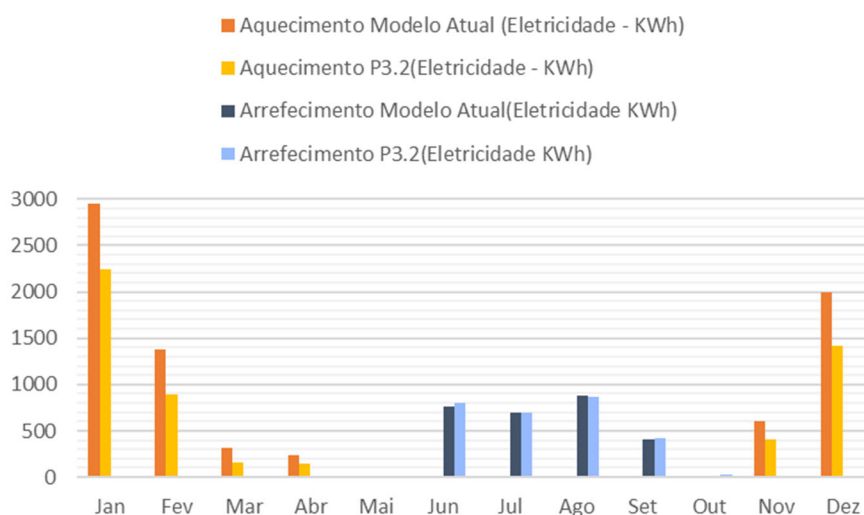


Figura 72 - Gráfico comparativa da necessidade energética do modelo atual x P3.2

Como a solução passiva atuou apenas nos envidraçados para essa simulação em questão, o DB permite analisar também os ganhos ou perdas de calor e ventilação para o espaço a partir do elemento de superfície selecionado (paredes, pisos, tetos etc.), onde valores negativos indicam as perdas de calor (gráfico da exportação nomeado de “Fabric and ventilation” no software). Sendo assim, pôde-se

observar que com a substituição dos envidraçados de acordo com a P3.2, a perda de calor do espaço reduziu consideravelmente (redução de aproximadamente 1.200KWh no mês de janeiro – Figura 73), sendo isso um reflexo da necessidade de energia para aquecimento também ter reduzido e a necessidade de arrefecer não ter sido tão influenciada.

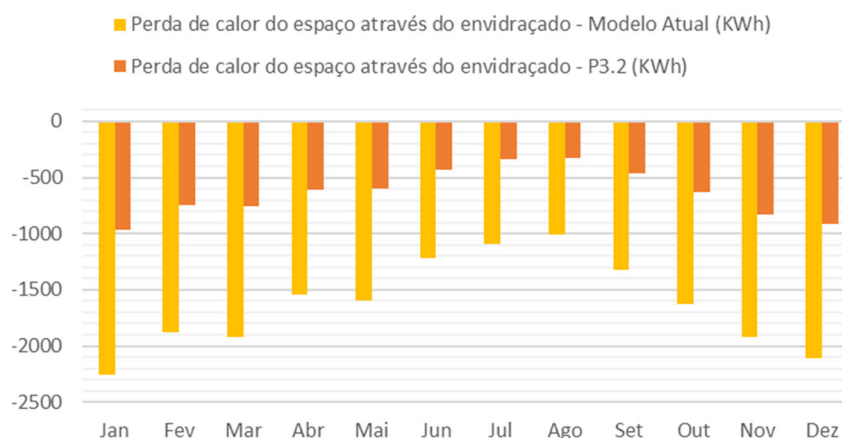


Figura 73 - Gráfico da perda de calor através do envidraçado do modelo atual x P3.2

Portanto, pode-se concluir que ao nível da necessidade energética para aquecimento, tem-se um ganho considerável, porém, por ser uma proposta para reabilitação de uma habitação social, vale a pena avaliar o custo associado. O modelo atual, utilizando diferentes tipos de desempenho térmico dos envidraçados de acordo com a zona de implantação da mesma (sala, lavandaria ou casa de banho), é de grande valia para reduzir custos e não impacta tanto na necessidade energética para obter o conforto na habitação, conforme observado na Tabela 13.

5.2.4. IMPACTO DAS PROPOSTAS EM CONJUNTO

Para avaliar a influência das melhores soluções apresentadas anteriormente, na necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento do apartamento, foram estudadas 4 combinações das propostas apresentadas. Para implementação das 4 soluções foram criados 4 cenários, utilizando as propostas que obtiveram os melhores resultados quando aplicadas isoladamente nos subcapítulos apresentado anteriormente: a aplicação do isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com XPS de 12cm pelo exterior na cobertura; isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$; XPS de 12cm pelo exterior na cobertura com envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$; e por último a combinação das 3 melhores propostas, sendo a combinação do isolamento térmico XPS de 8 cm pelo exterior da fachada com XPS de 12cm pelo exterior na cobertura e envidraçados de $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Estabeleceu-se uma análise comparativa entre a solução referente ao edifício no estado atual e as 4 soluções de combinações consideradas para o efeito. Por fim, foram resumidas todas as análises num quadro resumo para responder as questões relevantes na hora de definir uma estratégia de reabilitação para edifícios de habitação social. O estudo comparativo pretende dar resposta às seguintes questões:

- Justifica atuar em mais de uma área de intervenção para soluções passivas? Qual impacto que isso causa no edifício?

- Qual a escalabilidade da melhor proposta sugerida?

Sendo assim, conforme os resultados expostos na Tabela 14, pode-se observar o nível do impacto que as intervenções propostas, atuando em conjunto, podem trazer ao edifício. Os melhores resultados ocorreram para as combinações 4.3 e 4.4, onde se obteve uma redução de aproximadamente 72% para a energia de aquecimento em cada uma das propostas.

Tabela 14 - Resultados da Necessidade de Energia e Tempo de desconforto das soluções combinadas

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh)	
		ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL	<i>IE: ISOLAMENTO EXT.; IEC: ISOLAMENTO EXT. COBERTURA;</i>	7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA 4 <i>Combinações</i>	4.1- IE:8cm XPS + IEC: 12cm XPS	2.518,73	-2.307,03
	4.2- IEC + U=1,3 W/m ² °C	4.046,53	-2.390,99
	4.3- U=1,3W/m ² . °C + IE:8cm XPS	2.029,50	-2.277,53
	4.4- IE:8cm XPS+ IEC:12cm XPS + U=1,3 W/m ² °C	2.129,86	-2.377,53

Comparando os melhores resultados obtidos anteriormente (apresentados na Tabela 10 e Tabela 13), da aplicação individual de cada uma das soluções passivas, com a sua atuação em conjunto apresentada na Tabela 14, consegue-se analisar com mais clareza quais foram os seus ganhos e verificar assim a melhor opção. Analisando a Tabela 15, consegue-se concluir que:

Tabela 15 - Análise dos melhores resultados propostos

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	NECESSIDADE DE ENERGIA PARA O CONFORTO TÉRMICO (KWh)	
		ENERGIA PARA AQUECIMENTO	ENERGIA PARA ARREFECIMENTO
MODELO ATUAL	<i>IE: ISOLAMENTO EXT.; IEC: ISOLAMENTO EXT. COBERTURA;</i>	7.433,63	-2.209,08
PROPOSTA 1	1.3 - IE:8cm XPS	2.845,48	-2.209,68
PROPOSTA 2	2.1 - IEC:12cm XPS	6.530,72	-2.109,09
PROPOSTA 3	3.2- U=1,3 W/m ² °C	5.221,81	-2.134,15
	4.3- U=1,3W/m ² °C+IE:8cm XPS	2.029,50	-2.277,53
PROPOSTA 4	4.4- IE:8cm XPS+ IEC:12cm XPS + U=1,3 W/m ² °C	2.129,86	-2.377,53

- Na atuação da solução passiva isolada, o melhor resultado obtido partiu de uma redução de 62% para energia de aquecimento (sem ganhos muito significativos com relação a energia para arrefecimento);

- Na atuação em conjunto, o melhor resultado obtido partiu de uma redução de 72% da necessidade de energia para aquecimento (10% a mais de redução do que o melhor resultado isolado);

Vale a pena destacar que os ganhos referentes à redução da necessidade de energia para aquecimento das propostas 4.3 e 4.4 foram quase iguais. Portanto, para uma possível tomada de decisão, esses resultados já ajudariam a descartar a opção 4.4, pois necessitaria de maiores investimentos (devido a necessidade de atuação em mais áreas) e o retorno em ganhos energéticos não justificaria.

Como a melhor proposta de solução passiva atuou em conjunto com os envidraçados e as paredes da envolvente para essa simulação em questão, o DB permite analisar também os ganhos ou perdas de calor e ventilação para o espaço a partir do elemento de superfície selecionado (paredes, pisos, tetos etc.), onde valores negativos indicam as perdas de calor (gráfico da exportação nomeado de “Fabric and ventilation” no software). Sendo assim, pôde-se observar que com a substituição dos envidraçados e inclusão dos isolamentos nas paredes da envolvente, de acordo com a proposta 4.3, a perda de calor do espaço reduziu consideravelmente (redução de aproximadamente 3.000KWh no mês de janeiro – Figura 74), sendo isso um reflexo da necessidade de energia para aquecimento também ter reduzido e a necessidade de arrefecer ter aumentado um pouco.

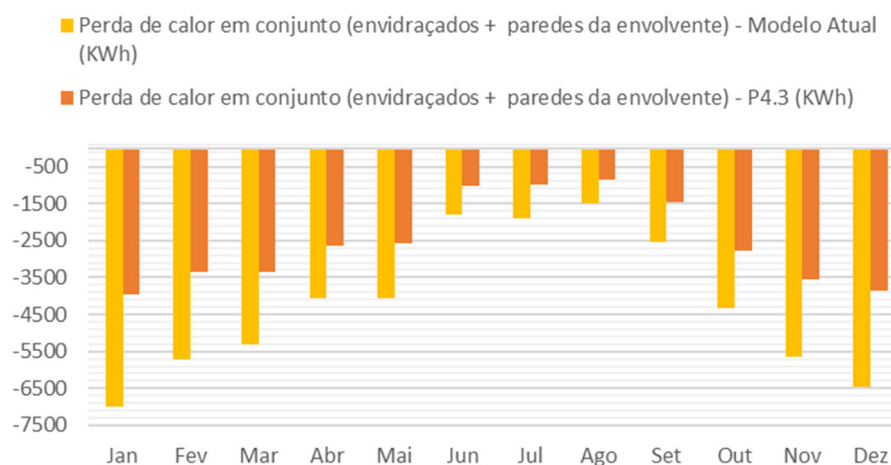


Figura 74 - Gráfico da perda de calor em conjunto (envidraçados e envolvente) do modelo atual x P4.3

Em contrapartida aos ganhos na necessidade de aquecimento da habitação, houve um aumento na necessidade de energia para arrefecer, visto que a habitação está mais isolada (ficando assim mais quentes nos períodos de verão) elevando-se a necessidade do gasto com arrefecimento. Porém, cabe analisar que o período com essas temperaturas mais altas, onde acontece um aumento desse desconforto, é pequeno (se comparado ao período com temperaturas mais baixas) nessa região do caso de estudo, então não teria um impacto tão grande.

5.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

No presente capítulo, foi avaliada a influência de algumas soluções passivas no impacto da eficiência energética do edifício. Para isso, foram estudadas diversas soluções de isolamento da fachada (pelo exterior e interior, e com diferentes espessuras – a nível teórico, pois entende-se que incluir um isolamento exterior na envolvente iria descaracterizar o edifício), isolamento na cobertura e mudança das caixilharias, tendo sido estabelecida uma análise comparativa dos resultados obtidos com o modelo atual do edifício. Posteriormente, analisou-se o impacto da alteração em simultâneo das soluções que

apresentaram os melhores desempenhos de forma individual, procurando analisar como iria agir atuando em combinação com outra solução passiva.

O estudo desenvolvido permite sintetizar um conjunto de análises e recomendações válidas a se considerar para um projeto de reabilitação para edifícios de habitação social, e até mesmo escalar para projetos de reabilitação no geral, sendo essas:

1. A aplicação do Isolamento térmico na envolvente de um edifício de habitação social, onde as práticas de aquecimento do ambiente são nulas ou raras, implica num custo alto de aplicação que necessita avaliar cuidadosamente se justificaria o retorno referente aos ganhos na redução da necessidade energética da habitação (reduzindo cerca de 62% na necessidade energética para manter o apartamento devidamente aquecido no melhor caso – aplicando na envolvente, pelo exterior, 8cm de XPS – conforme apresentando no subcapítulo 5.2.2.) se comparado aos resultados obtidos do modelo atual (sem nenhum tipo de isolamento na envolvente). Portanto, para um projeto de reabilitação (de modo geral) vale a pena analisar o tipo de utilizador do edifício, pois, dependendo da capacidade de aquecimento/arrefecimento, poderia valer a pena investir no custo da aplicação de um isolamento térmico na envolvente e ter uma redução considerável na energia gasta para aquecer o local.
2. Ao nível de solução para a cobertura, conforme foi demonstrado no subcapítulo 5.2.3, pôde-se concluir que o impacto da aplicação de isolamento se traduz num enorme ganho ao edifício, porém, mais que um valor mínimo só afetaria pontualmente as habitações no último piso (que tenha zona de contato com a cobertura). Portanto, é de extrema valia ter esse conhecimento e poder ver os resultados de como esse investimento afeta a necessidade energética do edifício, pois, seja para um projeto de reabilitação a custos reduzidos ou outro qualquer, o benefício de isolar a cobertura traduz em um ganho (a nível de necessidade energética para aquecimento - Tabela 16) quase igual ao da aplicação de um isolamento térmico em toda a envolvente de um edifício.

Tabela 16 - Benefício do Isolamento da Envolvente x Cobertura

PROPOSTAS	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES PASSIVAS	ENERGIA NECESSÁRIA PARA AQUECIMENTO (KWh)
MODELO ATUAL	Sem Isolamento na Envolvente / Com Isolamento na Cobertura	7.433,63
PROPOSTA 1	Isolamento de 8cm XPS na Envolvente	2.845,48
PROPOSTA 2	Cobertura Sem Isolamento	18.566,26

3. O impacto da troca de todos os envidraçados de um edifício, conforme apresentando no subcapítulo 5.2.4, para um envidraçado com o coeficiente de transmissão térmica de 1,3 W/m² °C, traduziu-se em benefícios a nível da diminuição da necessidade de energia para aquecimento.
4. Sobre a análise dos impactos das propostas em conjunto (subcapítulo 5.2.5), pôde-se avaliar que o impacto de atuar conjuntamente na envolvente opaca (paredes da envolvente) e nos envidraçados do edifício trouxe uma redução de 72% da necessidade de energia para aquecimento (10% a mais de redução do que o melhor resultado isolado). Os resultados demonstraram também que atuar em conjunto com a cobertura, não traduziria em ganhos muito

específicos. Portanto, são estudos relevantes que permitem direcionar/auxiliar o projetista responsável a obter uma melhor tomada de decisão para um projeto de reabilitação.

Para além das conclusões aqui obtidas através da análise dos resultados, é possível constatar a importância do BIM-ao-BEM, pois possibilitou uma rápida e fácil edição e simulação das propostas de reabilitação em cima do modelo atual do edifício. Pode-se concluir ser uma base de apoio à decisão na hora de escolher o melhor cenário de reabilitação, ajudando a definir as informações mais importantes e ver o impacto que essas causarão no edifício como um todo. Neste caso, ajudou a perceber o impacto da espessura do isolamento térmico na envolvente do edifício e cobertura, facilitou a análise de como as propostas reagiriam em conjunto (evitando que seja efetuada reabilitações em muitos locais do edifício, tendo um custo mais elevado e que no final das contas não se traduziria em benefícios diretos a nível energético do edifício), entre outros.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido ao longo deste projeto permitiu constatar as vantagens do uso da metodologia “BIM ao BEM” na análise e decisão para uma solução estratégica de um projeto de reabilitação. Para o estudo de um futuro projeto de reabilitação em qualquer edifício existente, existem pelo menos seis aspectos principais a serem considerados: o nível de detalhe do projeto, o conjunto de requisitos a serem verificados (regulamentação), o levantamento das informações do existente, o modelo do edifício em ambiente BIM, exportação do modelo BIM para ambiente BEM, e posterior análise das simulações.

Estabeleceram-se objetivos parciais desenvolvidos nos vários capítulos, dos quais se retiraram observações sintetizadas neste capítulo.

O capítulo 2 consistiu na apresentação do estado da arte, expondo aspectos importantes relacionados a habitação social, pobreza energética e o BIM, que serviram de base teórica para o trabalho que foi desenvolvido. As principais conclusões retiradas deste capítulo foram as seguintes:

- No que tange a importância e a necessidade da reabilitação em Portugal, pôde-se observar que, do total de edifícios existentes, a maioria foi construída já depois de 1960 (cerca de 69%). Contudo, cerca de 72% foram construídos antes do primeiro Regulamento de Térmica nacional, em 1990. Por esse motivo, existe ainda um enorme potencial de melhoria da envolvente térmica das habitações, apresentando a sua maioria fracas condições de conforto interiores.
- Pensando em um contexto socioeconómico, a reabilitação dos bairros de habitação social em Portugal deve possibilitar que os níveis de conforto térmico sejam atingidos preferencialmente sem recurso a sistemas mecânicos de aquecimento e de arrefecimento ambiente. Para tal será necessário apostar em estratégias de reabilitação passivas, que permitam melhorar a eficiência energética dos edifícios a reabilitar.
- Relacionado a pobreza energética, já que o estudo é direcionado as habitações sociais, pôde-se concluir que no contexto de melhoria das condições de conforto e salubridade dos espaços interiores (nomeadamente, da qualidade do ar interior) do seu parque edificado, Portugal tem direcionado a sua estratégia na reabilitação urbana, mantendo-se coerente com as políticas europeias refletidas na atual Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Esta diretiva europeia impõe a integração e o reforço de estratégias para a reabilitação a longo prazo, promovendo o combate à pobreza energética, a diminuição das necessidades de consumo de energia, o aumento da eficiência energética e o recurso a fontes de energia renovável, por forma a alcançar a descarbonização do parque edificado até 2050, conforme delineado pelo Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050).
- Outro conceito importante que foi retirado deste capítulo é referente ao índice de desconforto térmico, pois, buscando obter melhorias no conforto térmico de forma passiva (pensando em uma habitação social), muitos autores passaram a trabalhar com o índice de desconforto térmico, para comparar medidas e estratégias de projeto, tentando encontrar a melhor solução para otimizar o conforto térmico do utente e minimizar o seu desconforto.
- Por fim, outra conclusão válida foi referente a utilização da metodologia BIM to BEM como uma ferramenta importante a auxiliar em um projeto de reabilitação de um edifício existente,

mostrando também as técnicas de levantamento para se obter as informações necessárias do edifício no seu estado atual.

No terceiro capítulo explorou-se as técnicas de levantamento da informação do existente de uma forma mais detalhada e posteriormente a aplicação da técnica escolhida para o desenvolvimento do caso de estudo da presente tese e criação do modelo BIM e BEM. Em síntese este capítulo permitiu a:

- Descrição detalhada do levantamento através do Laser Scanner ou Fotogrametria, permitindo assim, a depender do nível de detalhe desejado para estudo, escolher a técnica que melhor se enquadre;
- Expandir a utilização e integração de um processo completo através da Fotogrametria -> Criação do modelo em ambiente BIM -> Exportação do modelo para ambiente BEM, de uma maneira simples e proveitosa.

O capítulo 4 é de grande importância para este trabalho, uma vez que descreve a reconstituição virtual do caso de estudo no programa informático DesignBuilder. A realização desta etapa permitiu:

- Aferir a existência de um conjunto vasto de recursos que permite a reconstituição de um edifício com características, ao nível de pormenores construtivos e condições de utilização do utente, muito próximas às verificadas na realidade;
- Definir vários cenários de simulações propostas para uma futura reabilitação, de modo a testar o impacto dessas soluções construtivas no desempenho energético do edifício de habitação social.

Por fim, no capítulo 5 foi realizada a simulação numérica ao edifício de habitação social 13, do bairro de Lordelo do Ouro – Porto, onde as principais conclusões são as seguintes:

- A aplicação de 8cm de isolamento térmico XPS na envolvente de um edifício de habitação social resulta em uma redução de 60% da necessidade energética de aquecimento necessária para manter a habitação dentro da temperatura de conforto, se comparada a atuação do edifício sem nenhum tipo de isolamento na envolvente.
- A aplicação de 3cm isolamento térmico XPS pelo interior da fachada opaca, em edifícios de habitação social, traduz-se comparativamente à solução sem isolamento térmico, numa redução na energia necessária para aquecimento, e num aumento da energia necessária para arrefecimento. O investimento que resulta em isolar pelo interior deve ser devidamente ponderado para cada local, dado que muito embora este se traduza numa melhoria do desempenho térmico de inverno, produz um decréscimo no desempenho térmico de verão; A aplicação de isolamento na cobertura traduz em ganhos consideráveis ao edifício se comparado com uma solução de cobertura sem nenhum tipo de isolamento, reduzindo cerca de 11.132KWh da energia necessária para aquecimento, com a adição de um isolamento de 8cm de lã de rocha na parte externa da cobertura. Foi possível observar que qualquer isolamento adicionado além dos 8cm de lã de rocha, não traduz em grandes ganhos para o edifício, apenas para habitações pontuais que tenha uma zona de contato direto com a cobertura.
- A substituição de todos os envidraçados de um edifício para outro com o coeficiente de transmissão térmica de 1,3 W/m² °C, traduziu-se em benefícios a nível da diminuição da necessidade de energia para aquecimento, o que, para um edifício de habitação social, não se resume de fato em grande benefício, dado que não são muito utilizadas as práticas para aquecimento em habitações deste tipo e necessitaria em um alto investimento inicial.
- Analisando os impactos das propostas em conjunto, pôde-se concluir que o impacto de atuar na envolvente opaca e nos envidraçados do edifício ao mesmo tempo trouxe uma redução de 12% na necessidade energética de aquecimento, se comparado a atuação de cada uma dessas

propostas agindo individualmente. Podendo assim concluir que a atuação em conjunto não traduziria em ganhos muito específicos. Portanto, são estudos relevantes que permitem definir uma melhor tomada de decisão em um projeto de reabilitação.

- Foi possível constatar a importância da metodologia BIM-ao-BEM utilizada, pois possibilitou uma rápida e fácil edição e simulação das propostas de reabilitação em cima do modelo atual do edifício.
- Pôde-se concluir ser uma base de apoio à decisão na hora de escolher o melhor cenário de reabilitação, ajudando a definir as informações mais importantes e ver o impacto que essas causarão no edifício como um todo. Neste caso, ajudou a perceber o impacto da espessura do isolamento térmico na envolvente do edifício e cobertura, facilitando a análise de como as propostas reagiriam em conjunto (evitando que seja efetuada reabilitações em muitos locais do edifício, tendo um custo mais elevado e que no final das contas não se traduziria em benefícios diretos a nível energético do edifício).

Durante o desenvolvimento dessa tese, foi criado um “Guião do utilizador” (Anexo A1), com o intuito de auxiliar os projetistas/utilizadores a efetuar um levantamento fotogramétrico terrestre de um edifício existente, e através deste levantamento conseguir criar um modelo BIM para que se efetue simulações e análises energéticas de desempenho da construção. Sendo assim, um guia que pode auxiliar no desenvolvimento de futuros projetos de reabilitação, demonstrando que de uma forma simples pode-se obter a simulação energética de um edifício, e simular as propostas de reabilitação no software para que isso suporte e facilite na hora da tomada de decisão.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo desenvolvido na tese permite ser ampliado em trabalhos futuros, no que tange o domínio do conforto térmico e eficiência energética de edifícios existentes que necessitem ser reabilitados, buscando explorar alguns pontos, tais como:

- Testar a metodologia aplicada para este estudo de caso em outros edifícios, com acabamentos e formatos diferentes;
- Testar efetuar o levantamento da informação do existente com um drone para potencialmente obter uma reconstrução tridimensional mais detalhada;
- Explorar mais outputs do software DesginBuilder, buscando adicionar as informações do sistema AVAC de forma detalhada, considerando as cargas e valores reais (e não cargas ideias no modelo simplificado conforme foi utilizado para essa tese);
- Desenvolver uma análise técnico-económica das soluções de reabilitação testadas no estudo de otimização das soluções construtivas que obtiveram os melhores resultados no que diz respeito a redução da necessidade energética para aquecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. J. C. Curado, “CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL REABILITADOS,” 2014.
- [2] I. P. INE, “O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução 2001-2011,” Lisboa, 2013.
- [3] I. N. de E. INE, “Censos 2021 - Resultados Provisórios,” 2021.
- [4] S. A. Magalhães Barbosa, “COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE DESCONFORTO PASSIVO COM A CLASSE ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO REABILITADOS DO SUL DA EUROPA,” Porto, Jan. 2020. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [5] I. Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, “Levantamento Nacional das Necessidades de Realojamento Habitacional,” Feb. 2018.
- [6] C. Alexandra Costa Luís Madeira, “A Reabilitação Habitacional em Portugal - Avaliação dos Programas REcria, REhabita, REcriph e SOLARh,” Lisboa, May 2009.
- [7] I. P. Instituto Nacional de Estatística, “Inquérito de qualidade dos Censos 2011 : Metodologia e resultados,” Lisboa, 2013.
- [8] J. C. Domingues, T. M. Ferreira, J. Negrão, and R. Vicente, “Salvaguarda e preservação do Património Edificado em núcleos urbanos antigos: uma reflexão sobre a reabilitação estrutural de edifícios tradicionais em alvenaria de pedra,” *Conservar Património* 29, no. 29, Associação Profissional de Conservadores, Restauradores de Portugal, pp. 51–62, Sep. 01, 2018. doi: 10.14568/cp2017030.
- [9] ARP • Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal, “Conservar Património 17,” *Caracterização arquitectónica e construtiva do património edificado do núcleo urbano antigo do Seixal*, pp. 21–37, Jun. 2013, doi: 10.14568/cp17.
- [10] Patricia Carvalho, “Câmara do Porto vai gerir bolsa de casas no centro histórico destinadas ao arrendamento e a actividades sociais,” *Publico.pt*, Jun. 11, 2014.
- [11] F. Farinha da Silva Pinho, “PAREDES DE ALVENARIA ORDINÁRIA - Estudo experimental com modelos simples e reforçados,” Lisboa, 2007.
- [12] F. S. R. Maria, “Estado de Conservação de Edifício de Habitação a Custos Controlados,” 2008.
- [13] C. F. Rodrigues, F. Nunes, J. Vicente, and V. Escária, “A POBREZA ENERGÉTICA EM PORTUGAL.”
- [14] S. Carlucci and L. Pagliano, “A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings,” Oct. 2012. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.06.015.
- [15] S. Carlucci, L. Pagliano, and A. Sangalli, “Statistical analysis of the ranking capability of long-term thermal discomfort indices and their adoption in optimization processes to support building design,” 2014.
- [16] DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, “Balanço Energético Nacional - DGEG,” 2020.
- [17] A. Aguiar da Costa, B. de C. Matos, D. Drumond, and I. Rodrigues, *Guia da Contratação BIM*, 2017th ed. 2017.

- [18] F. P. Vítor Filipe, “Utilização de Ferramentas BIM na Avaliação da Eficiência Energética Possibilidades e desafios,” 2020.
- [19] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs,” *Automation in Construction*, vol. 38. pp. 109–127, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [20] J. D. Oliveira Lopes, “Utilização da metodologia BIM no apoio à reabilitação funcional de um edifício,” 2017.
- [21] O. Tapponi, M. Kassem, G. Kelly, N. Dawood, and B. White, “Renovation of Heritage Assets using BIM: a Case Study of the Durham Cathedral,” 2015.
- [22] F. J. López, P. M. Leronés, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, “A review of heritage building information modeling (H-BIM),” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 2, no. 2, Jun. 2018, doi: 10.3390/MTI2020021.
- [23] Q. Wang, Y. Tan, and Z. Mei, “Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications,” *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 479–499, Apr. 2020, doi: 10.1007/s11831-019-09320-4.
- [24] D. F. Ramos Parracho, J. P. Martins, and E. Barreira, “METODOLOGIA DIGITAL PARA A REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS E TERMOGRÁFICOS DE EDIFÍCIOS EXISTENTES COM DRONES-CASO DE ESTUDO.”
- [25] H. Gao, C. Koch, and Y. Wu, “Building information modelling based building energy modelling: A review,” *Applied Energy*, vol. 238. Elsevier Ltd, pp. 320–343, Mar. 15, 2019. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.032.
- [26] M. S. Al-Homoud, “Computer-aided building energy analysis techniques.” [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/buildenv
- [27] E. Kamel and A. M. Memari, “Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT),” *Energy*, vol. 147, pp. 15–24, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.01.023.
- [28] A. Institute of Architects, “AIA Document G202-2013 - Project Building Information Modeling Protocol Form,” 2013.
- [29] L. Sanhudo *et al.*, “BIM framework for the specification of information requirements in energy-related projects,” *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 10, pp. 3123–3143, Nov. 2021, doi: 10.1108/ECAM-07-2020-0488.
- [30] T. Randall, “Client Guide to 3D Scanning and Data Capture,” *BIM Task Group*, 2013.
- [31] G. Guimarães Ruggeri, “Digitalização a laser terrestre (TLS), fotogrametria (ADP) e termografia (IRT) aplicadas à conservação do património construído,” Técnico de Lisboa, Lisboa, 2019.
- [32] L. Mahdjoubi, C. Moobela, and R. Laing, “Providing real-estate services through the integration of 3D laser scanning and building information modelling,” *Computers in Industry*, vol. 64, no. 9, pp. 1272–1281, 2013, doi: 10.1016/j.compind.2013.09.003.
- [33] N. Groetelaars, “CRIAÇÃO DE MODELOS BIM A PARTIR DE ‘NUVENS DE PONTOS’: ESTUDO DE MÉTODOS E TÉCNICAS PARA DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA,” 2015.
- [34] Federal Office of Civil Aviation FOCA, “FAQs about drone regulations,” 2020.
- [35] SkyPhoto, “Tudo o que necessita saber sobre a nova regulamentação Europeia para Drones.”

- [36] EASA, “Drones civis (aviões não tripulados).”
- [37] “APANT - “Informações e Registo de Operadores de Aeronaves Não Tripuladas (UAS - Drones),” *Acesso Maio, 2021*, 2021.
- [38] D. Filipe Ramos Parracho, “PROCESSOS DIGITAIS PARA A REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS E TERMOGRÁFICOS COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT),” Mestrado, FEUP, Porto, 2021. [Online]. Available: <http://www.fe.up.pt>
- [39] Diário da República, *Decreto-Lei 58/2018, 2018-07-23 - DRE*. 2018, pp. 3679–3684.
- [40] W. Linder, *Digital photogrammetry : a practical course*. Springer, 2006.
- [41] M. J. Westoby, J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey, and J. M. Reynolds, “‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications,” *Geomorphology*, vol. 179, pp. 300–314, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.
- [42] Pix4D SA, “Pix4D Mapper 4.1 - User Manual.”
- [43] Agisoft Metashape, “Combined processing of aerial and terrestrial images _ Helpdesk Portal,” *Helpdesk portal*, 2022, Accessed: Jan. 29, 2022. [Online]. Available: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000158320-combined-processing-of-aerial-and-terrestrial-images>
- [44] W. Natephra, A. Motamedi, N. Yabuki, and T. Fukuda, “Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments,” *Building and Environment*, vol. 124, pp. 194–208, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.004.
- [45] V. P. Freitas, “PROJECTO DE REABILITAÇÃO DO BAIRRO DE LORDELO LORDELO DO OURO-PORTO-ESTUDO DE DIAGNÓSTICO E METODOLOGIA PARA OS TRABALHOS DE REABILITAÇÃO,” 2005.
- [46] B. Oliveira Onety, “Universidade do Minho Escola de Engenharia - Cost-effectiveness and resilience of energy renovation interventions with the nZEB objective in a social housing neighbourhood in Braga, Portugal,” 2022.
- [47] T. e C. Ministério das Obras Públicas, “Decreto-Lei nº 79/2006,” 2006.
- [48] A. J. S. Castilho, “SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO EFEITO DE PCM NO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS CASO DE ESTUDO DA FEUP,” 2014.
- [49] J. M. A. A. R, “Análise e Parametrização de Estratégias Free-cooling num Edifício,” 2012.
- [50] DesignBuilder, “General Contents,” <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0>, 2022.

ANEXOS

ANEXO A1 GUIÃO DO UTILIZADOR

A.1 ENQUANDRAMENTO

Este guião foi desenvolvido com o intuito de auxiliar os projetistas/utilizadores a efetuar um levantamento fotogramétrico terrestre de um edifício existente, e através deste levantamento conseguir criar um modelo BIM para que seja possível efetuar simulações e análises energéticas de desempenho da construção. Sendo assim, um guia que pode auxiliar no desenvolvimento de futuros projetos de reabilitação, demonstrando que de uma forma simples pode-se obter a simulação energética de um edifício, e simular as propostas de reabilitação no software para que isso suporte e facilite na hora da tomada de decisão.

O guião começa explicando os fundamentos do processo para o levantamento fotogramétrico do edifício existente, para que se consiga obter a partir daí a nuvem de pontos base. Em seguida, explica como preparar o modelo BIM no software Revit utilizando a nuvem de pontos como uma base de apoio na modelagem do edifício, e o processo de transição do Revit para o software BEM DesignBuilder, através da interoperabilidade dos software utilizando a extensão do arquivo em gbXML. Por fim, fornece as instruções e o passo a passo sobre como se obter a simulação energética do modelo no DesignBuilder.

Para este guião foram utilizadas as seguintes versões dos softwares:

- Agisoft Metashape Professional – Versão Experimental 1.8.3 build 14331
- Autodesk Recap Pro – Versão 22.0.0
- Autodesk Revit – Versão 2022 (22.0.2.392)
- DesignBuilder – Versão 7.0.1.006

Alguns materiais incluídos no Guião são baseados na ajuda online do software Revit, DesignBuilder e Agisoft Metashape que podem ser encontrados nos links abaixo:

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2018/ENU/> (acessado em 05/2022);

<https://agisoft.freshdesk.com/support/> (acessado em 05/2022);

<http://www.designbuilder.co.uk/helpv7.0> (acessado em 05/2022).

A.2 VISÃO GERAL DO PROCESSO – DIAGRAMAÇÃO

A proposta do guião é demonstrar o fluxo de trabalho, estimativa de tempo e esforço de cada etapa, juntamente com os devidos cuidados a serem considerados durante o processo de preparação dos levantamentos, coleta de imagens e processamento de dados, usando softwares adequados para que um modelo 3D BIM possa ser analisado energeticamente. O diagrama da Figura A. 1 mostra as etapas envolvidas no fluxo de trabalho, desde o processo de criação da nuvem de pontos (através da fotogrametria) até chegar em sua transição final no software DesignBuilder, para sua análise energética:

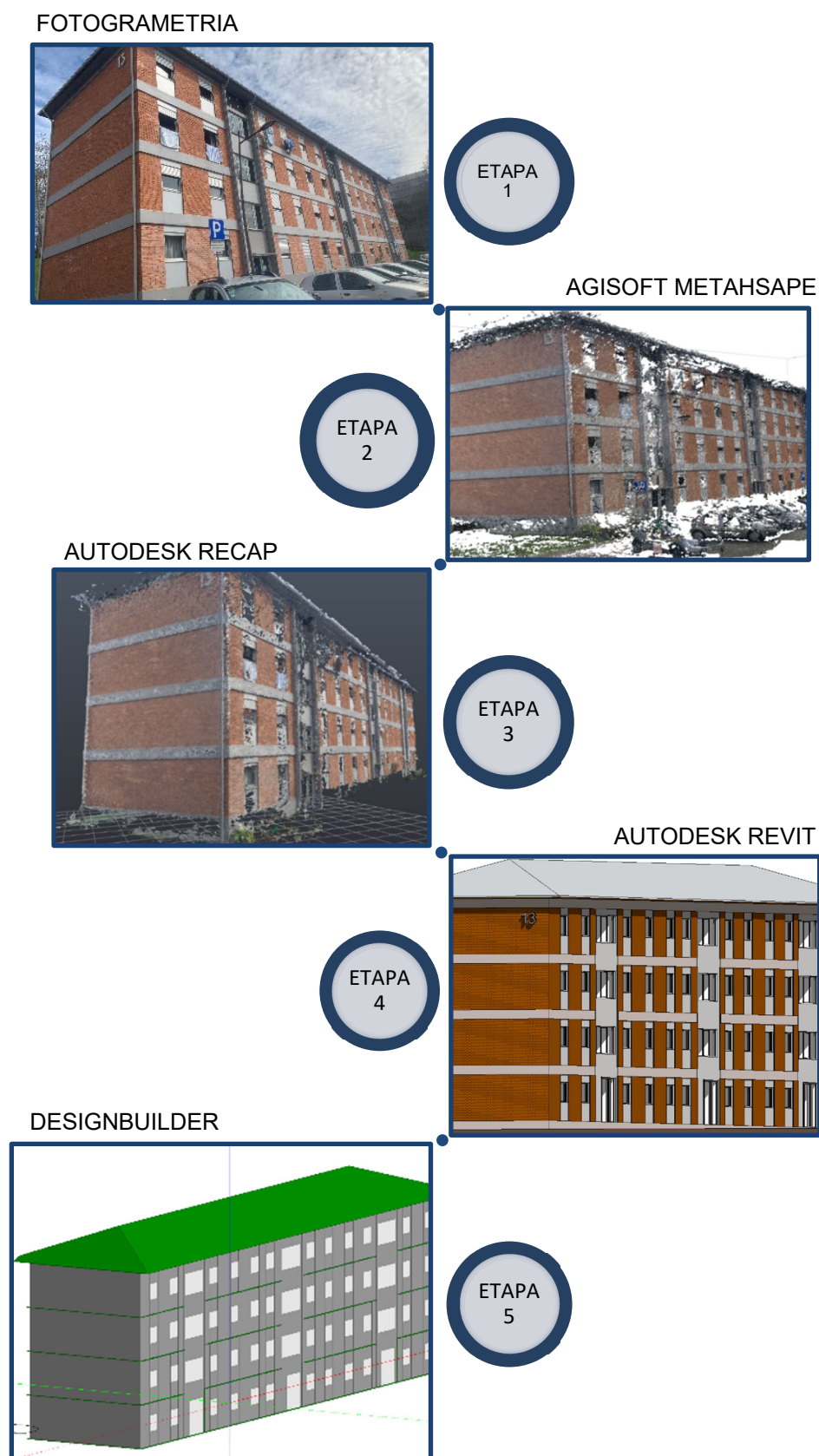


Figura A. 1 - Fluxo de trabalho para criação de um modelo BEM

A.3 DESENVOLVIMENTO

A.3.1 ETAPA 1 – FOTOGRAMETRIA

O levantamento de um prédio existente pode ser feito de forma simples e rápida, através da fotogrametria. A fotogrametria pode ser terrestre (como o caso que será demonstrado neste guião), ou aérea (utilizando drones para captura das imagens aéreas).

Cuidados que devem ser levados em conta para a fotogrametria terrestre de um edifício:

- O número de fotos: Mais do que o necessário é melhor do que insuficiente. Portanto, uma foto em cada frente do prédio não será suficiente.
- Ângulos: Deve-se evitar mudar o posicionamento da câmara durante os disparos da sequência de foto (Figura A. 2).

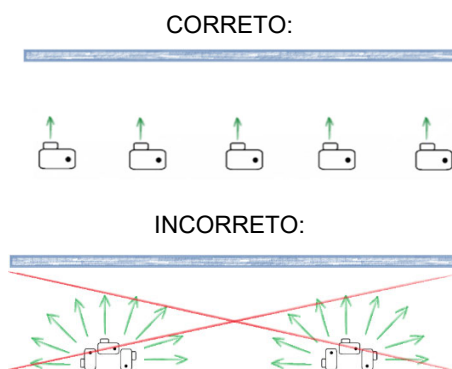


Figura A. 2 - Posicionamento das câmeras

- Sobreposição: As fotos devem ter objetos em comum entre elas para um fácil reconhecimento do local no software e união dos pontos nas coordenadas corretas.
- Clima: Recomenda-se planejar o processo de captura de dados para um dia nublado. A luz solar direta leva a manchas na maioria das superfícies.

Portanto, um edifício onde se consegue ter fácil acesso a toda a sua parte exterior, pode ser feito facilmente um levantamento fotogramétrico terrestre de forma rápida e prática. Para o edifício em questão, levou em torno de **20 Min** para capturar as fotos necessárias (total de 175 fotos). Uma sugestão, como foi feito para o edifício demonstrado neste guião é: Ir andando ao redor do prédio com a câmara já posicionada e apenas ir capturando o máximo de fotos possíveis (sem parar). Buscando assim um maior número de sobreposição possível.

Chamada de atenção para a Etapa 1:

- ✖ No primeiro levantamento fotogramétrico efetuado para o edifício em questão (Figura A. 3), foram capturadas apenas 10 fotos ao redor do edifício, sendo insuficientes para a criação da nuvem de pontos através desta quantidade. Foi perceptível que o software não conseguiu identificar as sobreposições das fotos tiradas, pois a quantidade era mínima e o ângulo da câmara também mudava. Exemplo das 10 fotos iniciais abaixo:



Figura A. 3 - Primeiro levantamento efetuado com erros

A.3.2 ETAPA 2 – AGISOFT METASHAPE

Após efetuar o levantamento fotogramétrico do local desejado, inicia-se o procedimento para a Etapa 2, onde será criada a nuvem de pontos através das fotos obtidas com a utilização do software Agisoft Metashape.

O software tem um workflow bastante autoexplicativo, portanto, com o correto levantamento das fotos realizados na Etapa 1, o processo de criação da nuvem de pontos será simples. O tempo que essa etapa irá levar depende apenas da quantidade de fotos e do computador que será utilizado para rodar o software, pois irá interferir no tempo de processamento. Para o processamento de 175 fotos, do edifício em questão, levou em torno de **30 Min** para se obter a nuvem de pontos densa final.

Passo a passo no Agisoft Metashape:

1º) Adicionar e alinhar todas as fotos obtidas no processo da Etapa 1 – Figura A. 4:

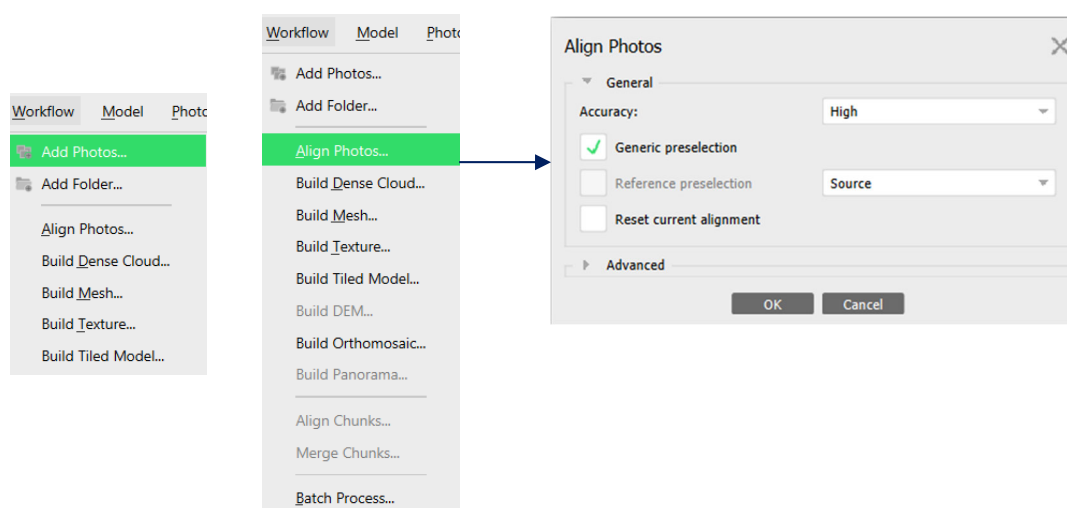


Figura A. 4 – Passo a passo Metashape

3º) Após o alinhamento das fotos obtém-se o “Tie Points” (Figura A. 5), que nada mais é do que a nuvem base do projeto, ainda bastante espaçada:

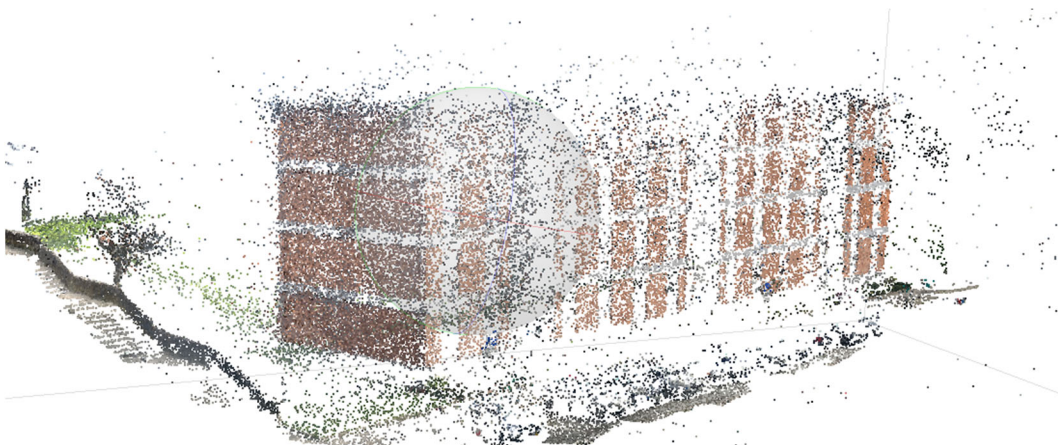


Figura A. 5 - Nuvem de pontos espaçada

4º) Criar o “Build Dense Cloud” (Figura A. 6) – Nuvem de pontos densa Figura A. 7:

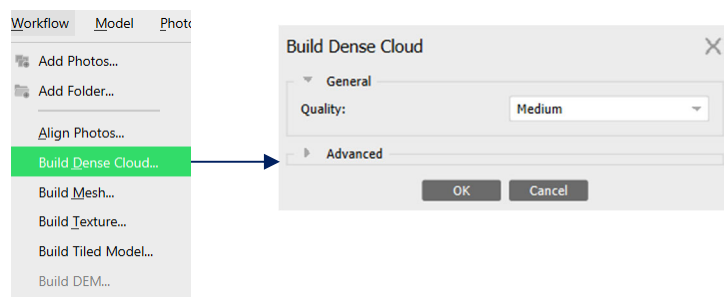


Figura A. 6 - Processo para criar a nuvem de pontos densa



Figura A. 7 - Nuvem de pontos densa do modelo

5º) E por fim, com a nuvem de pontos já criada, pode-se exportar através do “Export Dense Cloud” - Salvar com a extensão ASTM E57.

A.3.3 ETAPA 3 – AUTODESK RECAP

Com a Nuvem de pontos densa criada e salva no formato ASTM E57, deve-se utilizar o software Autodesk Recap, para que se possa fazer o tratamento e limpeza da nuvem de pontos, deixando assim apenas os pontos do local de interesse para o projeto. Essa etapa requer um pouco mais de atenção e tempo, pois, uma nuvem de pontos bem limpa e posicionada irá facilitar a modelagem na etapa seguinte.

Para o projeto em questão, estima-se uma média de tempo gasto para essa etapa em torno de **40 Min**, e vale ressaltar que quanto mais detalhe tiver o projeto, mais tempo será necessário para efetuar a limpeza.

Passo a passo no Autodesk Recap:

1º) Criar um projeto Figura A. 8: “New Project” - “Import Point Cloud” - “Select files to import” - Escolher o “Dense Cloud” (Formato ASTM E57 salvo da Etapa 2) - “Import Files”.

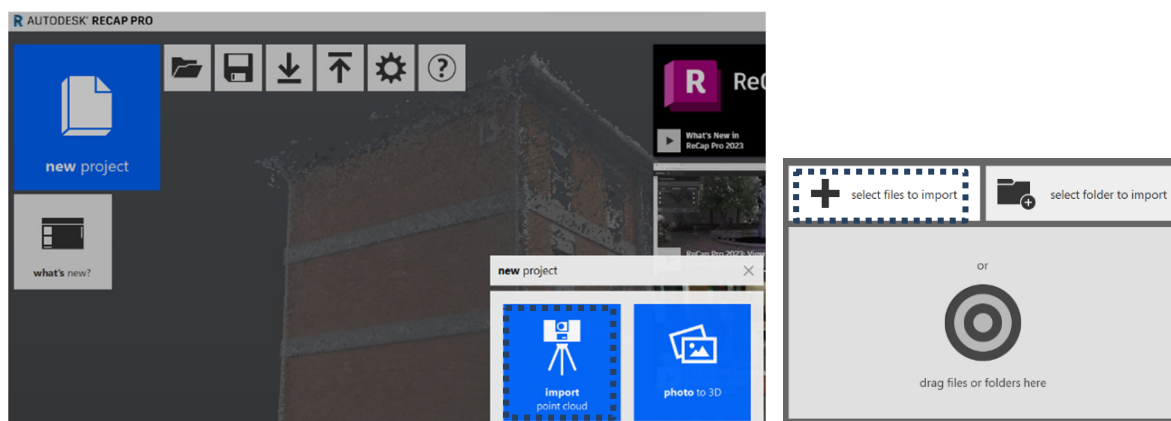


Figura A. 8 - Processo para importar a nuvem de pontos no Autodesk Recap

2º) Aguardar o “Dense Cloud” selecionado carregar 100% (neste exemplo a nuvem de pontos densa foi salva com o nome “Modelo 2”). Selecionar o “Modelo 2” após carregar por completo e seguir com: “Index Scan” - “Launch Project” – Figura A.9 e Figura A.10:

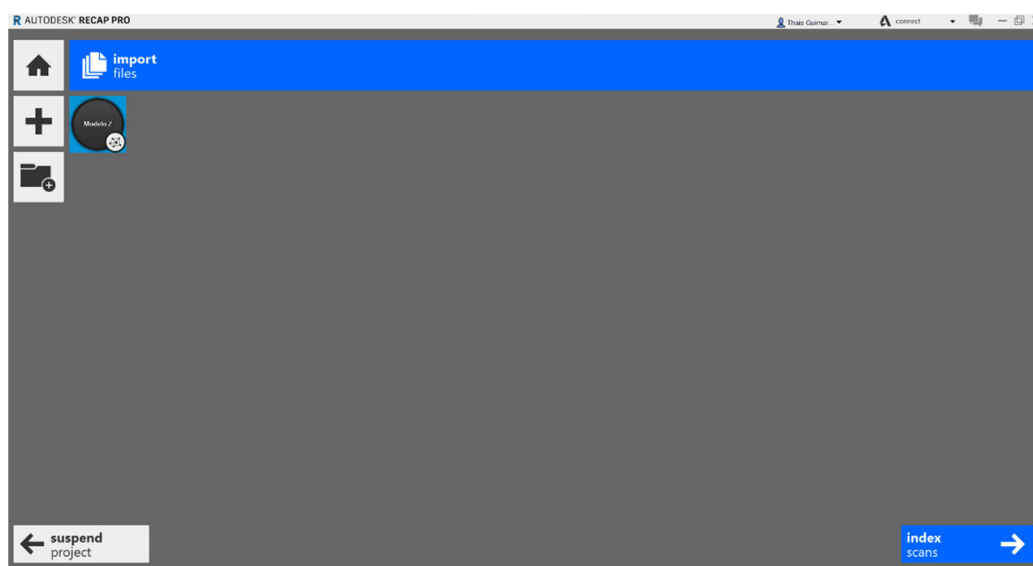


Figura A. 9 - Carregando a nuvem de pontos densa no Recap

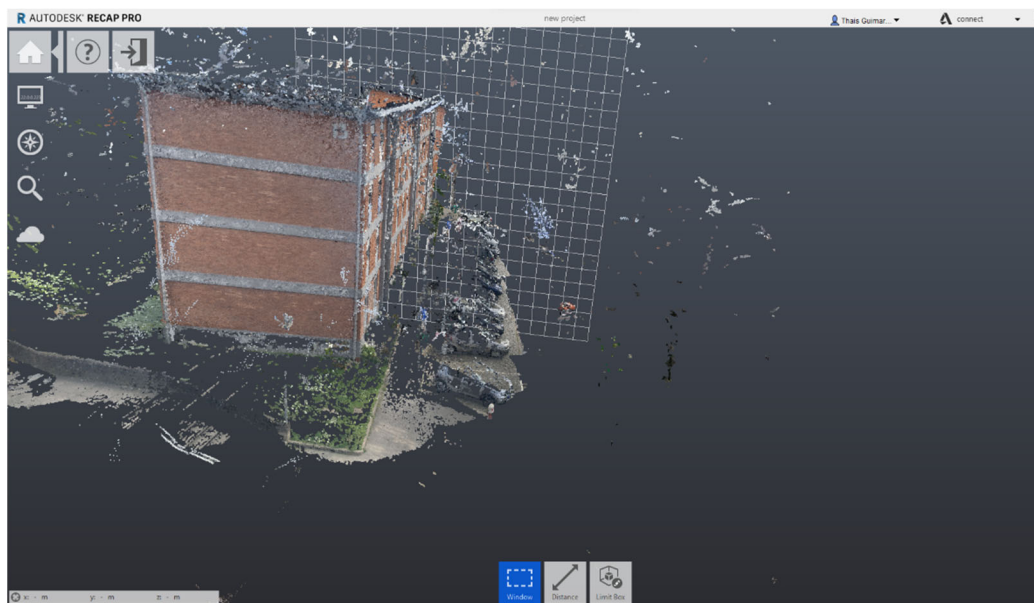


Figura A. 10 - Nuvem de pontos inserida no Recap

3º) Efetuar a limpeza dos pontos desnecessários (carros, calçada, árvores - Figura A. 11.): para isso, basta selecionar os pontos indesejados cuidadosamente e então deletar. Essa etapa deve ser executada no detalhe, pois irá interferir diretamente no peso do arquivo para futura modelagem, e definição nitida das estruturas que serão modeladas posteriormente.

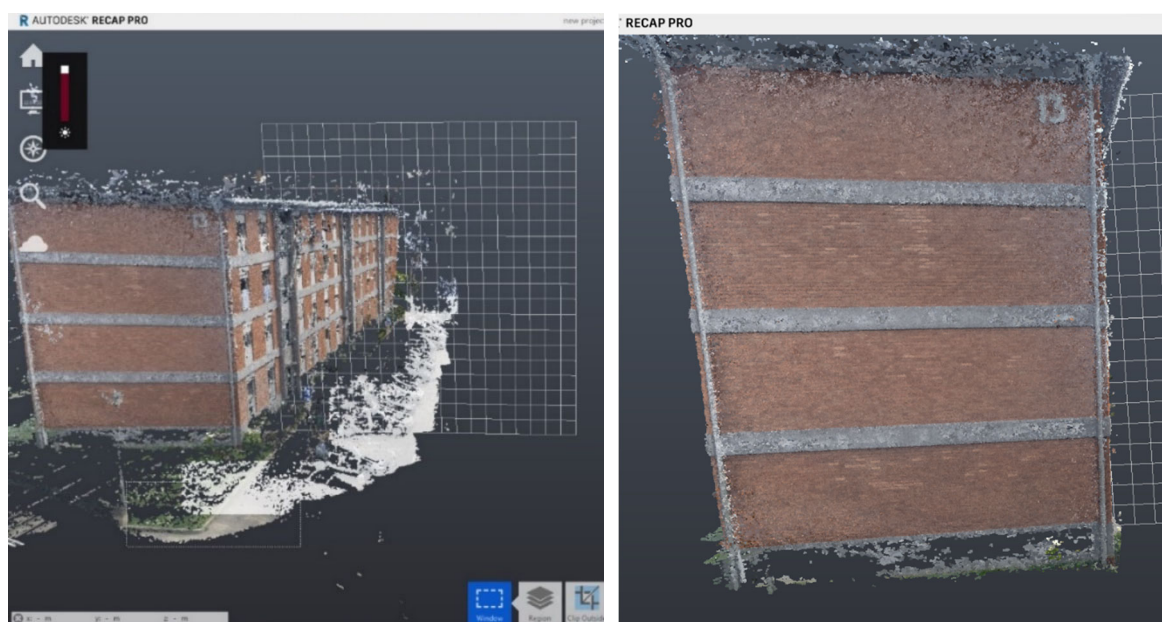


Figura A. 11 - Limpeza da nuvem de pontos

4º) Posicionar o grid (origem) para o eixo correto – caso esteja errado (como o exemplo abaixo, onde pode-se observar que o grid está na lateral do edifício e não no solo). Para isso: Selecionar o “*Update Origin*” - escolher um ponto conhecido na origem desejada (por exemplo: um ponto no solo ou base do edifício) - Apertar CTRL para ver os eixos e ALT para alterá-los (até estar alinhado conforme o desejado) – por fim, seleccionar “ok” (Figura A. 12) .

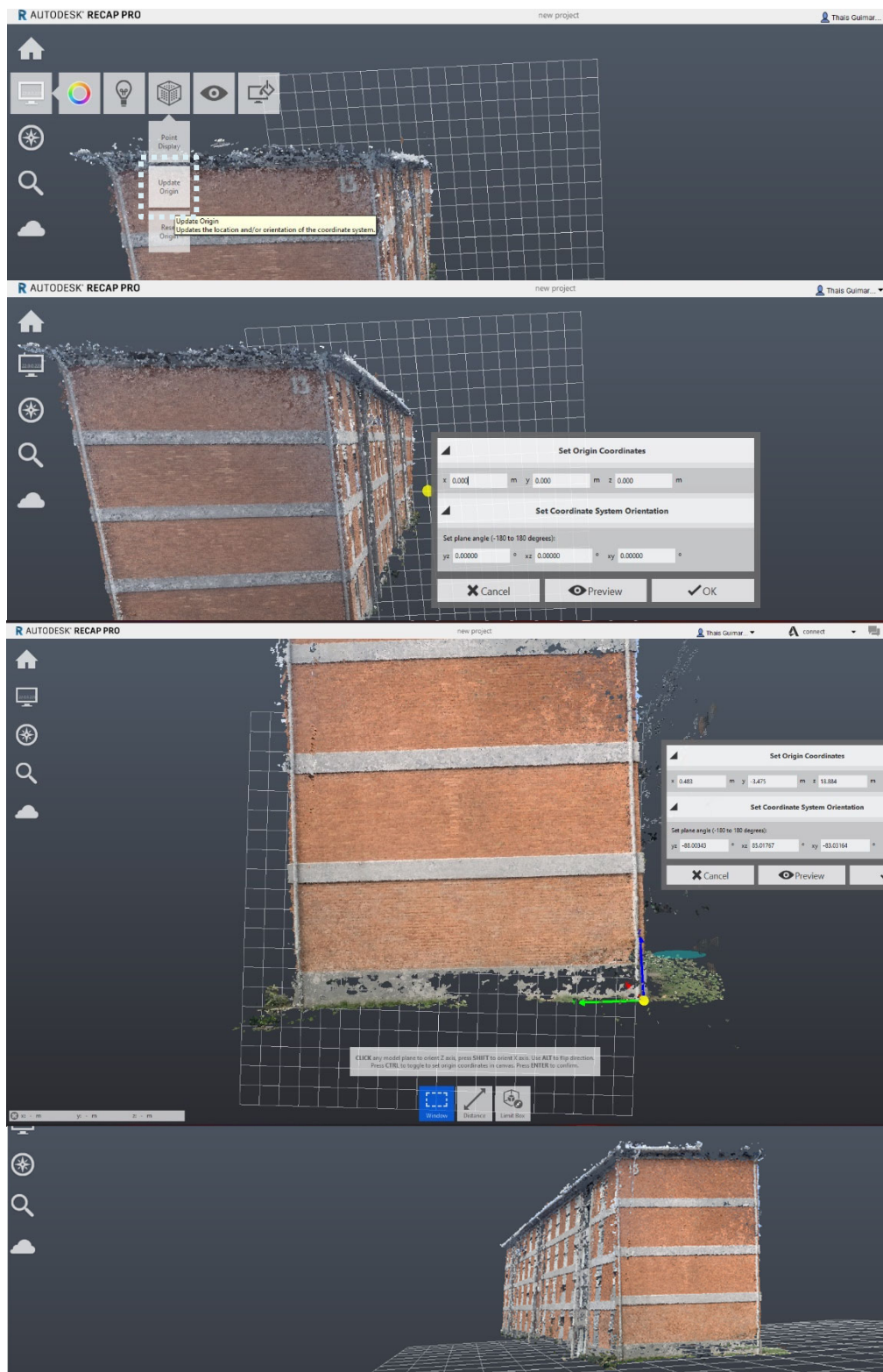


Figura A. 12 - Reposicionando o grid de origem do modelo

5º) Exportar e salvar como Extensão .rcs (Figura A. 13):

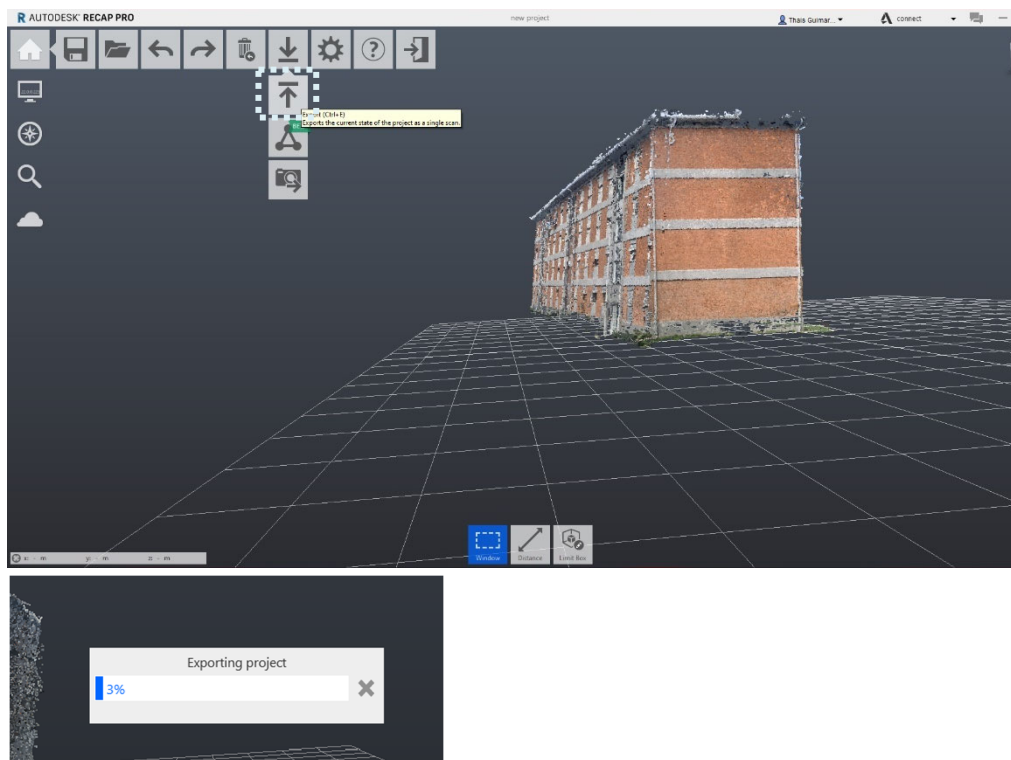


Figura A. 13 - Exportando nuvem de pontos limpa no formato .rcs

Chamada de atenção para a Etapa 3:

- ✖ Importante conferir sempre o grid de origem para que se obtenha a correta orientação do edifício, pois, caso seja exportado sem o grid está na origem correta será difícil de se efetuar a modelagem no Revit em cima dessa base de nuvem de pontos mal referenciada.
- ✖ Importante checar algumas distâncias da nuvem de pontos no Recap para ver se condiz com a realidade.

A.3.4 ETAPA 4 – AUTODESK REVIT

Após obter uma nuvem de pontos limpa, pode-se seguir para a Etapa da modelagem do edifício usando a nuvem como base. O intuito de utilizar a nuvem de pontos para essa etapa é de facilitar esse processo, pois as localizações de caixilharias, paredes, portas, e dimensões do edifício como um todo, já estará bem-posicionada, necessitando apenas um “decalque” da realidade e posterior inclusão das informações detalhadas dos materiais. O tempo estimado gasto para a execução dessa modelagem e inserção de todas as informações e verificações necessários girou em torno de 1:00h, sendo que dessa **1h** o que demandou mais tempo foi a inserção das informações (ambientes, propriedades térmicas etc.) e verificações necessárias, e não a modelagem do modelo em si (que girou em torno de 25min).

Vale ressaltar que, essa etapa será a base da representação construtiva para uma posterior análise energética do edifício, portanto: Todas as informações térmicas dos materiais utilizados devem ser

incluídas aqui (tijolo, isolamento térmico, coeficiente de transmissão térmica das caixilharias, cobertura etc.).

Passo a passo no Autodesk Revit:

1º) Adicionar a nuvem de pontos no Revit (Figura A. 14): Gerenciar Vínculos - Nuvem de pontos - Adicionar o arquivo exportado do Autodesk Recap (.rcs):

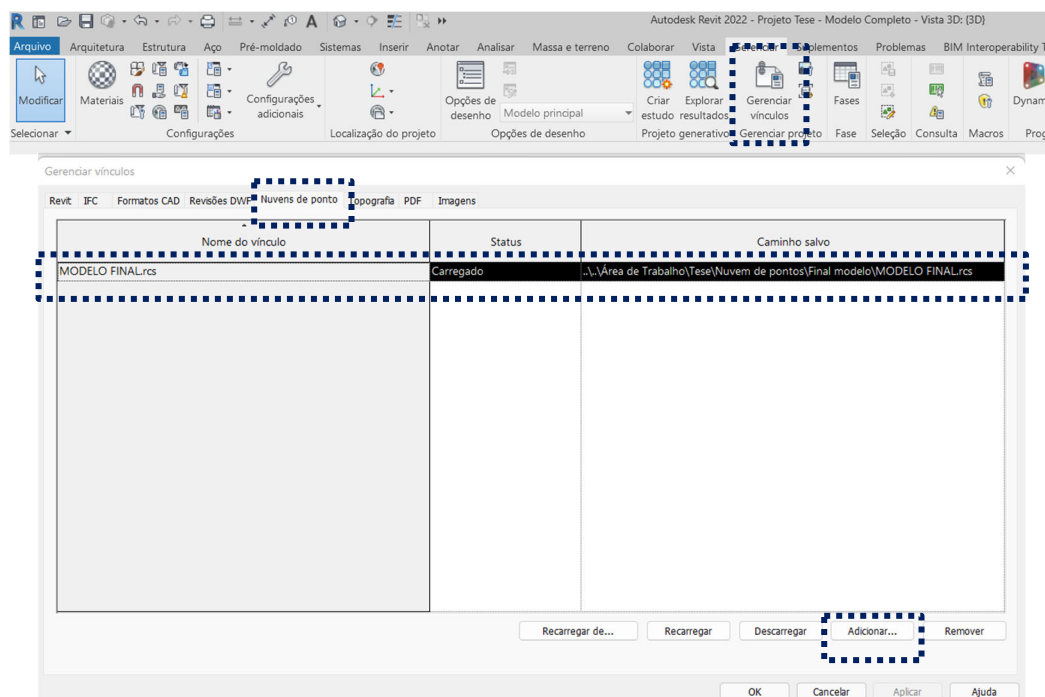


Figura A. 14 - Processo para adicionar a nuvem de pontos no Revit

2º) Na vista 3D e na planta de piso, estará localizada a nuvem de pontos que foi importada para o Revit (Figura A. 15):

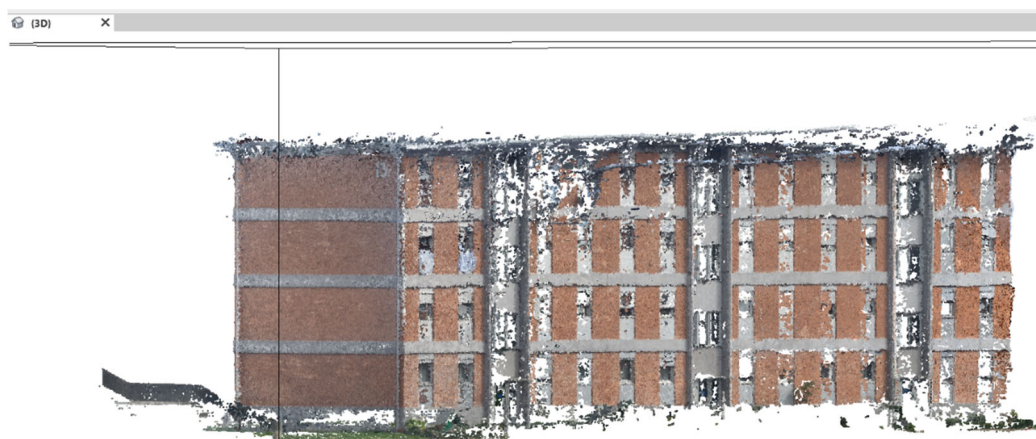


Figura A. 15 - Visualização da nuvem de pontos no Revit

3º) Ir para a planta de piso e adicionar um corte para que se consiga começar a inserir os níveis para desenvolvimento do modelo (Figura A. 16): Abrir a planta de piso - Aba Vista do menu - Inserir Corte - Selecionar o corte criado, botão direito do mouse, ir para a vista do Corte inserido - Aba Arquitetura

do menu - Nível- Inserir os Níveis de cada Pavimento para seguir com a modelagem do edifício conforme nuvem de pontos.

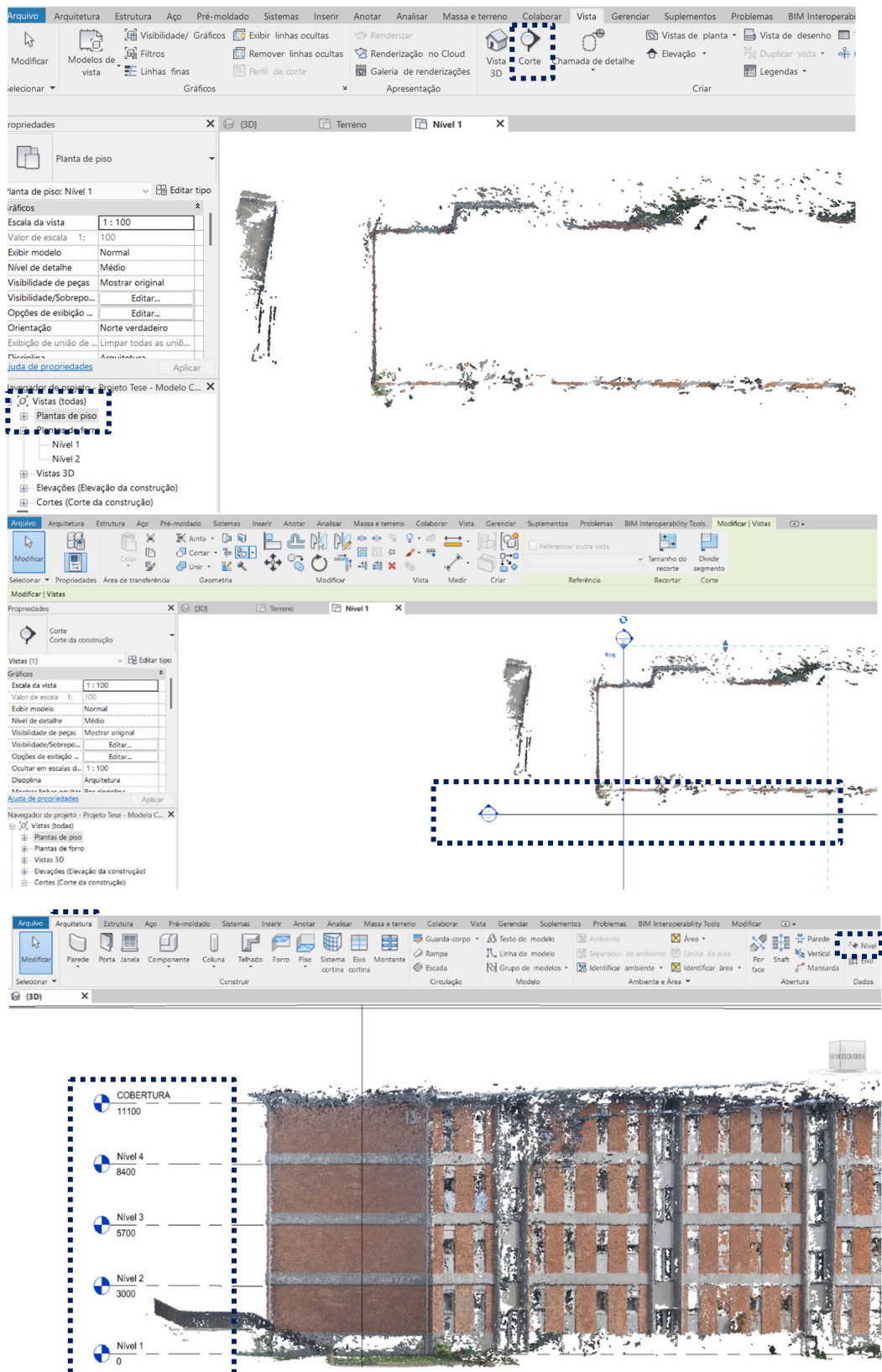


Figura A. 16 - Inserindo níveis em cima da nuvem de pontos (Revit)

4º) Iniciar a modelagem de cada pavimento normalmente, usando a base da nuvem de pontos como referência de posicionamento das paredes, caixilharias, laje, etc, conforme Figura A. 17.

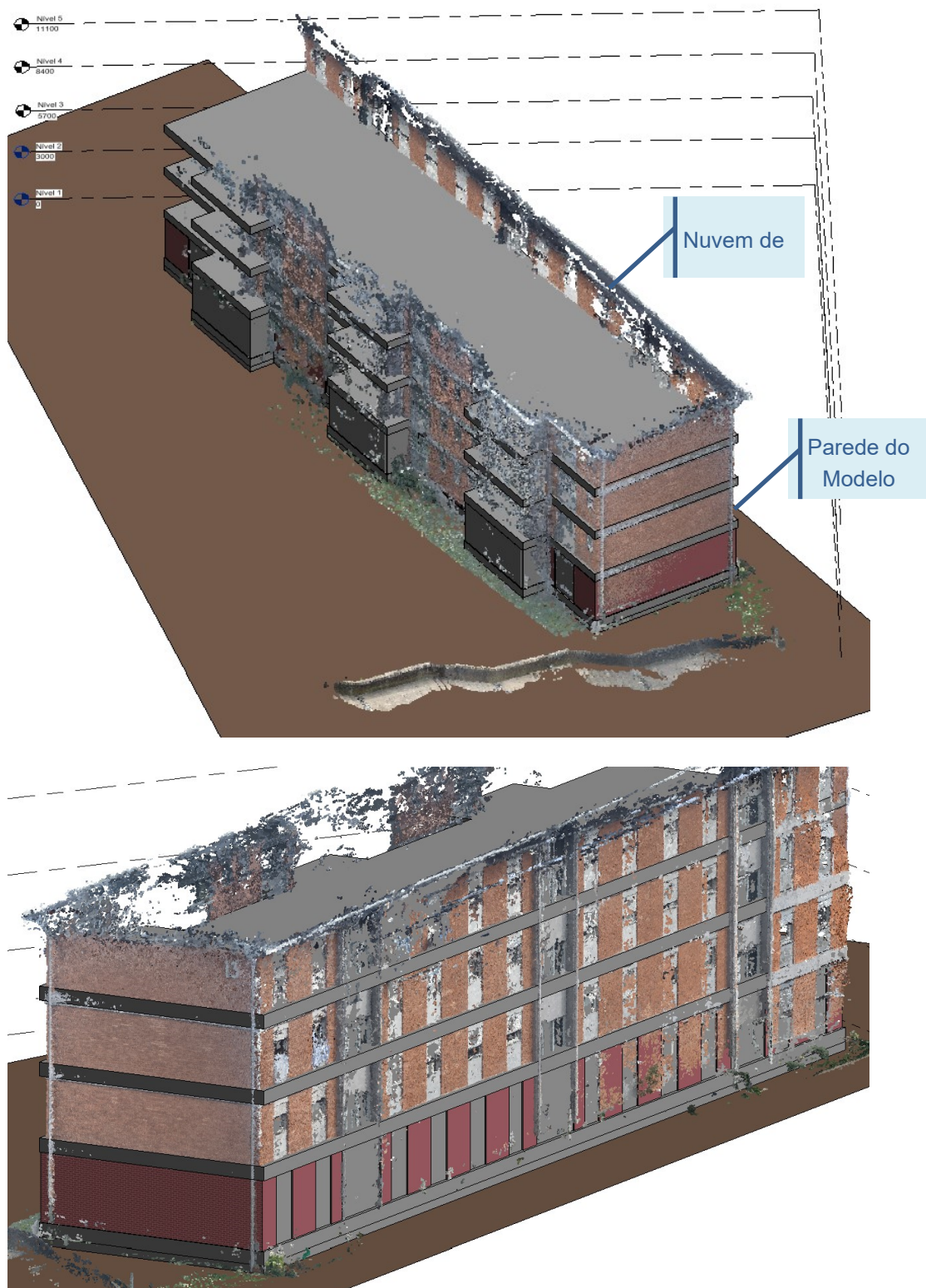


Figura A. 17 - Modelagem com a nuvem de pontos como base (Revit)

5º) Após finalizar a modelagem completa do edifício, deve-se iniciar as configurações necessárias para que o DesignBuilder reconheça todos os materiais e devidas espessuras do modelo (Figura A. 18). Sendo assim, deve-se incluir no Revit a localização do Projeto: Gerenciar - Localização- Inserir a localização do projeto real com a latitude e longitude do mapa.

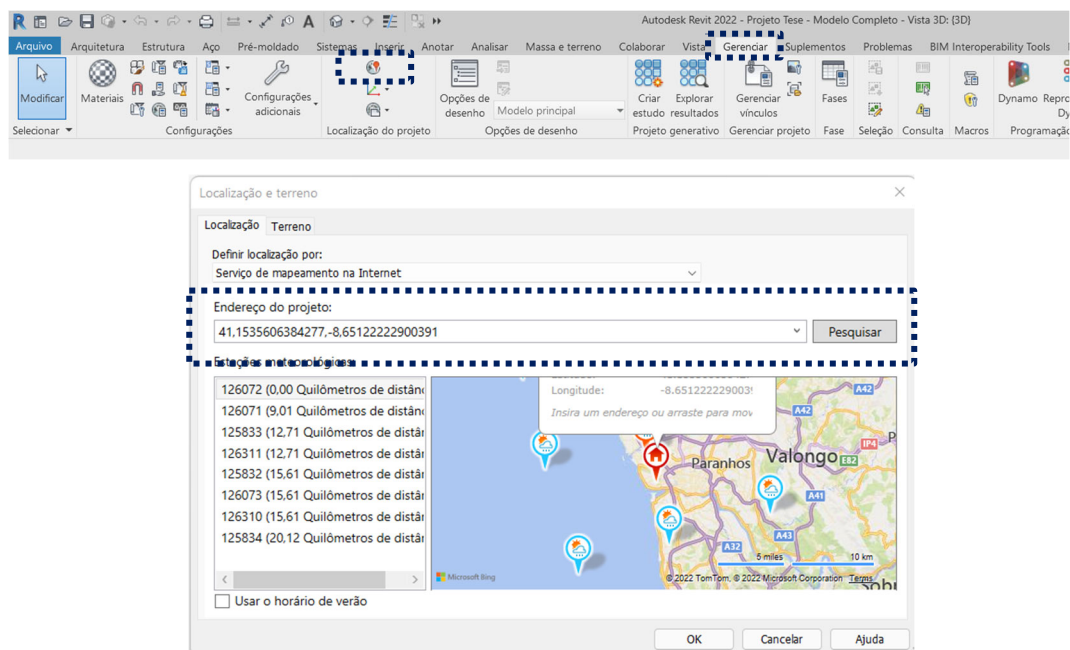


Figura A. 18 - Inserindo localização no modelo

6º) Todos os materiais constituintes da composição do modelo devem conter as características térmicas e físicas para que seja importado e reconhecido pelo DesignBuilder (Figura A. 19). Caso o material escolhido para compor não tenha essas características, elas devem ser adicionadas conforme abaixo:

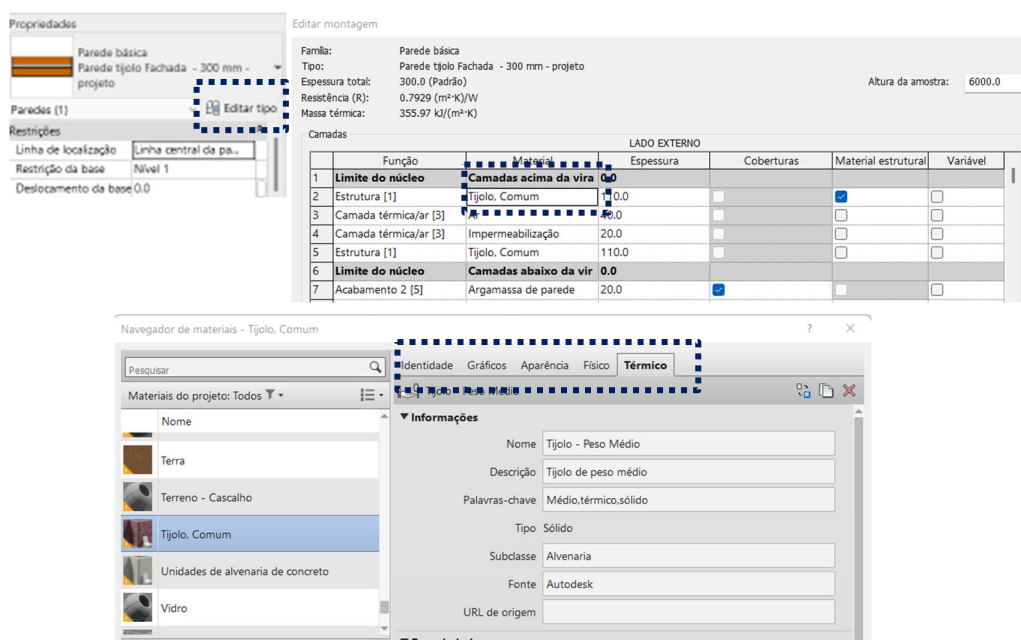


Figura A. 19 - Verificação das propriedades dos materiais

Caso o material não tenha algumas dessas características térmicas, deve-se adicionar (Figura A. 20):

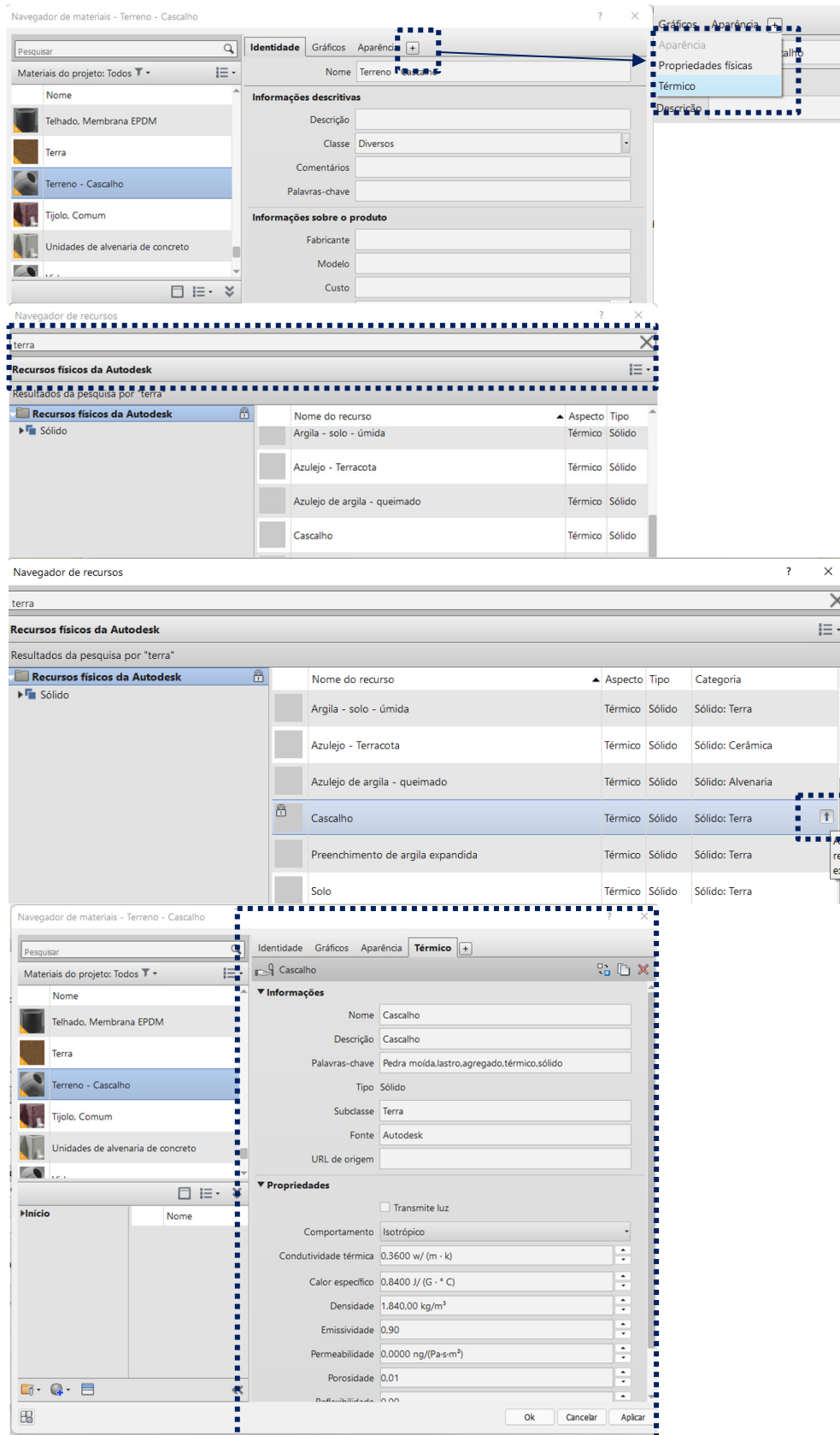


Figura A. 20 - Adicionando propriedades térmicas no material

7º) Cada ambiente deve ser devidamente atribuído no Revit (Figura A. 21). Vale ressaltar que, se as paredes estiverem devidamente unidas e com a correta definição de “delimitação de ambientes” assinalada, o Revit consegue reconhecer automaticamente essa definição do ambiente, e então basta seguir os passos: Ir para planta de piso do Nível inicial (fazer em todo o edifício/níveis) - Aba Arquitetura do menu - Ambiente - Colocar Ambiente Automaticamente (ou ir selecionando de um por um) - Renomear/Renumerar o ambiente caso deseje - Após todos os ambientes estarem devidamente identificados deve-se clicar em “cálculo de área e volume” (Importante calcular o volume para que este seja devidamente reconhecido quando for criar o modelo analítico para exportar para o DesignBuilder).

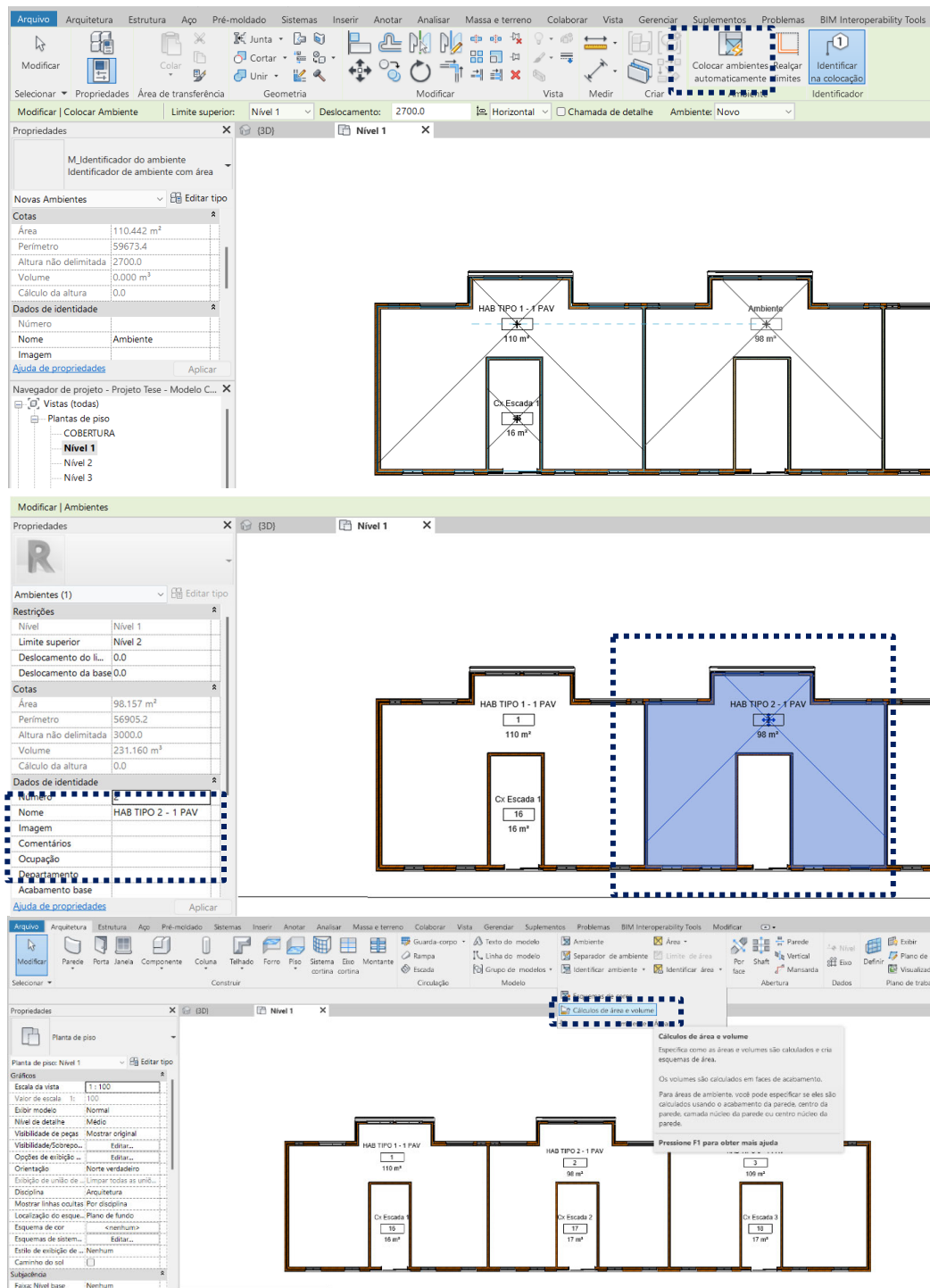


Figura A. 21 - Atribuição de ambientes e cálculo de área e volume

8º) Criar um corte no edifício nos dois sentidos, horizontal e vertical, para verificar se todos os ambientes foram devidamente criados e posicionados (Figura A. 22): Ir para a vista do corte criada - Visibilidade/sobreposição - Categoria de modelo - Ambiente - Ativar o preenchimento interno para que fique visível na vista e então checar.

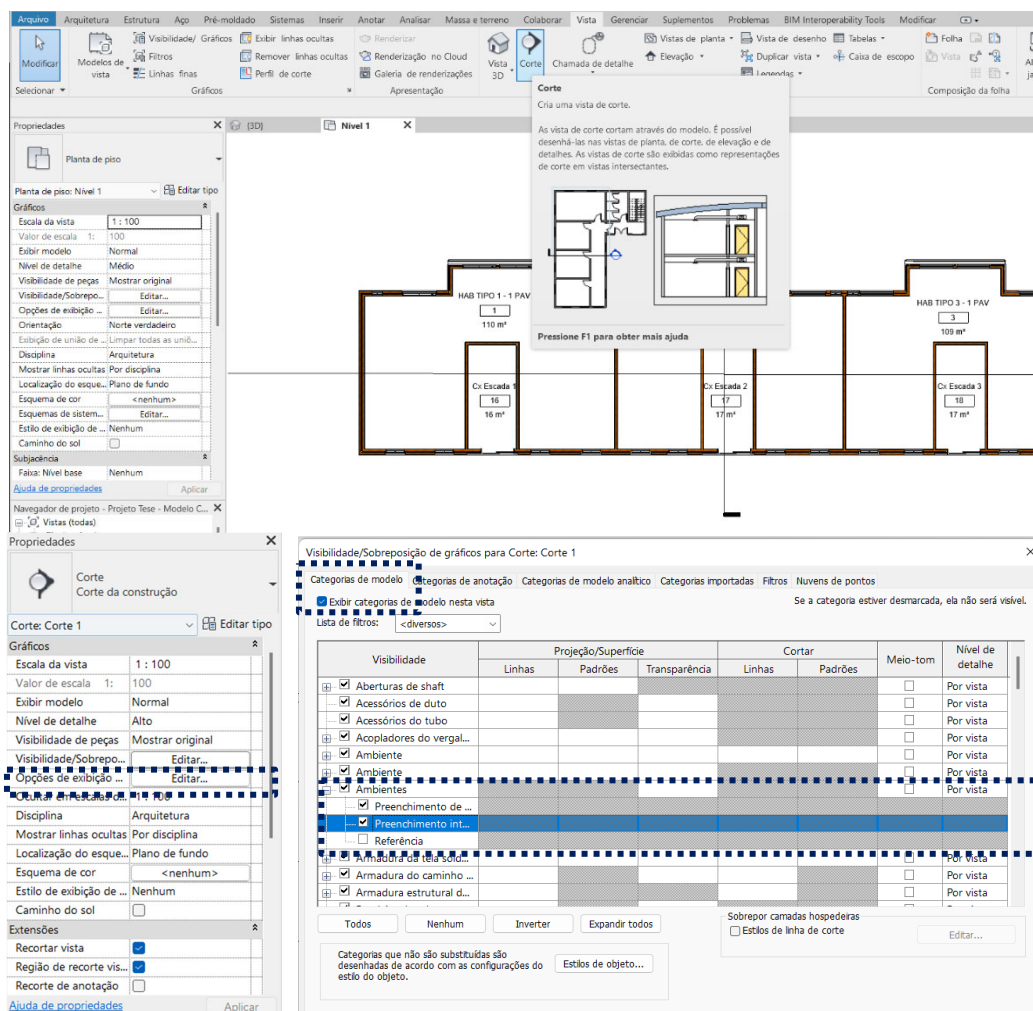


Figura A. 22 - Opções de exibição da vista em corte para verificação dos ambientes

Caso queira redefinir as cores para tornar a área do ambiente mais visível, pode-se também ir em: Propriedades -> Esquema de cor -> Categoria Ambientes e configurar conforme deseja (Figura A. 23):

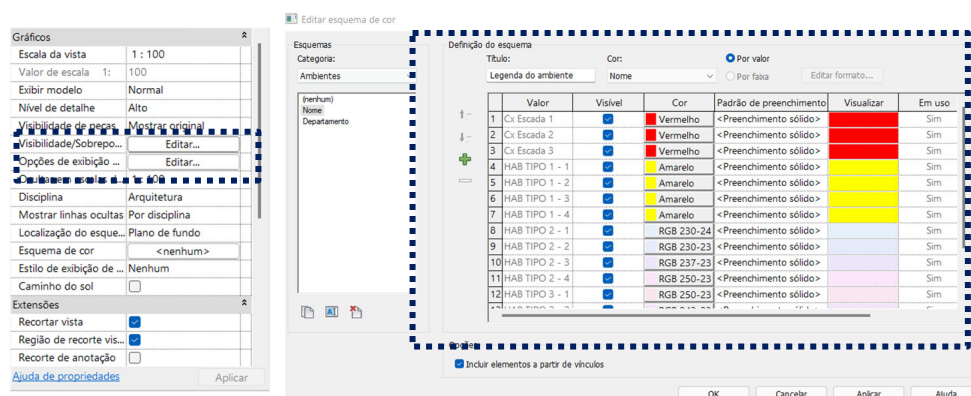


Figura A. 23 - Configuração de preenchimento de cores da vista em corte para verificação dos ambientes

9º) Configurar o modelo analítico (Figura A. 24): Aba Analisar - Configurações de Energia - Avançada Editar outras opções - Editar o Tipo de construção para o desejado - Exportar categoria “Ambiente” (Já que foi criado ambiente no modelo) - Propriedades Térmicas do material - Seleccionar a aba de “Elementos detalhados” (Para que possa ir os materiais conforme modelado e com as devidas espessuras e coeficientes térmicos).

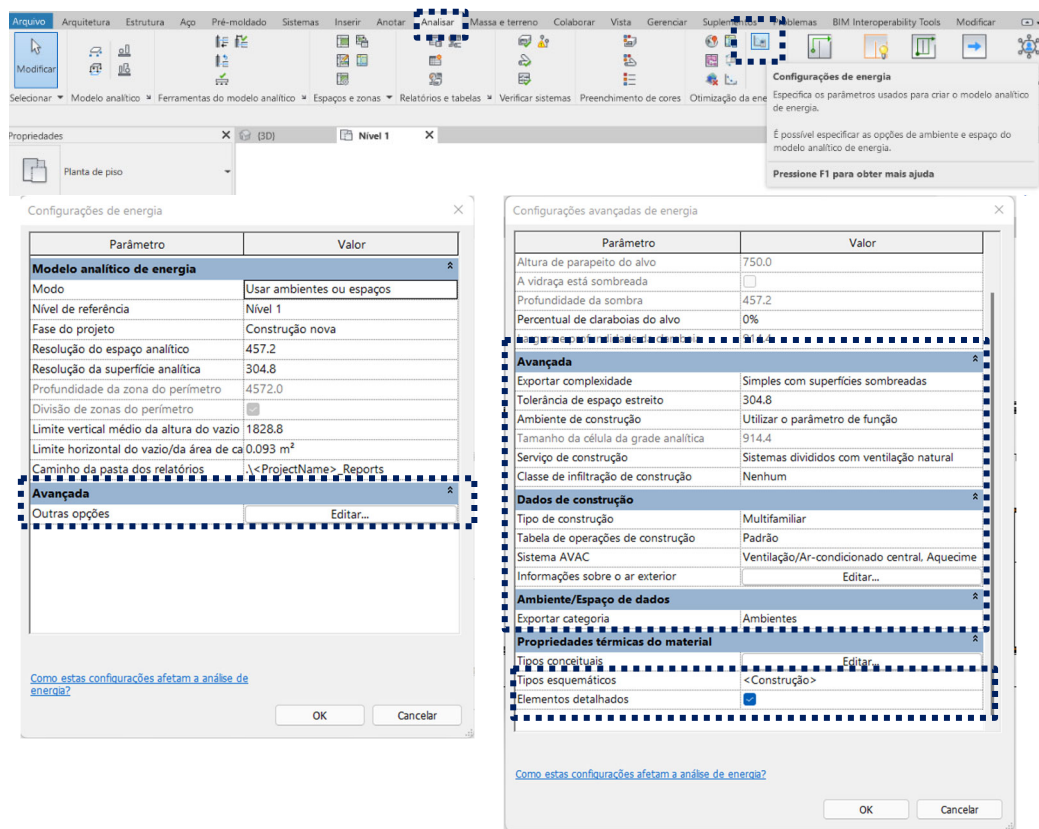


Figura A. 24 - Configuração do modelo analítico no Revit

10º) Criar o modelo analítico para ser exportado em formato gbXML para o DesignBuilder (Figura A. 25): Aba Analisar - Criar o modelo de energia.

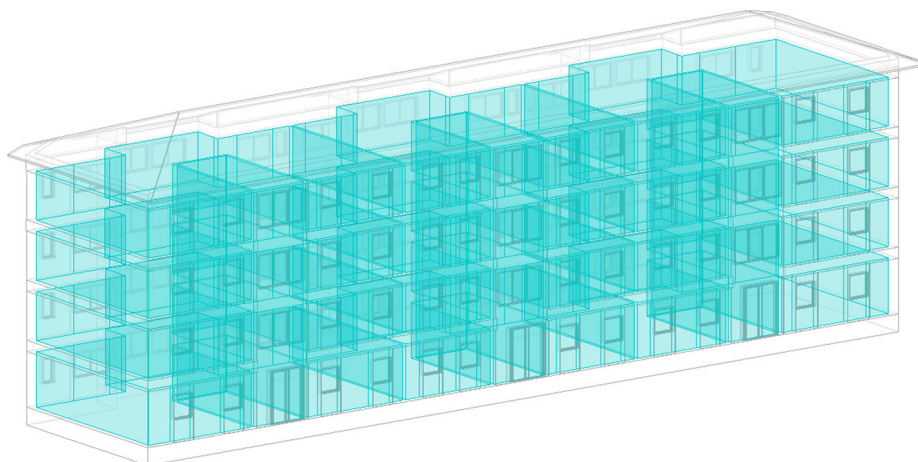


Figura A. 25 - Modelo analítico no Revit

11º) Exportar o arquivo em gbXML (Figura A. 26): Ir para a vista 3D - Exportar - Formato gbXML - Salvar usando opção de ambientes/espacos.

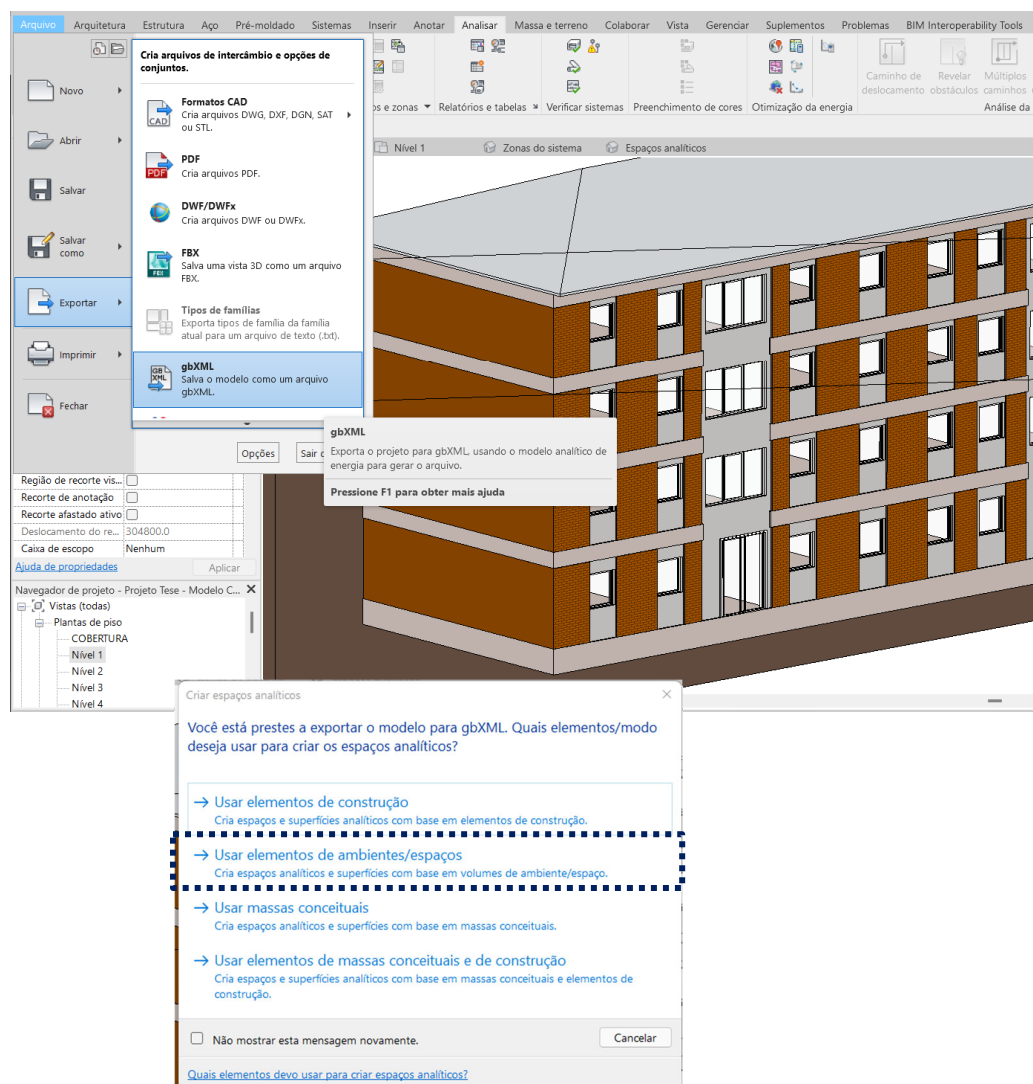


Figura A. 26 - Salvando arquivo em formato gbXML

Chamada de atenção para a Etapa 4:

- ✱ Importante checar que todos os ambientes estejam devidamente criados e calculados, com os limites superior e inferior correto e fechado, pois, caso não esteja 100% esses ambientes não serão incluídos no modelo importado para o DesignBuilder, causando o aparecimento de lacunas inesperadas na geometria do modelo e erro na importação.
- ✱ Verificar que todos os materiais utilizados no modelo contêm suas propriedades térmicas, e que as caixilharias desejadas estão com os corretos coeficientes de transmissão térmica pois caso não esteja, o material será adaptado pelo software da etapa seguinte e isso poderá interferir nos resultados.
- ✱ Não perder tempo com a modelagem do sistema AVAC nesta etapa, pois essas informações serão inseridas dentro do DesignBuilder na etapa seguinte.

A.3.5 ETAPA 5 – DESIGNBUILDER

Para finalizar todo o processo, após obter o arquivo em formato gbXML exportado do Revit, a etapa final será importar este modelo para o DesignBuilder e obter a simulação energética do edifício.

Essa etapa demanda um pouco mais de tempo apenas na fase inicial do modelo as it is, para a validação do modelo e para a inserção do sistema AVAC (caso tenha interesse em criar um sistema bastante detalhado que retrate 100% a realidade do edifício). Pois, após essa fase inicial, o processo é bem simples, basta gerar as simulações de cálculo e analisá-las. Caso deseje ver como o edifício irá reagir com uma alteração específica de reabilitação (exemplo, acrescentando um isolamento na parede de fachada do prédio), isso pode ser feito de maneira bem simples dentro do próprio software, e a partir daí é apenas analisar e ver qual solução traz o resultado mais próximo possível do desejado.

Para a validação do projeto e inserção do sistema AVAC em questão, o tempo gasto girou em torno de **35Min**, um pouco mais rápido que o esperado pois foi utilizado o AVAC simples (utilizando Ideal Loads). Já para as simulações de cálculo com o período de 1 ano estimado, levou cerca de **15Min** até se obter cada relatório gerado pelo software (isso irá depender também do que se deseja ter de output, período desejado da simulação, e do computador que está utilizando).

Passo a passo no DesignBuilder:

1º) Importar o arquivo gbXML para o DesignBuilder (DB) Figura A. 27: “Open DB” – “New File” - Escolher um Título/Localização do Projeto - Aba de menu selecionar “Import” – “Import 3D Model” - Escolher o “Primary Building condition category” e “Sector” - Escolher o “File Type” como “1-gbXML”, e o arquivo que foi exportado do Revit na etapa anterior -> Ok.

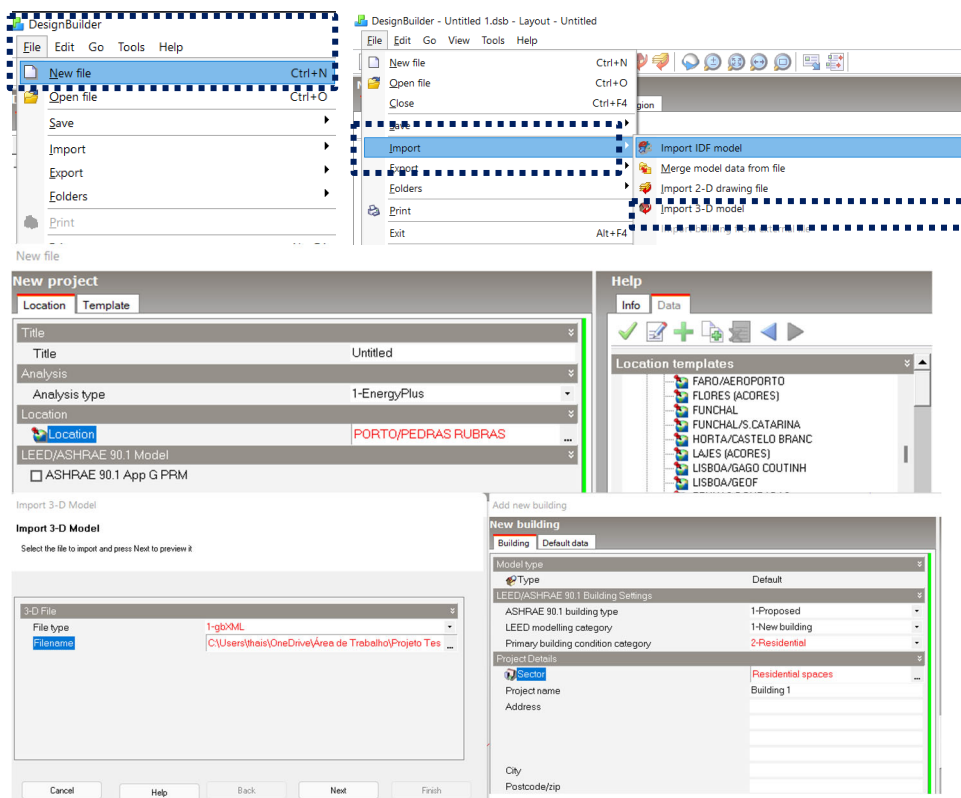


Figura A. 27 - Importando arquivo gbXML no DB

2º) Em seguida, aparece o preview do modelo e então deve-se definir alguns parâmetros para essa importação, conforme apresentado na Figura A. 28:

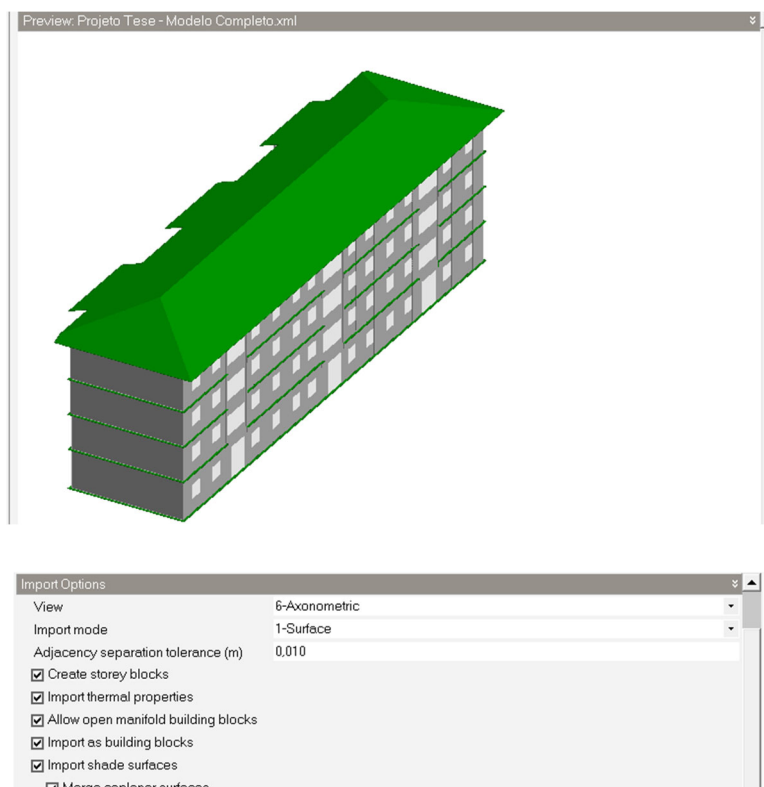


Figura A. 28 - Parâmetros para importação

3º) Quando a importação for finalizada, irá aparecer uma mensagem com os detalhes do modelo importado e possíveis erros (caso tenha), conforme Figura A. 29. Caso o modelo tenha algum “unclosed zone” pode-se ver o erro detalhado e então voltar na Etapa 4 para verificar o ambiente que está mal fechado, exportar novamente, até que apareça a mensagem: “*All zone are closed manifold*”. Essa opção de ver o erro em detalhe da importação é de extrema importância, pois, caso tenha alguma zona “*unclosed*”, ou algum erro onde não se conseguiu obter a zona definidamente importado, será relatado aqui com a descrição correta da zona ou material que está ocorrendo o erro. Sendo assim, mais fácil de visualizar e voltar no Revit para resolver este problema, antes de seguir com a análise/simulações no modelo.

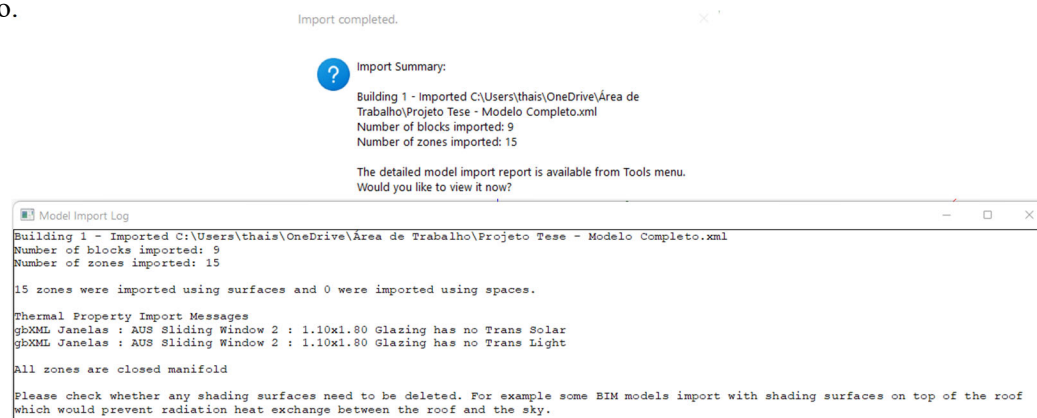


Figura A. 29 - Aviso de importação devidamente concluída com zonas fechadas

4º) Já se pode observar o modelo completo devidamente importado com suas devidas zonas térmicas (Figura A. 30). Vale ressaltar que cada ambiente criado no Revit passou para o DesignBuilder como uma zona térmica, alocadas em blocos (que são os níveis do edifício). Não se consegue editar essas zonas, o software reconhece automaticamente, portanto, caso esteja alguma zona mal alocada, deve-se retornar ao Revit e rever as condições das paredes de “delimitação de ambiente”.

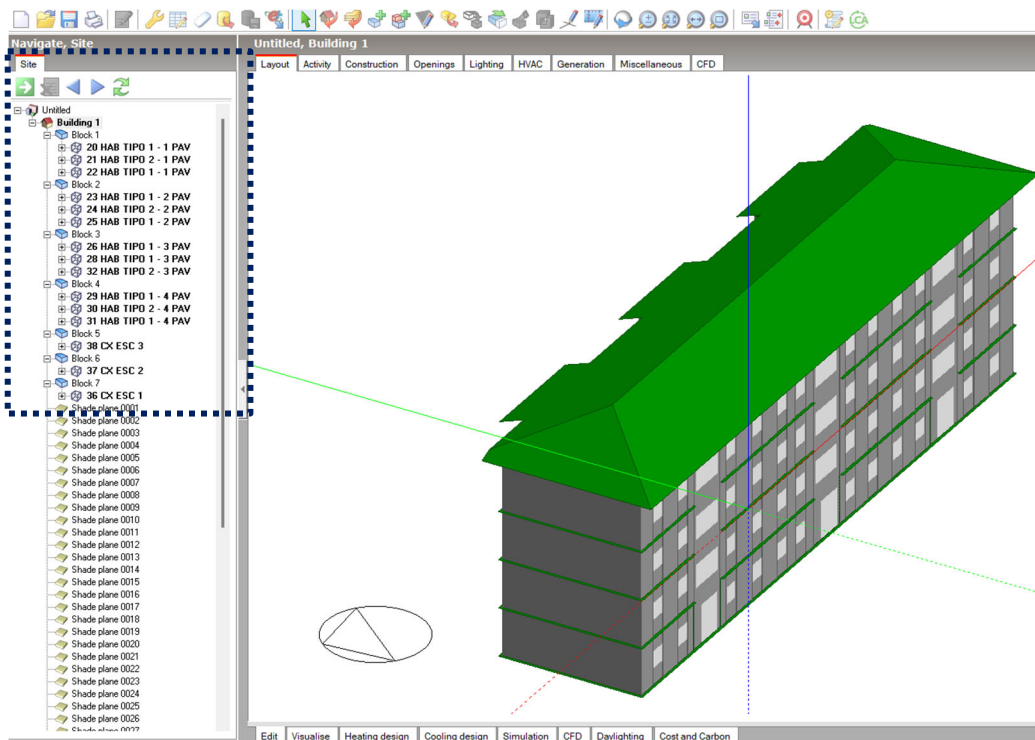


Figura A. 30 - Modelo devidamente importado para o DB

5º) Ao clicar em “Building 1” no lado esquerdo pode-se ver o prédio como um todo. As abas da direita, “Layout”, “Activity”, “Construction”, etc., são referentes ao prédio em geral. Caso queira ver apenas as informações de um pavimento ou habitação em específico, deve-se selecionar a habitação desejada no lado esquerdo e então todas as funções do lado direito serão referentes apenas a essa habitação. Algumas configurações devem ser feitas e checadas aqui: Menu esquerdo selecionar “Untitled” - Verificar “Location”: “Site Location” (conferir a latitude e longitude do projeto se foi exportado corretamente), “Site details” e o “Time and Daylight Saving”. Verificar em seguida a aba “Region”, conforme demonstrado na Figura A. 31.

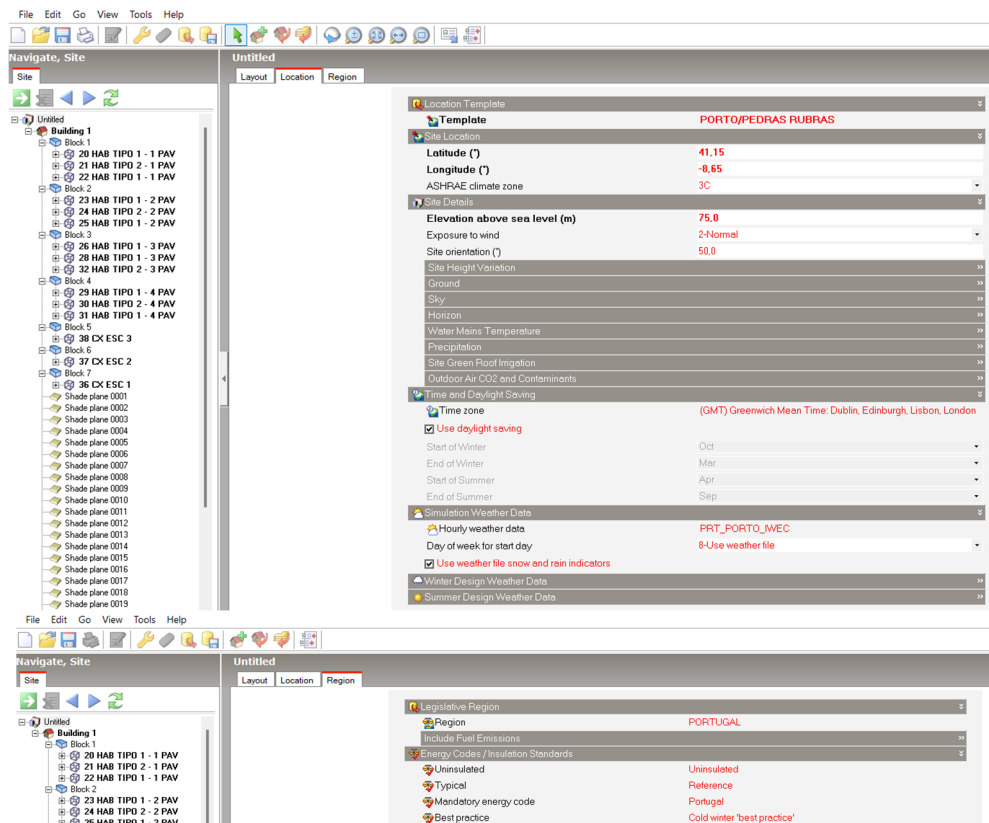


Figura A. 31 - Configuração

6º) Aba “Activity”: Selecionar “Building 1” do lado esquerdo – “Activity” - Verificar se o “Activity Template” – “Template” condiz com a atividade do edifício em questão (caso não, deve-se alterar manualmente) - Verificar “Occupancy” - Verificar as temperaturas máximas e mínimas em “Enviromental Control” (Figura A. 32).

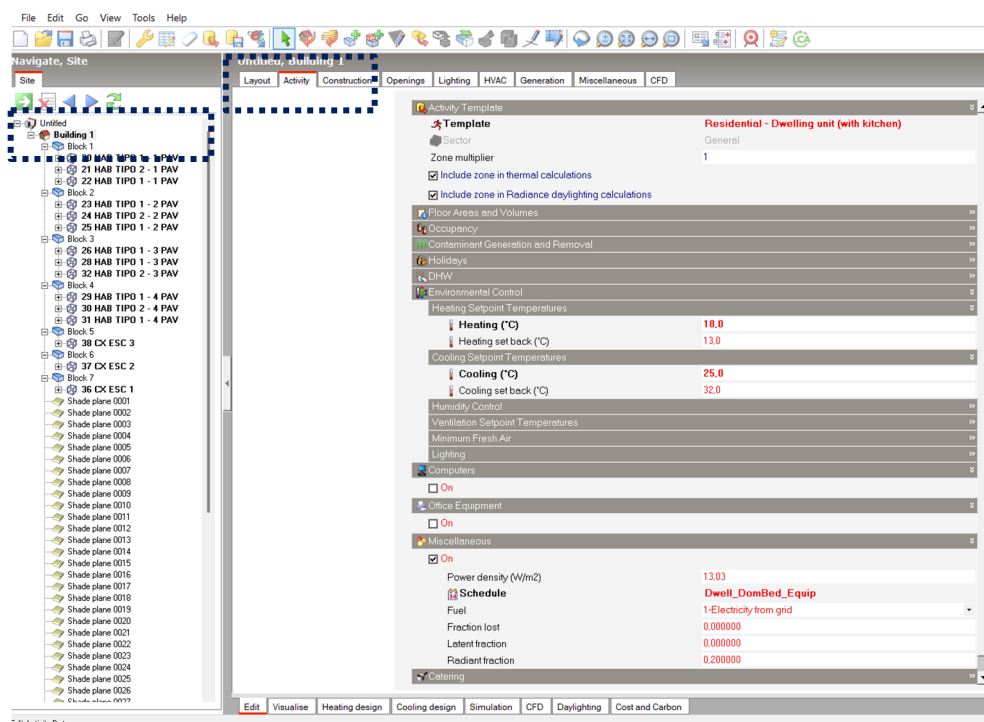
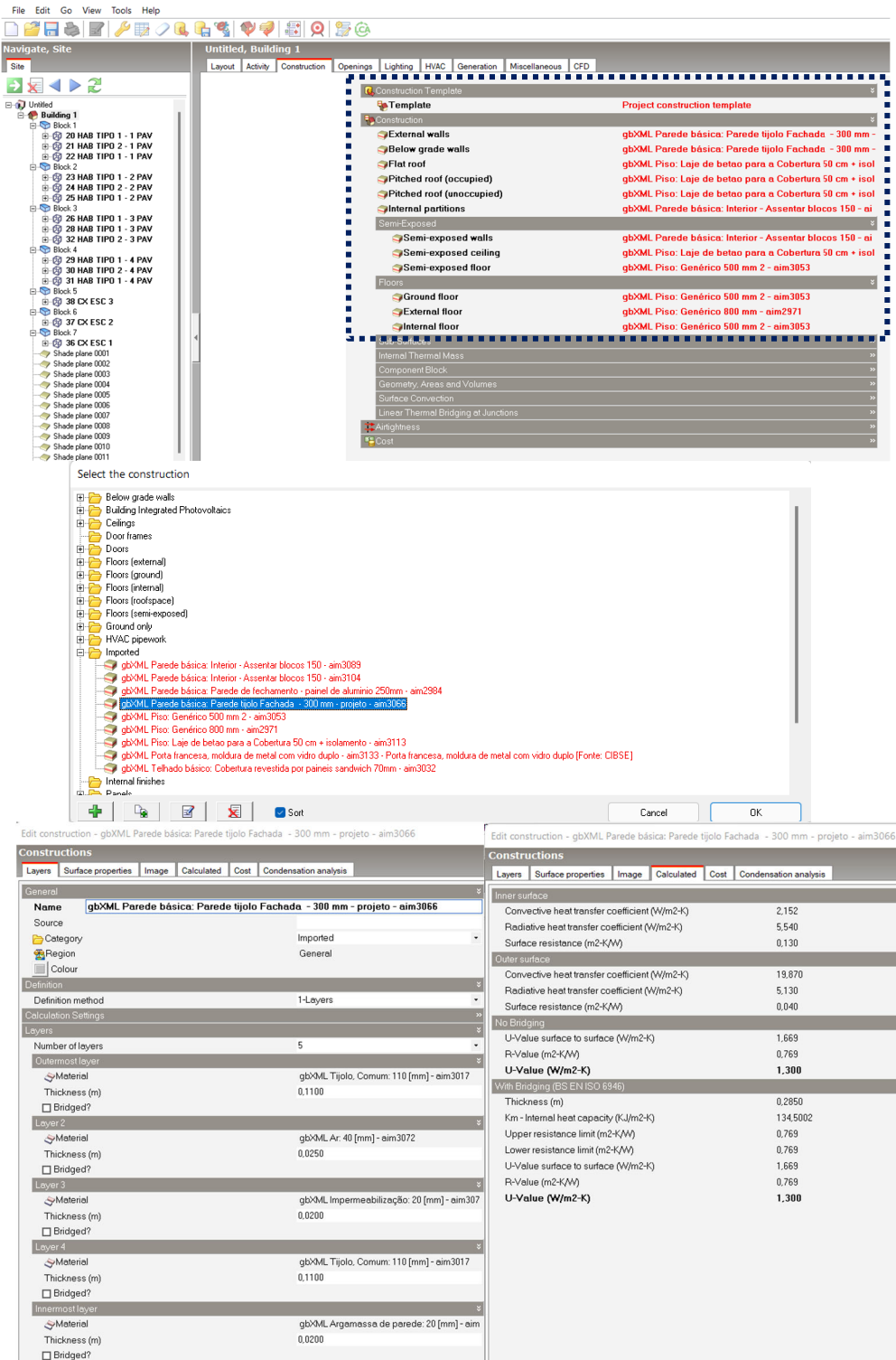


Figura A. 32 - Configurações na aba "Activity"

7º) Aba “Construction”: Importante verificar parede por parede para ver se as espessuras/materiais/coeficiente de transmissão térmica foram importadas corretamente (Figura A. 33).



The screenshot displays the 'Construction' tab in a BIM software interface. The left pane shows a project tree with various construction elements. The main pane shows a list of construction elements with their properties. The 'gbXML Parede básica: Parede tijolo Fachada - 300 mm - projeto - aim3066' element is selected, and its properties are shown in the right pane.

Constructions

Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
General					
Name	gbXML Parede básica: Parede tijolo Fachada - 300 mm - projeto - aim3066				
Source	Imported				
Category	General				
Region	General				
Colour					
Definition					
Definition method	1-Layers				
Calculation Settings					
Layers					
Number of layers	5				
Outermost layer					
Material	gbXML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017				
Thickness (m)	0.1100				
Bridged?	☐				
Layer 2					
Material	gbXML Ar: 40 [mm] - aim3072				
Thickness (m)	0.0250				
Bridged?	☐				
Layer 3					
Material	gbXML Impermeabilização: 20 [mm] - aim307				
Thickness (m)	0.0200				
Bridged?	☐				
Layer 4					
Material	gbXML Tijolo, Comum: 110 [mm] - aim3017				
Thickness (m)	0.1100				
Bridged?	☐				
Innermost layer					
Material	gbXML Argamassa de parede: 20 [mm] - aim				
Thickness (m)	0.0200				
Bridged?	☐				

Edit construction - gbXML Parede básica: Parede tijolo Fachada - 300 mm - projeto - aim3066

Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
Inner surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2.152				
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.540				
Surface resistance (m ² -K/W)	0.130				
Outer surface					
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19.870				
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.130				
Surface resistance (m ² -K/W)	0.040				
No Bridging					
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	1.669				
R-Value (m ² -K/W)	0.769				
U-Value (W/m²-K)	1.300				
With Bridging (BS EN ISO 6946)					
Thickness (m)	0.2850				
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	134.5002				
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0.769				
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0.769				
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	1.669				
R-Value (m ² -K/W)	0.769				
U-Value (W/m²-K)	1.300				

Figura A. 33 - Verificações importantes na aba "Construction"

8º) Aba “*Openings*”: Verificar as propriedades das caixilharias, ventilação natural, definir horários de abertura etc (Figura A. 34).

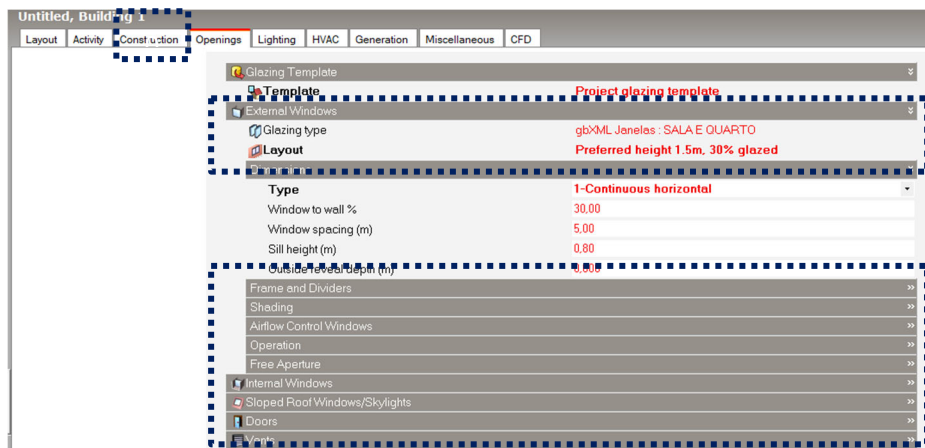


Figura A. 34 - Verificações necessárias na aba "Openings"

9º) Aba “*Lighting*”: Verificar “*General Lighting*”, schedule de horários da utilização das lâmpadas na habitação (Figura A. 35).

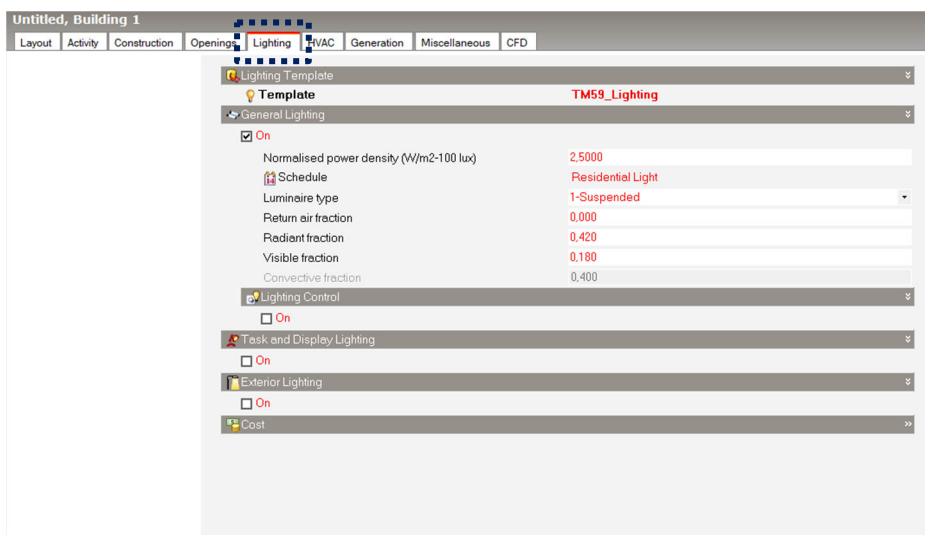


Figura A. 35 - Verificação necessária na aba "Lighting"

10º) Aba AVAC:

Uma das etapas mais importantes, pois, qualquer sistema de ventilação/exaustação/aquecimento ou arrefecimento de água e do ambiente como um todo devem ser introduzidos aqui, ou seja, não adianta incluir nenhuma dessas informações no Revit pois o DesignBuilder não irá reconhecer. Existem templates já pré-definidos de sistemas AVAC que podem ser utilizados (Figura A. 36), como foi o caso do exemplo deste guião (mais informações sobre sistemas AVAC podem ser encontradas no help desk do próprio DesignBuilder).

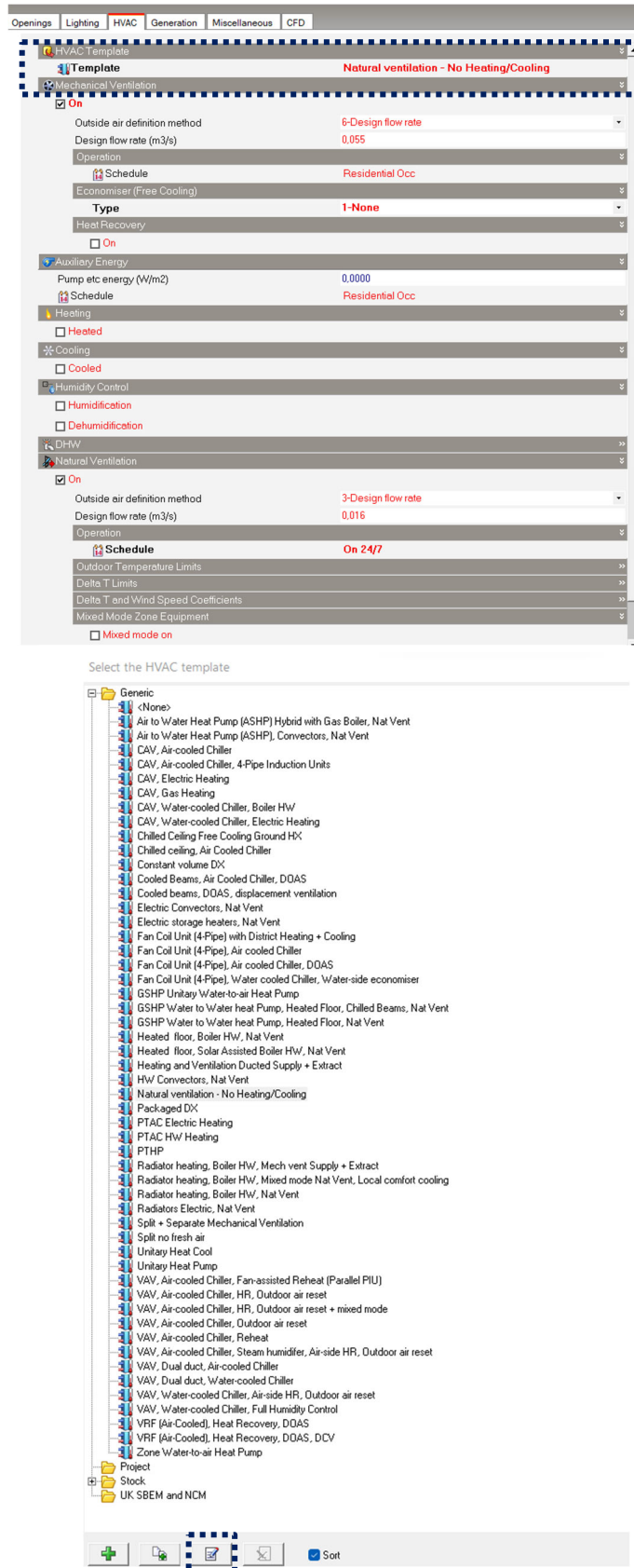


Figura A. 36 - Configurações e Templates dos sistemas AVAC

Caso queira ver as informações detalhadas de cada template, basta clicar em editar e então abrirá as opções disponíveis. Além disso, caso queira configurar de uma forma mais específica o sistema AVAC para o projeto, pode mudar o “HVAC Simple” para o “HVAC Detailed” e incluir os detalhes desejados: Configurações - HVAC Detailed (Figura A. 37).

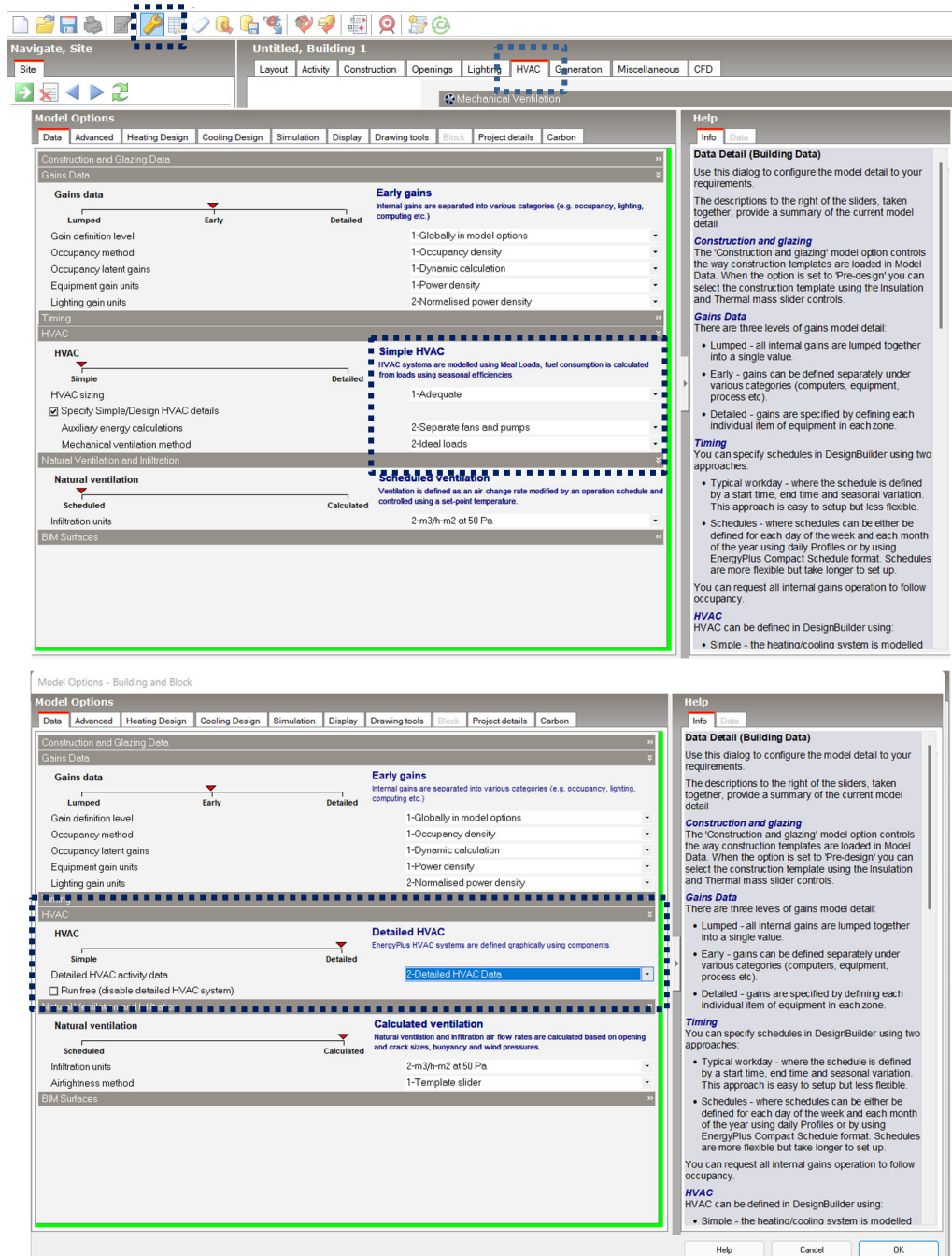


Figura A. 37 - Configurações para "Detailed HVAC"

11º) Gerar Simulação de Cálculo (Figura A. 38): Deve-se retornar para Aba “Layout” - Seleccionar “Building 1” na Aba do lado esquerdo (caso esteja seleccionado apenas um bloco ou uma habitação, será gerado a simulação de cálculo apenas para essa habitação seleccionada, e não o prédio como um todo) - Na aba inferior da tela seleccionar “Simulation”.

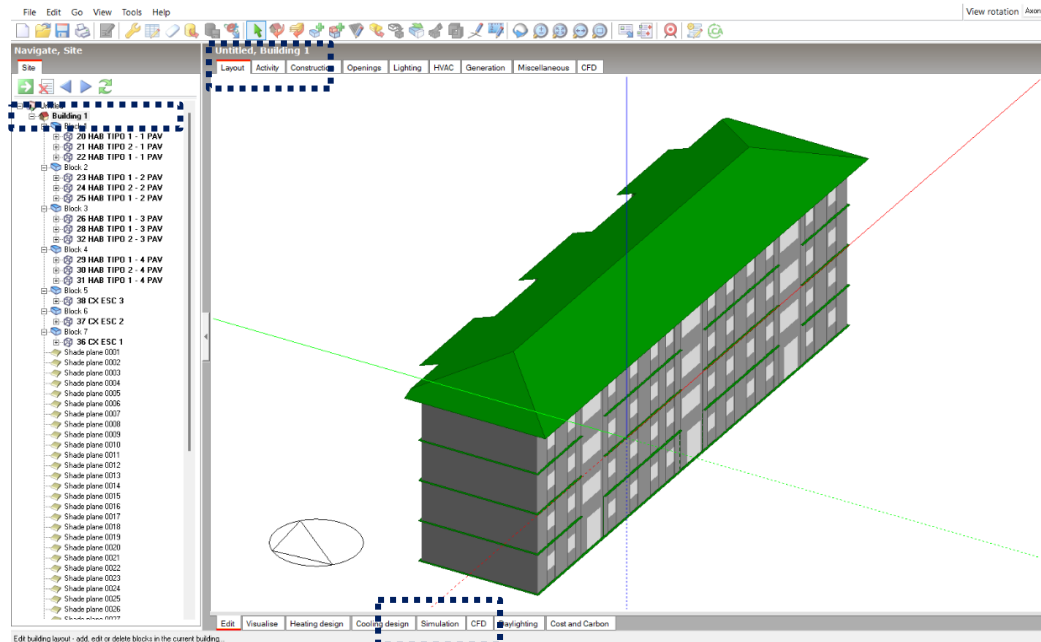


Figura A. 38 - Gerar simulações no DB

E então aparecerá a opção de “Update data”, onde deve-se configurar algumas opções para emissão do relatório de simulação final (Figura A. 39)– “General”: Definir o período da simulação e os outputs desejados (por mês/dia/ano) – “Options”: Verificar “Advanced options” - Aba “Outputs”: Seleccionar o que se deseja obter de resultado no relatório que será gerado - Ok (Gerar simulação).

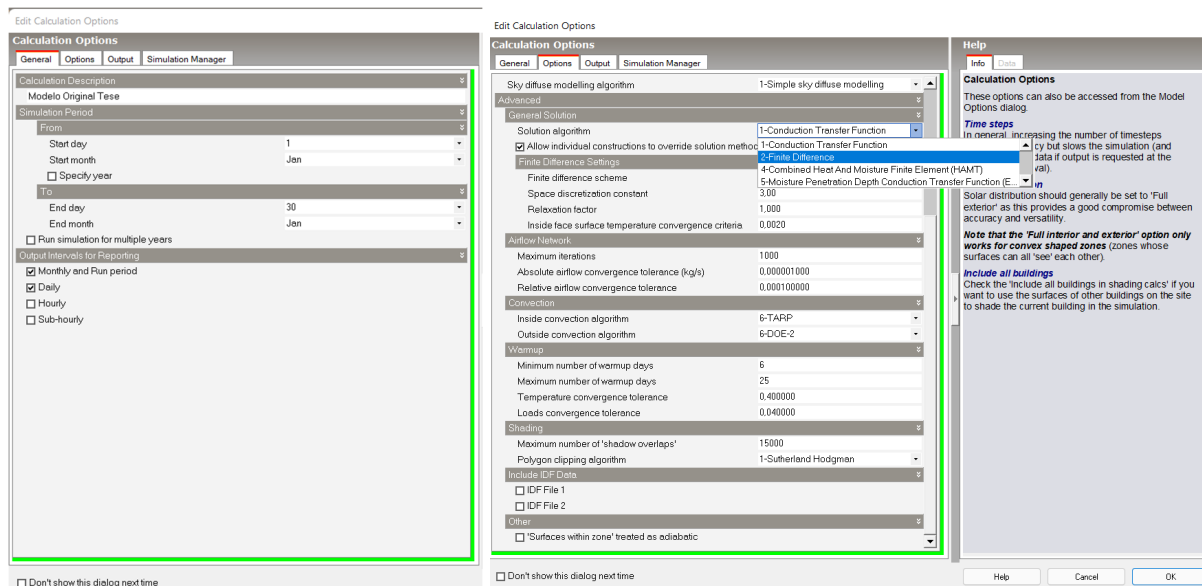


Figura A. 39 - Configurações avançadas para relatório de cálculo da simulação no DB

12º) Relatório dos resultados e como exportar - Figura A. 40, e outras opções de resultados que se consegue obter no DB - Figura A. 41.

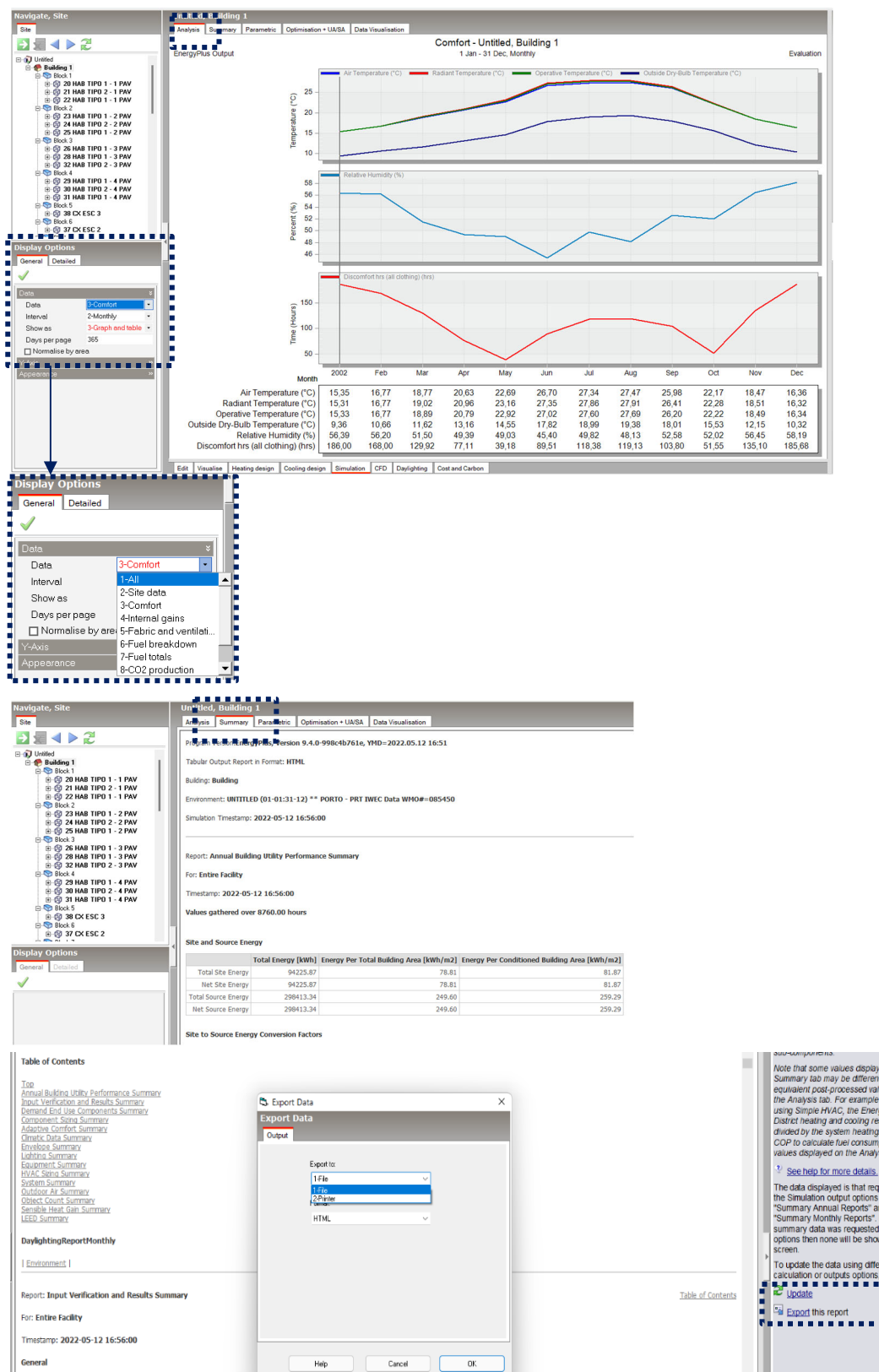


Figura A. 40 - Relatórios das simulações e como exportar do DB

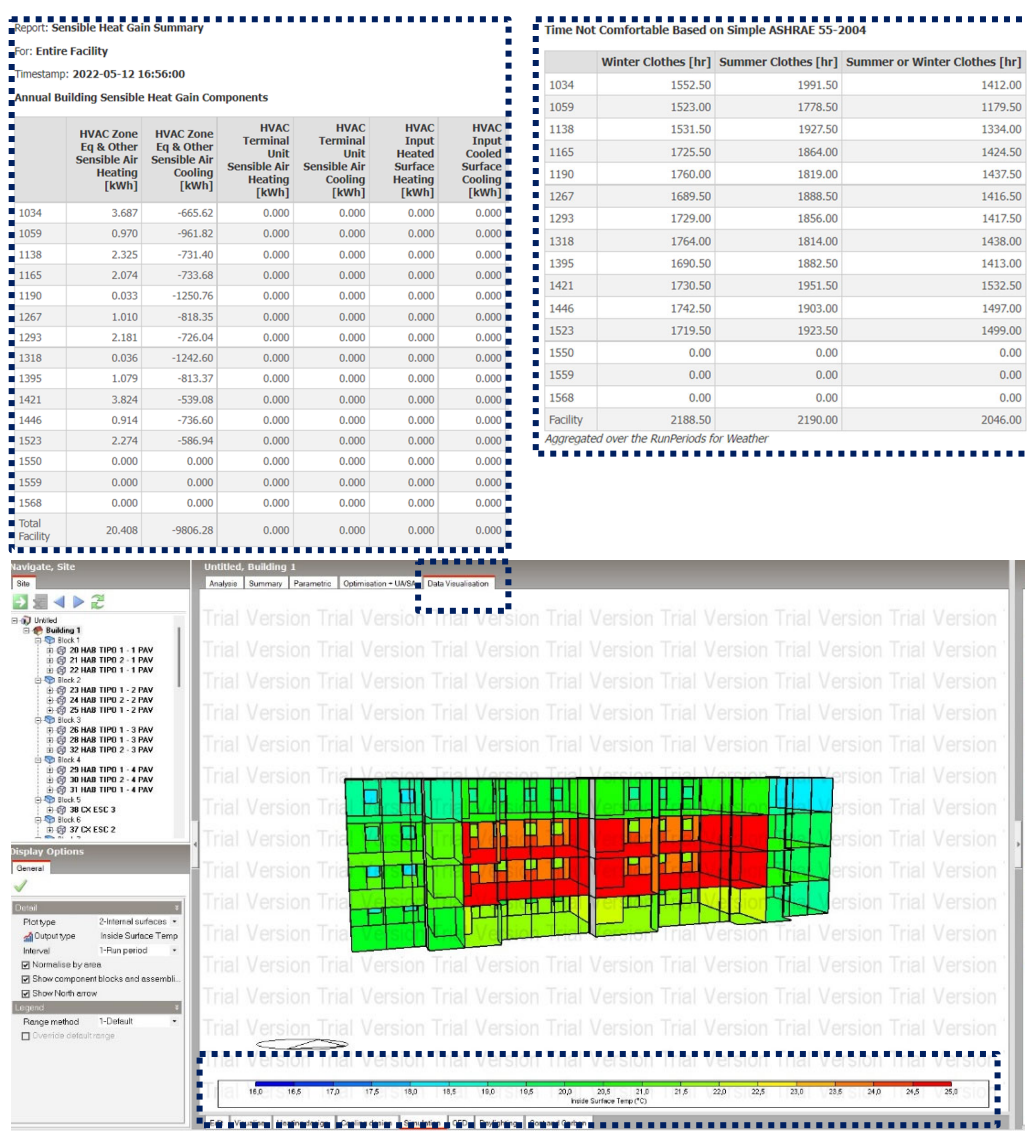


Figura A. 41 - Outras opções de resultados gerados no DB

Chamada de atenção para a Etapa 5:

- ✖ Importante checar que todos os materiais constituintes das paredes, lajes, caixilharias, forma importados corretamente, de acordo com o detalhado no modelo do Revit, com suas devidas propriedades térmicas.
- ✖ Importante verificar os detalhes do AVAC cuidadosamente, caso necessite utilizar a opção detalhada, e não os templates já existentes na biblioteca do DB, pois isso irá interferir diretamente nos resultados.
- ✖ Escolher corretamente na hora de gerar a simulação as opções de outputs desejadas, pois isso pode agilizar o processo.

CONCLUSÕES

Este Guião explica o fluxo de trabalho que pode ser utilizado para efetuar de forma simples o levantamento de um edifício existente em um modelo BIM para que se possa obter simulações energéticas e avaliação do impacto de uma reabilitação real no edifício. Alguns pontos-chave de aprendizado para que esse processo funcione sem muitos problemas, são:

- Ao usar o método Analytic Model, é essencial configurar o modelo do Revit corretamente seguindo os passos descritos na seção 8º e 9º da Etapa 5.
- É importante verificar cuidadosamente o modelo do DesignBuilder gerado antes de usá-lo para análise posterior. As verificações incluem certificar-se de que todos os blocos tenham suas superfícies orientadas corretamente, garantindo que todas as janelas e portas tenham sido transferidas e que quaisquer propriedades térmicas definidas no Revit tenham sido mantidas.
- O DesignBuilder importa apenas a geometria e as propriedades térmicas dos materiais por meio de seu recurso de importação gbXML. Quaisquer configurações feitas no Revit para definir ocupação, iluminação e AVAC não são transferidas para o DesignBuilder. Portanto, não vale a pena perder tempo com esses detalhes no modelo do Revit se a intenção for exportar o mesmo para uma análise no DesignBuilder.
- A versão do DesignBuilder utilizada no guião foi uma versão “trial”, portanto, vale ressaltar que o software tem outras guias para simulações de resultados de extrema importância na sua versão completa que vale a pena investigar mais afundo no site do próprio software, como por exemplo a aba CFD (Computational Fluid Dynamics) e Daylighting.

Conhecimento – Todas as imagens e simulações foram retiradas dos softwares citados.