

O BIM e a eficiência energética de edifícios habitacionais

Erika Krawczyk Cavalheiro

Relatório Final de Dissertação apresentado à **Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança** para obtenção do **Grau de Mestre em Engenharia da Construção** no âmbito da **Dupla Diplomação** com a **Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava**

Orientadores:

Professora Silvia Maria Afonso Fernandes (ESTiG - IPB)

Professor Rodrigo Scoczynski Ribeiro (UTFPR - Campus Guarapuava)

Bragança, Maio de 2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente a todos que de alguma forma estiveram presente nessa minha trajetória até aqui. Foram anos de muita dedicação e esforço, mas com uma grande recompensa no fim desse processo.

Agradeço primeiramente aos meus pais, Janete e Paulo, que sempre me incentivaram a estudar e ir atrás dos meus sonhos, e me mostram que com determinação e foco, posso conquistar tudo o que eu almejo.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava, e todos os professores, agradeço a contribuição com meu processo de aprendizado, e pela oportunidade de ir cada vez mais longe, principalmente ao Professor Dyorgge, que me proporcionou diversas atividades extracurriculares acadêmicas. Uma especial consideração também ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade da Dupla Diplomação, e à minha orientadora Sílvia.

Sou muito grata aos meus amigos, em especial a grande amizade que criei com Maria Stéfanny, Ingrid Santos, Maria Beatriz, Daniel, Victor, Kaique, Leonardo, Matheus, Caio e Thiago, que me fizeram crescer e me tornar também quem sou hoje. Sem eles o caminho que tracei até aqui não teria sido o mesmo, não teria sido tão leve e cheio de memórias únicas. A cada uma das pessoas da turma de Engenharia Civil de 2017/2, da UTFPR de Guarapuava, meu muito obrigada.

Aos amigos que criei em Portugal, nessa fase de Mestrado, Lais, Giovanna e Ana, foi de grande importância a convivência com vocês e as experiências vividas juntos.

Por fim agradeço à Marina Heupa Klozouski, a pessoa que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, e me deu forças, a cada dia, para chegar até aqui. Foi essencial seu companheirismo e paciência comigo, deixando esse caminho mais leve e me trazendo mais conforto para enfrentar tudo isso, te amo muito, meu amor.

RESUMO

Em busca de edifícios cada vez mais eficientes energeticamente, foram sendo desenvolvidas ferramentas que pudessem auxiliar nesse processo. De forma a ultrapassar a barreira dos cálculos tradicionais, a simulação computacional é uma das ferramentas que permite a análise energética com resultados mais precisos, através de uma avaliação mais complexa. Dessa maneira, engenheiros e arquitetos utilizam a simulação energética para otimizar o desempenho de energia dos edifícios, proporcionando também melhor conforto térmico.

Por trás da simulação, existem algumas metodologias que são a base de cálculo motor desse processo. Existe a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), que agrega todas as propriedades do edifício, tornando-o mais perto da realidade possível, e para a especialidade da análise energética, o BEM (*Building Energy Modeling*) pode trabalhar paralelamente ao BIM. Como meio de facilitar esse processo, algumas plataformas foram criadas com ferramentas projetadas especificamente para dar suporte ao BIM e BEM, como é o caso do Revit, DesignBuilder e EnergyPlus.

No presente trabalho, foi desenvolvido um estudo de caso que envolve realizar a simulação energética de um edifício unifamiliar, através de programas baseados nas metodologias BIM e BEM a fim de verificar de que forma o BIM agrega a essa otimização energética e como o BEM agrega nesse processo do BIM. Além disso, também foi avaliado o fluxo de dados e informações entre os dois, já que eles trabalham paralelamente, ou seja, verificar a interoperabilidade entre ambos. Para isso, foram criados três projetos: o primeiro projeto em Revit, o segundo em DesignBuilder, e por fim, a partir de um arquivo gbXML exportado do Revit, e importado ao DesignBuilder.

Durante esse processo foram perceptíveis inúmeras diferenças entre programas, desde a modelagem e configurações energéticas, bem como o cálculo da resistência térmica total dos elementos construtivos e o cálculo das zonas térmicas, que são feitos de forma diferente entre os programas.

Palavras-chave: BIM; BEM; Simulação computacional; Eficiência Energética; Edifícios habitacionais.

ABSTRACT

In the pursuit of increasingly energy-efficient buildings, tools have been developed to assist in this process. To overcome the limitations of traditional calculations, computational simulation is one of the tools that allows for more precise energy analysis through a more complex evaluation. Thus, engineers and architects use energy simulation to optimize the energy performance of buildings, also providing better thermal comfort.

Behind the simulation, there are several methodologies that form the calculation engine of this process. There is the BIM (Building Information Modeling) methodology, which integrates all the properties of the building, making it as close to reality as possible, and for the specialty of energy analysis, BEM (Building Energy Modeling) can work in parallel with BIM. To facilitate this process, some platforms have been created with tools specifically designed to support BIM and BEM, such as Revit, DesignBuilder, and EnergyPlus.

In this study, a case study was conducted involving the energy simulation of a single-family building using programs based on BIM and BEM methodologies to verify how BIM contributes to energy optimization and how BEM contributes to the BIM process. Additionally, the data and information flow between the two was evaluated, as they work in parallel, in other words, to verify the interoperability between them. For this purpose, three projects were created: the first project in Revit, the second in DesignBuilder, and finally, using a gbXML file exported from Revit and imported into DesignBuilder.

Throughout this process, numerous differences between the programs were noticeable, from modeling and energy configurations to the calculation of the total thermal resistance of the construction elements and the calculation of thermal zones, which are done differently between the programs.

Keywords: BIM; BEM; Computational simulation; Energy Efficiency; Residential buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados de entrada necessários para a simulação computacional.	6
Figura 2 – Linha do tempo do BIM	9
Figura 3 – Relação entre esforço e impacto.....	11
Figura 4 – Classificação dos aplicativos BIM.	13
Figura 5 – Linha do tempo da Legislação na área dos edifícios no âmbito da eficiência energética e do SCE, em Portugal.	24
Figura 6 – Fluxograma de trabalho.	35
Figura 7 - Coeficiente de redução de perdas.	36
Figura 8 – Vista do edifício.....	37
Figura 9 – Legenda para Envolventes Térmicas.....	37
Figura 10 – Envolventes térmicas de parede e pavimento do Rés de chão.....	38
Figura 11 – Envolventes térmicas de parede, pavimento e teto do Piso 1.....	38
Figura 12 – Envolventes térmicas Cortes AA e BB.	38
Figura 13 – Interface do Revit.	42
Figura 14 – Editar tipo.	42
Figura 15 – Editar estrutura.....	43
Figura 16 – Editar material.	43
Figura 17 – Atribuir propriedades térmicas.	44
Figura 18 – Configurações das instalações mecânicas.	46
Figura 19 – Configurações do tipo de construção/espço.	46
Figura 20 – Modelo analítico – Projeto Revit.....	47
Figura 21 – Interface do DesignBuilder.	48
Figura 22 – Interface do DesignBuilder.	48
Figura 23 – Construindo novo Bloco.	49
Figura 24 – Térreo modelado.	50
Figura 25 – Visualização do projeto modelado.....	50
Figura 26 – Configurações de camadas dos elementos.	51
Figura 27 – Configurações dos materiais.....	52
Figura 28 – Edifício modificado em Revit - piso.	53
Figura 29 – Exportação de arquivo para gbXML.....	53
Figura 30 – Importação de arquivo gbXML no DesignBuilder.	54
Figura 31 – Blocos e zonas importados para o DesignBuilder.	54

Figura 32 – Modelo gbXML importado para DesignBuilder.....	55
Figura 33 – Modelos analíticos com erros de configuração de exportação.....	55
Figura 35 – Cálculo de área e volume Revit.....	59
Figura 36 – Cálculo de área e volume DesignBuilder.	60
Figura 37 – Modelo analítico em Revit – cozinha/sala e corredor.....	60
Figura 38 – Dimensão da área da zona da cozinha/sala/corredor em Revit. ...	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ferramentas, plataformas e ambientes BIM de cada fornecedor... 13	13
Tabela 2 – Situação Europeia em relação ao BIM. 14	14
Tabela 3 – Cálculo do b_{tr} 37	37
Tabela 4 – Valores adotados para os elementos construtivos. 39	39
Tabela 5 – Propriedades térmicas das paredes. 44	44
Tabela 6 – Resistências térmicas superficiais. 57	57
Tabela 7 – Valores de Resistência térmica do Revit e DesignBuilder. 58	58
Tabela 8 – Diferenças entre as resistências térmicas obtidas no Revit e DesignBuilder. 58	58
Tabela 9 – Áreas das zonas térmicas em cada projeto. 61	61
Tabela 10 – Consumo energético médio anual – simulação de sistema AVAC. 63	63
Tabela 11 – Simulação da Orientação Solar em Revit. 64	64
Tabela 12 – Simulação da Orientação Solar no DesignBuilder. 65	65
Tabela 13 – Simulação da Orientação Solar em Revit/DesignBuilder. 65	65
Tabela 14 – Propriedades térmicas das paredes exteriores. 66	66
Tabela 15 – Simulação da Parede Externa em Revit. 66	66
Tabela 16 – Simulação da Parede Externa no DesignBuilder. 67	67
Tabela 17 – Simulação da Parede Externa no Revit/DesignBuilder. 67	67
Tabela 18 – Simulação da Localização em Revit. 68	68
Tabela 19 – Simulação da Localização no DesignBuilder. 69	69
Tabela 20 – Simulação da Localização no projeto de Revit/DesignBuilder. 69	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	ANÁLISE ENERGÉTICA COMPUTACIONAL.....	4
2.2	BIM E SUA IMPLEMENTAÇÃO.....	8
2.2.1	BIM (<i>Building Information Modeling</i>)	9
2.2.2	Ferramentas disponíveis para simulação energética	12
2.2.3	Implementação	14
2.3	O BEM NA ANÁLISE ENERGÉTICA.....	20
2.4	ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO TÉRMICO.....	21
2.5	INTEROPERABILIDADE ENTRE PROGRAMAS.....	24
2.6	APLICAÇÃO DO BIM E BEM NO BRASIL.....	30
3	ESTUDO DE CASO	34
3.1	METODOLOGIA.....	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	35
3.3	ESTRATÉGIAS DE SIMULAÇÃO.....	40
3.4	MODELAGEM NO REVIT.....	41
3.4.1	Interface, modelagem e propriedades térmicas	41
3.4.2	Configurações de energia	45
3.5	MODELAGEM NO DESIGNBUILDER.....	47
3.5.1	Interface e configurações iniciais DesignBuilder	47
3.5.2	Modelagem	49
3.5.3	Propriedades térmicas dos componentes de construção	51
3.6	DO REVIT AO DESIGNBUILDER.....	52
3.6.1	Configurações de exportação do Revit	52
3.6.2	Configurações de importação do Revit	54
3.6.3	Erros de exportação/importação	55
4	SIMULAÇÕES E RESULTADOS	56
4.1	CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL.....	56

4.2	CÁLCULO DAS ZONAS TÉRMICAS	59
4.3	SISTEMA AVAC.....	62
4.4	ORIENTAÇÃO SOLAR	64
4.5	PAREDES EXTERNAS.....	65
4.6	LOCALIZAÇÃO	68
4.7	ERROS NA SIMULAÇÃO	70
5	CONCLUSÕES.....	70
5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	70
5.2	FUTURAS LINHAS DE INVESTIGAÇÃO	72
	REFERÊNCIAS.....	73
	ANEXOS.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

AECO - Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

BEM - Building Energy Modeling

BIM - Building Information Modeling

CAD - Computer Aided Design

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

EPBD - Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios

GT BIM - Grupo de Trabalho em BIM

HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

RJUE - Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O setor da construção civil está constantemente em processo de evolução, seja em materiais, equipamentos ou projetos. Novas tecnologias e ferramentas de modelagem vêm sendo desenvolvidas como forma de agregar para esse avanço contínuo, no quesito do desempenho energético. Como consequência disso, é possível alcançar um parque imobiliário cada vez mais sustentável e com o melhor conforto possível.

Para chegar a resultados satisfatórios de desempenho energético, é de grande valia a tomada de decisões sobre as melhores estratégias, ainda em fase inicial de projeto. Assim, através de simulações computacionais, sejam elas dinâmicas ou estáticas, é possível fazer uma verificação prévia do que influenciará no edifício. No intuito de obter edifícios cada vez mais otimizados, principalmente no que diz respeito ao comportamento energético e térmico, a simulação de energia torna-se uma solução de grande impacto para esse cenário.

Não havendo ferramentas para simulação de eficiência energética, tornaria-se muito difícil para o projetista tomar uma decisão adequada sobre as diferentes estratégias e seus impactos, devido à grande variedade de consumo de energia no edifício. Além disso, é necessário entender o software com exatidão e precisão, para conseguir prever o consumo de energia.

Como solução a essa necessidade de ferramentas de simulação energética, utiliza-se a metodologia BIM (*Building Information Modeling*). Através dele criam-se modelos digitais únicos, trazendo elevada precisão e capacidade de análise de um projeto, e buscando otimizar o conforto térmico para as residências. Para ser usado em conjunto com o BIM, a metodologia *Building Energy Modeling* (BEM), traz consigo uma abordagem sobre a simulação do desempenho térmico dos edifícios, através de todos os efeitos físicos de condução térmica, convecção, radiação e mudanças de fase, considerando todo seu ciclo de vida.

Entretanto, os desafios da implementação e interoperabilidade entre o BIM e BEM ainda são diversos, na análise energética. Por mais que em outras especialidades, de estruturas, hidráulica, elétrica, incêndio etc., essas metodologias sejam mais desenvolvidas, na especialidade de análise energética, há muitas barreiras a serem enfrentadas.

É necessário que as ferramentas sejam desenvolvidas com o objetivo de ultrapassar essas barreiras para se obter uma troca de informações e propriedades entre programas e entre colaboradores sem a perda de dados ou até mesmo alterações, com a criação, de fato, de um modelo único, um dos grandes objetivos do BIM.

Como forma de cooperar com a evolução dos avanços do setor da construção civil, já existem diversas normas, acordos e legislação em vigor com esse propósito. Em Portugal, foi aprovado neste ano de 2024 o Decreto-Lei que obriga o uso de BIM em projetos licenciados a partir de 2030. No Brasil, a metodologia BIM já é obrigatória em projetos públicos desde 2021.

1.2 OBJETIVOS

Pretende-se com este trabalho estudar o contributo do BIM na análise do cálculo do desempenho térmico de um edifício de habitação em Portugal, como objetivo geral. Possui como objetivos específicos:

- Apresentar o embasamento teórico sobre o desempenho energético dos edifícios e simulação computacional, e as legislações existentes.
- Desenvolver um modelo energético em BIM e BEM a partir de um modelo arquitetônico e simular diferentes situações de um edifício de habitação.
- Avaliar o fluxo de informações e o comportamento da modelo diante da análise energética como modelo único.
- Comparar os diferentes programas, as suas limitações, potencialidades e interoperabilidade entre si.

- Analisar os resultados, e as vantagens e desvantagens de cada ferramenta de simulação, no contexto apresentado no início deste trabalho.
- Encontrar as dificuldades para implementação no mercado de trabalho e comparar com os métodos tradicionais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esse trabalho está organizado em 5 capítulos, para que sejam abordados todos os assuntos pertinentes ao tema apresentado, de forma clara e coesa: Introdução, Revisão Bibliográfica, Estudo de caso, Simulações e Resultados, e Conclusões.

Neste capítulo inicial é apresentado o enquadramento e contextualização da temática, os objetivos, tanto geral como específicos, e a organização da presente dissertação.

No segundo capítulo será apresentado o embasamento teórico acerca da simulação computacional, e sua importância sobre a eficiência energética, seguindo com a apresentação da metodologia BIM, e uso do programa Revit. O mesmo é apresentado sobre o BEM, e aplicabilidade no programa DesignBuilder, expondo a relevância da interoperabilidade para a troca de informações entre os dois métodos.

Ainda no capítulo 2, são apresentadas as dificuldades de implantação e fluxo de informações entre projetos e colaboradores, e por fim, são expostas as normas e legislações existentes que dão suporte ao desenvolvimento de projetos e simulações em BIM e BEM, e seu contexto no Brasil.

O estudo de caso com a apresentação de projeto, caracterização, estratégias de simulações, programas utilizados, juntamente com as configurações energéticas, estão apresentados no capítulo 3.

Diante desse cenário, os resultados das simulações feitas em Revit e DesignBuilder, além do projeto de interoperabilidade entre eles, está presente no capítulo 4.

As conclusões finais desse trabalho estão situadas no quinto capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANÁLISE ENERGÉTICA COMPUTACIONAL

O conceito de eficiência energética está relacionado aos sistemas mais eficientes que reduzem o consumo de energia, otimizando-o, e entregando conforto térmico semelhante ou ainda melhor [1].

Esse conceito está inserido em um contexto de elevado consumo energético das sociedades, principalmente no que se refere à eletricidade. Em uma perspectiva global, o consumo doméstico de eletricidade alcançou um aumento histórico em 2022, de 2% [2]. Voltado ao setor da construção civil, é ainda mais perceptível o consumo energético, além das emissões de carbono, e por essa razão, temas como a eficiência energética, o desenvolvimento sustentável e a vida com baixa emissão de carbono tornaram-se preocupações globais relevantes, tanto no quesito ambiental, como também econômico [3].

Alguns estudos revelam que na fase operacional e de manutenção dos edifícios, o uso de energia representa grande parte das emissões totais de carbono, cerca de 80%, e por isso, há um grande potencial para reduzir o consumo de energia e as emissões [3]. Aliado a busca pela redução do consumo energético, procura-se garantir que novos edifícios cumpram com os requisitos para aquecer e resfriar eficientemente, situação essa que ainda é retardatária [4].

As medidas de eficiência energética, que possuem o potencial de minimizar essa situação, podem seguir duas linhas: opções tecnológicas que reduzam significativamente o consumo energético, e seus custos, através de medidas técnicas; e opções comportamentais, relacionadas ao estilo de vida de cada pessoa, que pode ser ajustada para reduzir o uso do serviço de energia. Dentre as opções tecnológicas a serem implementadas em um edifício, para melhor desempenho energético, consideram-se três categorias: orientação, design e materiais do edifício; novos equipamentos tecnológicos de maior eficiência; e aquisição de sistemas geradores de energia. Essas opções, após estudadas detalhadamente para cada caso em conjunto, são uma forte

ferramenta para aumentar o desempenho energético dos edifícios e, com essa finalidade, é que a simulação computacional apresenta grande contribuição [5].

Aprofundando-se um pouco mais, a simulação está intimamente ligada à noção de modelo de dados que irá possuir as variáveis requisitadas para compreender o comportamento desse modelo, dando importância à relação entre a descrição e o desempenho. As análises podem tornar-se bastante complexas, aumentando tempo e custo, quando forem feitas descrições muito detalhadas de um sistema, ao mesmo tempo que podem surgir análises incorretas ou incompletas com descrições mais simples, acerca do sistema-objeto de estudo [6].

Esse processo de simulação requer uma grande troca entre as possibilidades do raciocínio humano e o processamento computacional, sendo essa colaboração responsável por ampliar significativamente as tecnologias intelectuais de forma inédita na humanidade. Além disso, o método de pesquisa da simulação exige um conhecimento com origem racional, por envolver o esforço intelectual na produção de modelos conceituais de problemas, e origem empírica, por validar um processo que faz o refinamento dos problemas abordados através da tentativa e erro. Isso permite antecipar futuros obstáculos que poderiam ser encontrados somente após a execução deles. [6]

Além do mais, pode-se considerar o processo de simulação, para o seu bom entendimento, em duas partes. Em primeiro, há um modelo que deseja ser simulado e é criado para representar algo, de maneira estática. Na segunda parte considera-se o movimento do modelo ao longo do tempo, passando por diversas situações em que é vivido realmente o momento. Assim, através de diversos parâmetros no computador, são retribuídas informações e consequências [7]. Dessa maneira, as duas partes podem ser definidas como estáticas ou dinâmicas, respectivamente.

Uma modelagem estática não envolve um tempo de dias, horas e segundos, ou seja, não há influência do relógio para a saída de dados. Esse modelo não considera a continuação ou retroatividade de resultados para novas respostas, dando apenas um retorno para certo conjunto de parâmetros determinados ao sistema [6].

Na modelagem dinâmica, o tempo (meses, dias, horas, segundos) influencia significativamente, focando no desempenho do sistema durante o tempo, em diversos momentos. Esse tipo de simulação é muito utilizado na manufatura e nos sistemas de serviços [6].

Para os casos das simulações térmica e energética, são abrangidas interações complexas em diversas condições, de forma a se aproximar das interações reais, que são mais complexas ainda. Dessa maneira, a simulação se aproxima da realidade da edificação, porém com determinadas simplificações que são representadas nos modelos. Esse modelo pode ser definido como uma entidade que retrata outra entidade, demonstrando apenas as propriedades de interesse, ou para o caso das edificações especificamente, o modelo está reduzido às propriedades relativas ao seu desempenho termoenergético [8].

Ao fazer a simulação, avalia-se os projetos arquitetônicos e seus sistemas específicos, analisando seu desempenho, que é resultado da interação dos ambientes internos e externos, e os componentes da construção. Como ilustra a Figura 1, os dados de entrada de maior importância são: Estratégias, Elementos de fachada e cobertura, Condições climáticas, Sistemas HVAC, Cargas internas e Parâmetros de simulação [9].

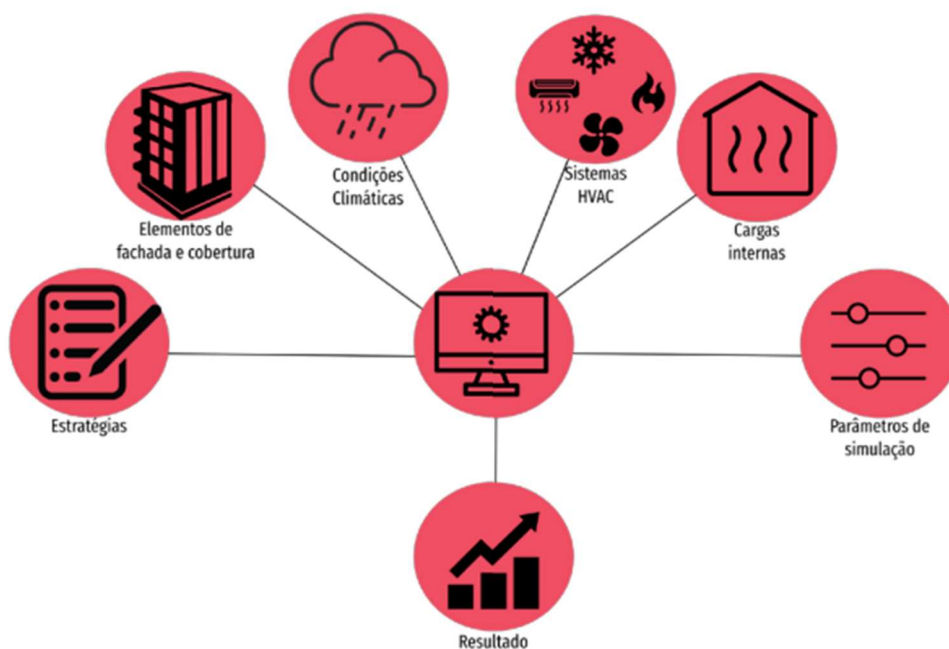


Figura 1 - Dados de entrada necessários para a simulação computacional. Fonte: Guia de Avaliação de desempenho energético em projetos BIM [9].

Nas edificações residenciais, a simulação computacional é uma ferramenta eficaz para analisar o consumo energético, assim como os fenômenos relacionados ao comportamento térmico, o qual pode ser otimizado através desse instrumento, utilizando determinadas estratégias. Além de otimizar o comportamento térmico e reduzir o consumo de energia, também é de grande utilidade para melhorar a eficácia dos sistemas de arrefecimento e aquecimento, dos diversos sistemas do edifício e permitir a tomada de decisão de projeto [10].

Assim, a simulação de maneira mais detalhada, de forma a avaliar o desempenho térmico de um edifício, é realizada a partir de diversas iterações ao mesmo tempo, por existirem tantos parâmetros complexos envolvidos, sendo uma ferramenta que busca analisar os resultados, como uma valiosa fonte de conhecimento acerca de um problema a ser abordado. Para tal análise e avaliação, os softwares utilizam equações de balanço de energia [11].

De forma geral, a simulação computacional, proporciona:

- Avaliar os projetos arquitetônicos e complementares, pela análise do desempenho da edificação;
- Observar sistemas ineficientes e inadequados;
- Determinar as cargas térmicas da construção;
- Analisar e verificar os equipamentos e sistemas quanto ao seu dimensionamento;
- Auxiliar os projetistas na tomada de decisões de *design* e monitoramento da operação e manutenção da edificação [9].

Com a percepção do poder da simulação, pelos engenheiros, gerentes e outras pessoas envolvidas nas tomadas de decisões, o esforço para ofertar ao mercado pacotes de simulação, com a facilidade da rápida modelagem em um ambiente específico, é cada vez maior. Essas ferramentas também trouxeram grande facilidade na modelação, no processo de construção [12].

Assim, em resumo, a simulação computacional pode ser utilizada como otimizadora da eficiência energética, aplicada as residências, possibilitando prever com antecedência diversas variáveis: consumo e custo de energia,

conforto térmico, emissões de gás carbônico, avaliações de alternativas de soluções energéticas e condições do ambiente internas [13], diferentemente da metodologia tradicional, na qual a análise energética é feita separadamente, no final do processo de projeto, reduzindo boa parte do potencial para melhorar o desempenho da edificação [14].

Dessa forma, surge como proposta o uso de modelos virtuais que se comuniquem entre si, com uma retroalimentação de dados e informações de forma imediata e em tempo real, o que pode ser obtido através das metodologias BIM e BEM [15].

2.2 BIM E SUA IMPLEMENTAÇÃO

Para promover a colaboração entre as diferentes partes interessadas, amenizar as dificuldades entre as disciplinas de projeto e facilitar a rápida criação de diferentes designs, o BIM tem sido utilizado, durante as últimas duas décadas, para o setor da construção civil. Diferentemente dos desenhos em 2D e 3D da maneira tradicional, como por exemplo, através do AutoCAD, o BIM aperfeiçoou o trabalho em ambiente 3D, buscando integrar todo o processo produtivo em um modelo único, permitindo uma melhor troca de informações entre arquitetos e especialistas na análise de projeto, incluindo a eficiência energética [16]. Dessa forma, é utilizado para melhorar o desempenho energético no projeto de edifícios, sendo capaz de melhorar a qualidade e desempenho do ciclo de vida da construção [17].

Mesmo assim, ainda é encontrada uma grande dificuldade na cultura da indústria, em desenvolver e implementar a troca automática de dados entre ferramentas BIM e ferramentas de simulação energética, que se habituou a realizar a inserção manual de dados ao invés da forma automática, além da falta de softwares que façam esse processo de dados de forma aprimorada, com assertividade [18].

2.2.1 BIM (*Building Information Modeling*)

Na linha do tempo do BIM, em 1962, Douglas C. definiu o método BIM, na publicação “*Augmenting Human Intellect*”, e prevê uma nova forma de projetar, baseada em objetos parametrizados, incorporados em um banco de dados [19].

Na época entre os anos 70 e 80, se iniciou o desenho assistido por computador, e de fato houve o início verdadeiro do BIM em 1982, com a criação do ArchiCAD. Sua implementação na indústria foi relativamente lenta, principalmente quando comparada aos avanços da manufatura e indústria, mesmo seu conceito apresentando-se historicamente antigo. A Figura 2 a seguir retrata a linha do tempo da evolução do BIM e sua implementação [19].

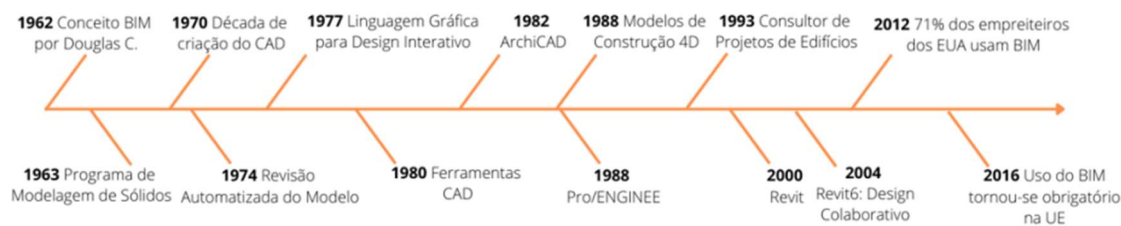


Figura 2 – Linha do tempo do BIM
Fonte: Nunes, 2023 [19].

Segundo a AutoDesk, entende-se *Building Information Modeling* como “o processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base em um modelo inteligente e habilitada por uma plataforma na nuvem, o BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações” [20]. Dessa forma, através da plataforma BIM, o edifício pode ser aprimorado, com modelos digitais cada vez mais próximos à realidade, contendo informações agregadas ao longo de todo o processo [21].

Esses modelos, em formato 3D, são constituídos por um banco de dados únicos, que permitem o refinamento da dinâmica, racionalização e flexibilidade do processo produtivo. Além disso, possibilita que as informações multidisciplinares sejam consistentes com os aspectos físicos e funcionais dos

elementos do edifício em seu ciclo de vida integral, permitindo a parametrização dos objetos [22].

Essa parametrização de elementos está ligada à habilidade de atribuir parâmetros e propriedades aos componentes do modelo digital do projeto. Sua representação pode ser dada a partir de várias possibilidades para a seleção de valores no modelo de projeto, com variados atributos como cor, escala, variação dimensional e orientação por meio de um parâmetro [23].

A parametrização ainda possibilita aos elementos vincular ou receber, transmitir ou exportar conjuntos de características como por exemplo dados acústicos, dados de energia, informações de materiais estruturais, entre outros [15]. Além disso, favorece na automatização das tarefas, como na produção de documentação, análises e simulações, agregando maior valor ao projeto em desenvolvimento [23].

Graças a essa parametrização e conseqüentemente, modelo único, o processo de funcionalidade do BIM permite que todos os membros envolvidos da equipe, sejam eles os engenheiros, arquitetos, proprietários, ou sejam os empreiteiros, fornecedores e subcontratados, tenham acesso constante às informações de projeto, colaborando com mais precisão e eficiência, comparado aos processos tradicionais em CAD (*Computer Aided Design*) [24].

Com as especialidades trabalhando em conjunto no mesmo modelo, é possível que as incompatibilidades de projeto possam ser visualizadas de forma imediata, e não apenas na execução, além de conferir decisões mais assertivas sobre os eventuais problemas que venham a surgir futuramente [13].

Nas fases iniciais de projeto, o BIM possui vital importância, por meio da análise de desempenho energético, iluminação natural e artificial, ventilação natural, e do reconhecimento de padrões solares, colaborando com o desenvolvimento de edificações mais eficientes e ecológicas [25].

Diferentemente disso, quando tomadas as decisões em uma fase mais avançada de projeto, a funcionalidade e custo da construção podem ser impactadas. Na Figura 3 abaixo é apresentada a curva de MacLeamy, que mostra a relação entre esforço de projeto e tempo, tanto da forma que é distribuído esse esforço tradicionalmente, quanto como pode ser redistribuído quando há a aplicação do BIM [26].

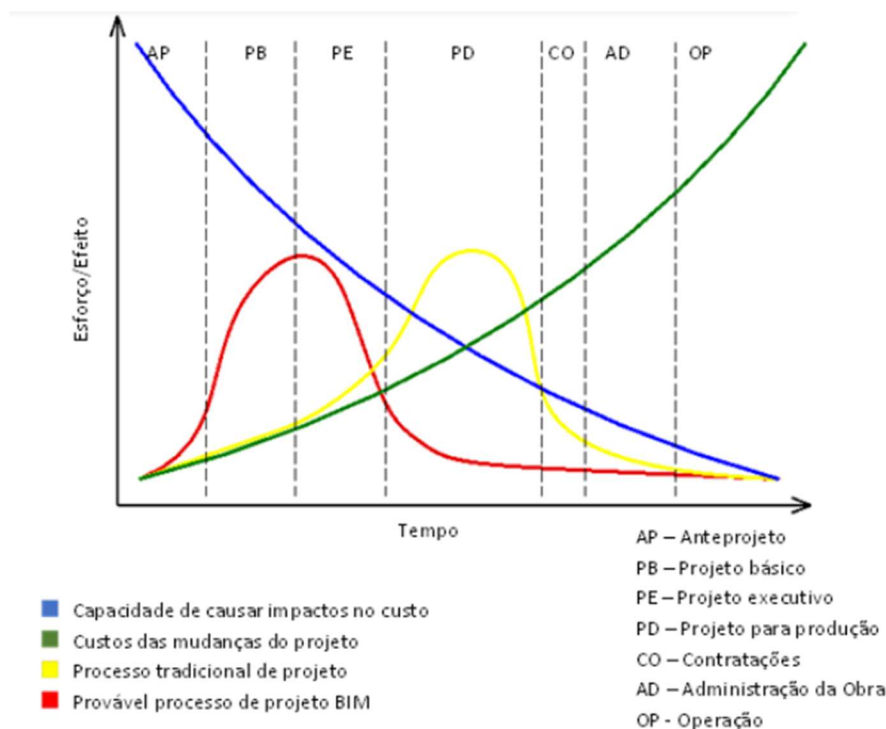


Figura 3 – Relação entre esforço e impacto.
 Fonte: Sousa e Oliveira, 2023 [26].

Diante das várias atribuições que o BIM oferece, através de sua metodologia, e potencialidades para o setor da construção, e perante a necessidade de se obter edifícios mais sustentáveis e eficientes, essa ferramenta é cada vez mais utilizada, com a meta de reduzir as necessidades de água e de energia, custos e/ou emissões de CO₂. Através da sobreposição de disciplinas dentro de um único modelo, o BIM permite a introdução de iniciativas sustentáveis ao longo de um projeto, além da verificação da compatibilidade, da otimização da comunicação e colaboração entre os envolvidos no projeto, da redução de tempo e custos [25].

O BIM então, nesse contexto, além de incrementar a eficiência energética, contribui na seleção de novas maneiras de reduzir o consumo de recursos, aumenta a possibilidade de uso de energias renováveis e pode atender as demandas da sustentabilidade. Como auxílio a redução do uso de recursos, algumas estratégias de sistemas de controle para diminuir o consumo de energia são apresentadas:

- Análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento;
- Possibilidades de iluminação natural;
- Seleção de equipamentos mais eficientes;
- Estimar o consumo de energia de construção;
- Estimar as emissões de carbono da construção [27].

2.2.2 Ferramentas disponíveis para simulação energética

Foram já realizados diversos estudos, verificando os benefícios da utilização do BIM para a otimização do desempenho energético dos edifícios. Nos dias de hoje, existem várias ferramentas BIM que permitem a tomada de decisão por parte do projetista logo em fase inicial de projeto [25].

Para o sucesso, ou não, da implementação BIM é essencial serem definidas as infraestruturas e tecnologias de suporte. Para a correta escolha das ferramentas deve-se levar em conta a adequação de seus recursos para atender as demandas dos processos BIM, além da interoperabilidade entre as trocas de arquivos. Portanto, é importante o conhecimento acerca dos programas disponíveis e suas características, contemplando soluções alternativas. Conforme Figura 4, os aplicativos BIM podem ser determinados em Ferramentas BIM, Plataformas ou Ambientes.

As ferramentas BIM são aptas a enviar, receber e processar dados, estando relacionadas às plataformas BIM, e utilizadas em um contexto de processo BIM. As plataformas BIM são centros de geração de dados, baseados em uma modelagem paramétrica direcionada a objetos, sendo responsáveis por prover modelos de dados iniciais que apresentam informações de diversos aplicativos BIM, demandando um alto nível de interoperabilidade. Ainda, as plataformas BIM em sua maioria incorporam diversas funções, como por exemplo a produção de modelos de informação e documentação, e análises com a percepção de conflitos. Por fim, os ambientes BIM são conjuntos de aplicativos BIM integrados para proporcionar suporte a várias informações e processos em

determinado projeto: englobam ferramentas, servidores, fluxos de trabalho, bibliotecas de dados e plataformas [28].

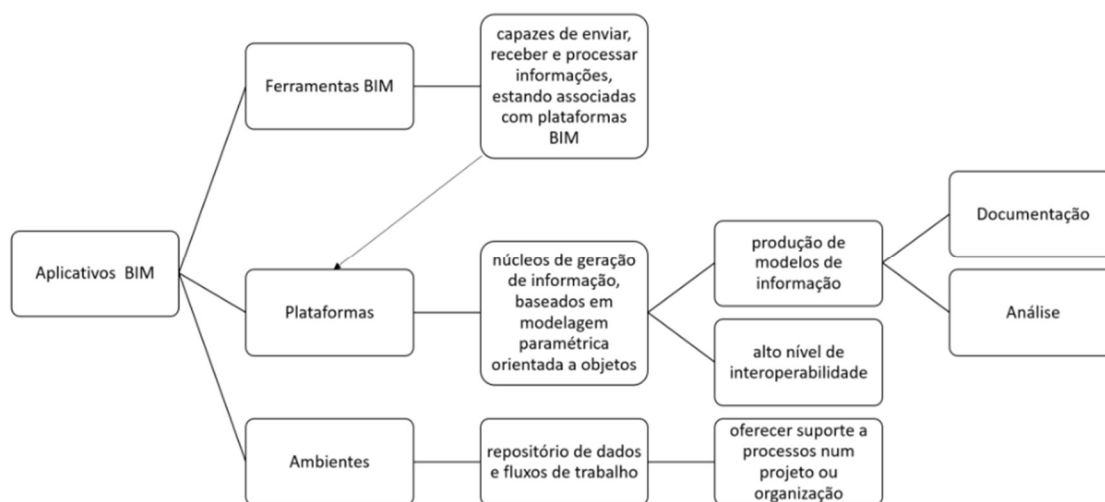


Figura 4 – Classificação dos aplicativos BIM.
Fonte: Biller, et al., 2021 [28].

A seguir, na Tabela 1, são mostrados os aplicativos BIM disponíveis em mercado, conforme sua classificação, anteriormente apresentada, e seu fornecedor (Autodesk, Nemetschek, Trimble, Bentley, McNeel e outros).

Tabela 1 – Ferramentas, plataformas e ambientes BIM de cada fornecedor.

	Autodesk	Nemetschek	Trimble	Bentley	McNeel	Outros
FERRAMENTAS	AutoCAD, FormIt, Structural Bridge Design, Recap, 3DS Max e Fabrication	Maxon e Nevaris	SketchUp Pro, Layout, Tekla Tedds, DuctDesinger 3D, PipeDesinger 3D, Autobid e Accubid	Descartes, Pointools, Lumen RT, OpenCities Map, Siteops	Rhinoceros 3D	-
PLATAFORMAS	Revit, Navisworks, Civil 3D, Infracore, Insight, Robot Structural Analysis, Dynamo Studio, BIM 360 (Plan, Glue, Field), Advance Steel e Vehicle Tracking	Archicad, Vectorworks, Allplan, Data Design System, Solibri, SCIA Engineer, iX-Haus, Frilo, Risa, Precast Software Engineering, SDS/2, Spacewell e dRofus	Tekla Structural Designer, Tekla Structures e Vico Office	Microstation, OpenBuildings Design, OpenCities Planner, STAAD, AssetWise e iTwin	-	TQS, SOFiSTiK, Archibus e IBM Tririga
AMBIENTES	A360, BIM 360 (Docs e Design) e Vault	Bluebeam e dRofus	Trimble Connect	ProjectWise	-	-

Fonte: Adaptado, Biller, et al., 2021 [28].

2.2.3 Implementação

A implantação do BIM não somente é uma inovação tecnológica, como também um conjunto de mudanças no ambiente sociocultural na indústria da construção civil [29].

Em alguns países a utilização do BIM é obrigatória há vários anos. Na Finlândia, um dos grandes percussores dessa metodologia, a investigação e implementação é desenvolvida já há mais de 30 anos, contando com diversas diretrizes relacionadas a isso. As primeiras diretrizes criadas foram feitas pela Senate Properties, que é responsável pela gestão de bens de propriedade da Finlândia, em 2007, quando emitiu um conjunto de normativas de BIM [27].

Outro país que está ao mesmo ritmo que a Finlândia é Singapura, que foi um dos primeiros a progredir com a implementação e desenvolvimento do BIM através de estratégias. A obrigatoriedade dessa metodologia foi definida a partir de 2005, para o país singapurense. Para o caso do Reino Unido, há um programa de legislações com o intuito de tornar o BIM obrigatório em obras públicas [27].

Na Tabela 2 abaixo é apresentada a situação europeia em relação ao BIM (obrigatoriedade, diretrizes e regulamentos).

Tabela 2 – Situação Europeia em relação ao BIM.

País europeu	Valor da Construção EUR	Diretrizes	Regulamento	Ano	Formulários
Hungria	180.1	No	No	Previsão para 2015 adiada	BIM não é obrigatório
Holanda	133.3	Sim	Sim	De 2013	Usa BIM
Romênia	130.3	Sim	Sim	De 2017	Usa BIM
Suécia	129.7	Sim	Sim	De 2017	BIM obrigatório para todas as intervenções
Itália	126.0	No	Sim	De 2019 a 2025	BIM obrigatório para obras públicas acima de 100 milhões e diminuindo gradativamente
Eslovênia	121.1	No	No	Previsão para 2015 adiada	BIM não é obrigatório
Finlândia	119.8	Sim	Sim	De 2012	Usa BIM
Polônia	117.3	No	No	De 2030	BIM obrigatório com fundos estaduais

País europeu	Valor da Construção EUR	Diretrizes	Regulamento	Ano	Formulários
Áustria	116.2	Sim	Sim	De 2018–2020	BIM obrigatório para controle de custos de obras públicas
República Checa	107.3	No	Sim	Em 2017 pianificação, a partir de 2022	BIM obrigatório para obras públicas
Alemanha	105.8	No	Sim	A partir de 2017 para projetos superiores a 100 milhões, e a partir de 31 de dezembro de 2020	BIM obrigatório para compras públicas de infraestrutura
Portugal	104.5	No	Sim	De 2019–2025	BIM obrigatório para obras públicas acima de 100 milhões e diminuindo gradativamente
Bélgica	96.8	Sim	No		BIM não é obrigatório
Bulgária	90.2	No	No		BIM não é obrigatório
França	89.7	No	Sim	Previsão de 2017 adiada para 1º de janeiro de 2022	BIM obrigatório
Eslováquia	86.2	No	No		BIM não é obrigatório
Dinamarca	-	Sim	Sim	De 2013	Usa BIM
Espanha	-	No	Sim	A partir de 26 de julho de 2019	BIM obrigatório para obras e infraestruturas públicas
Croácia	-	No	No		BIM não é obrigatório
Luxemburgo	-	No	No		BIM não é obrigatório
Noruega	-	Sim	Sim	De 2016	Usa BIM
Irlanda	-	No	Sim	De 2017 a 2021	Utiliza BIM de forma gradual
Sérvia	-	No	No		BIM não é obrigatório
Estônia	-	No	No		BIM não é obrigatório
Letônia	-	No	No		BIM não é obrigatório
Lituânia	-	No	No		BIM não é obrigatório
Reino Unido *	-	Sim	Sim	De 2016	BIM obrigatório para todos os projetos governamentais
Suíça *	-	Sim	No		BIM não é obrigatório

* Em 2022, o Reino Unido e a Suíça não faziam parte da UE.

Fonte: Fiamma e Biagi, 2023 [30].

As tecnologias digitais têm sido grandes aliadas para arquitetos e engenheiros que buscam por um melhor desempenho das edificações, realizando simulações computacionais que possam antecipar o comportamento do uso [31], porém apesar da necessidade de implantação do BIM, seu uso cresce lentamente devido aos desafios e custos dessa nova tecnologia, além da falta de profissionais no mercado, altos custos para treinamento e licenças dos softwares, e sobretudo, a falta de obrigatoriedade em obras públicas [32].

Alguns desses desafios são remetidos ao pouco estudo acerca da implementação do BIM, sendo esse uma ferramenta inovadora para arquitetos e engenheiros, tornando-se um obstáculo para as empresas que desejam aplicar essa metodologia. Além disso, há também os riscos e incertezas relacionados a inovação, o que pode desencorajar ainda mais a implantação [33].

Sabe-se que nas relações de mercado de uma sociedade democrática, o domínio de vários requisitos para determinado trabalho é o que irá definir a adequação do profissional à um cargo específico. Assim, para desenvolver a habilidade tecnológica dos futuros engenheiros e construtores, são muito importantes o pensamento lógico e a formação de competências necessárias, indo de encontro à busca de soluções para problemas profissionais [34].

Do ponto de vista do consumo de energia, busca-se cada vez mais produzir projetos que sejam eficientemente energéticos e, portanto, cada vez mais importante que haja durante o curso de graduação o ensino do BIM, que também poderá ser uma contribuição estratégica com os objetivos propostos nas matérias que abordam o tema [35].

Um estudo realizado por Martins, Silva e Teixeira (2022), mostrou que a maior dificuldade encontrada para implementação do BIM em microempresas, está relacionada com o investimento a ser aplicado na capacitação dos funcionários e para ajustar a infraestrutura tecnologia da Tecnologia da Informação da empresa [33].

Em relação ao custo de cada software, o mesmo pode ser minimizado quando comparado o tempo que será levado para fazer a modelação do projeto em cada programa [12].

No sentido de enfrentar os desafios relativos à transformação digital na indústria, ocorreu em 28 de outubro de 2020 a conferência virtual *Sustainable*

Places 2020, apresentando nove projetos de pesquisa financiados pela União Europeia, com o intuito de expor soluções inovadoras avançadas. Isso vem de encontro com a dificuldade que a Europa tem em integrar essas soluções ao setor da construção, sendo inclusive esse o setor europeu identificado como mais pobre [17].

Também foi apresentada pela União Europeia, em 2014, uma chamada de atenção especial ao BIM através da Diretiva Europeia (ED) n°24, para os Estados Membros, com o intuito de difundir o uso dessa metodologia pela Europa inteira. Essa é uma estratégia que permite que os países europeus se tornem mais competitivos no contexto internacional, por ampliar os benefícios proporcionados pelo BIM. Possibilita também que haja um procedimento padrão aos Estados-Membros, pois outros intervenientes europeus podem participar em qualquer obra pública, financiada pelos fundos europeus. Assim, esse método traria uma vantagem interna e externa a Europa, respectivamente [30].

A implementação do BIM em Portugal ainda não é a mais aderida pelos profissionais da AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), porém existem muitas iniciativas e criação de grupos para promover a utilização dessa metodologia. Uma delas é o GT BIM (Grupo de Trabalho em BIM), um grupo de trabalho composto por vários profissionais com grande experiência na área do BIM, e docentes de várias universidades do ensino superior. Foi criado pela Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção, e busca estimular a reflexão sobre o setor, auxiliar iniciativas e projetos de investigação. Outro grupo, que possui o objetivo de desenvolver em Portugal melhores práticas e padrões para fazer a gestão da construção civil, é o BIMForum Portugal. À nível académico, o BIMCLUB é o desenvolvimento de uma plataforma que serve para discussões e impulso para metodologia BIM, fomentada por estudantes e docentes [36].

No sentido de desenvolver novas formas de gerenciamento de projeto, agora dentro das empresas, com a intenção de aumentar a produtividade, é que se iniciou o processo de implementação do BIM em toda sua cadeia de valor, buscando-se maior eficiência e eficácia. São muitos os benefícios obtidos com a utilização do BIM: um estudo realizado pela McGraw-Hill em 2010, nos Estados Unidos, França e Alemanha, contando com 948 profissionais na área de

engenharia, arquitetura, entre outros, mostrou que o seu uso melhora o entendimento geral sobre as intenções do design em 69%, melhora a qualidade geral do projeto em 62%, reduz o conflito durante a fase de construção em 59%, além de reduzir mudanças durante a fase de construção, ciclos de aprovação dos clientes mais rápidos, melhor previsão e controle dos custos e reduz o número de pedidos de informações [19].

De maneira geral, o país de Portugal se apresenta como promissor a evoluir significativamente no que diz respeito ao uso e implementação da metodologia BIM, devido a todas as medidas tomadas nos últimos anos [36].

Por fim, para que um profissional obtenha as competências e habilidades necessárias para esse cenário de desenvolvimento, é necessário que os cursos de graduação passem por determinadas adequações, vencendo barreiras, para ofertar um ensino que melhor atenda ao mercado de trabalho. Esse processo é lento e ainda devem ser identificadas as melhores estratégias para serem replicadas nas instituições. Algumas soluções já apresentadas para os desafios encontrados são, por exemplo, a criação de parcerias com os próprios fabricantes dos softwares e obtenção de licenças educacionais, esclarecimento acerca de ensino BIM não somente como ensino de softwares e confirmação da presença de interface BIM entre as disciplinas, para que o conteúdo possa ser incluído [37].

Entre as diversas ferramentas BIM disponíveis no mercado, o Revit, plataforma pertencente à Autodesk Inc., se destaca. Esse *software* foi adquirido pela Autodesk Inc. quando comprou a Upstart Revit Technology Corporate, que lançou em 2000 a primeira versão do programa [38].

O programa Autodesk Revit apresenta diversas possibilidades para arquitetura, design das especialidades (engenharia mecânica e estrutural), partes de edifícios, construção, documentação, visualização e cálculos. Seus modelos entregam precisão e alta qualidade, através do trabalho em equipe de alto nível, e redução de erros no design, permitindo a criação e projetos de diferentes níveis de complexidade [39].

Essa plataforma possui algumas vantagens em sua utilização em projetos no geral, bem como algumas desvantagens [40]:

- Criação de diversos designs em um curto período, por meio de suas ferramentas de trabalho cooperativas;
- Custo relativamente baixo, podendo ser adquirido por empresas de diferentes dimensões;
- Projetos específicos e precisos requerem por vezes uma complementação por parte do autor do projeto, com famílias e materiais, apresentando um elevado grau de complexidade e alguns inconvenientes;
- Especificamente, para o setor da construção civil, a vantagem maior se encontra nos gerenciamentos dos dados e informações sobre todo o ciclo de vida do edifício, desde as fases de projeto e construção, até as fases de uso e manutenção;
- Integração das disciplinas de projeto é mais facilitada;
- Avaliação de orçamentos, com estimativas de custos precisas, logo nas fases iniciais de projeto;
- Visualização de projeto, seja para compreender e realizar alterações, seja para apresentar ao cliente, ou executar.

No quesito da avaliação do desempenho térmico de uma edificação, o Revit permite, a partir de um único modelo, verificar inconsistências, gerar relatório, determinar quantitativos de materiais, orçamentos, entre outras análises [41].

Esse modelo único faz parte dos três aspectos essenciais do BIM: modelagem paramétrica para desenvolver o “modelo único”; interoperabilidade para troca de informações; gestão e avaliação do edifício no ciclo de vida integral [42].

No Revit, conforme o projeto é desenvolvido, o modelo de energia pode ser analisado e otimizado, tendo um maior impacto no desempenho energético, quanto antes forem usadas as técnicas de otimização. Após a modelagem do edifício, devem ser feitas as configurações para análise de energia e a criação do modelo de energia, que pode ser feita a partir de elementos de construção ou elementos de massa. Isso gera um modelo diretamente no Insight 360, um

serviço em nuvem, no qual pode ser otimizado o desempenho de projeto, sendo ajustados fatores em diferentes situações [43].

Integrado ao Revit, o plug-in do EnergyPlus trabalha como motor de cálculo, tendo sido criado a partir dos programas DOE-2 e BLAST. Esse programa possui diferenciada habilidade de simulação, como por exemplo, sistemas modulares, cálculo de índices de conforto térmico, tempo de cálculo menor que uma hora, integração com diversos sistemas como aquecimento solar, fotovoltaico, entre outros, e por fim, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica [44].

O EnergyPlus utiliza o método de CTF (Conduction Transfer Function), recomendado pela ASHRAE. Além disso, o programa integra as cargas térmicas, sistemas de climatização e os equipamentos utilizados no edifício, permitindo que os impactos do tipo de sistema e equipamento sejam refletidos diretamente no comportamento térmico do edifício. Isso possibilita ao usuário analisar todos os parâmetros de forma abrangente [44].

2.3 O BEM NA ANÁLISE ENERGÉTICA

O Building Energy Modeling (BEM) é uma metodologia computacional que admite realizar a análise do desempenho energético e a avaliação dos projetos arquitetônicos e mecânicos de uma edificação, e conseqüente otimizar o uso de energia e verificar os impactos ambientais diante das tomadas de decisões ao longo do projeto. Através desse método, pode-se calcular as cargas térmicas para dimensionar equipamentos, e avaliar as condições de conforto e comportamento térmico do edifício, e o desempenho da iluminação [45].

Grande parte das ferramentas disponíveis para análise energética preveem ou avaliam o desempenho energético da edificação, ao longo das várias fases do seu ciclo de vida, através da sua composição dos elementos: interface gráfica do usuário (GUI) e um motor de cálculo. O primeiro permite que o edifício seja modelado, com a criação de geometria, facilita a inserção dos dados de entrada, e a análise dos dados de saída, além de fazer as configurações necessárias para as simulações. Já o segundo, geralmente

desenvolvido separadamente da interface gráfica, se responsabiliza pelos cálculos térmicos e energéticos [45].

Mais especificamente para a simulação energética, algumas ferramentas existentes são: Adaptis, BIM Energy, Spacewell Energy (DEXMA), OMRT, Cove.tool, Insight 360, ClimateStudio, Olysis, EnergyPlus, DesignBuilder, entre outros.

Cada vez mais aumenta o uso do BEM, sendo mais viável o uso de ferramentas de modelagem de energia [46], como é o caso do DesignBuilder. Esse programa oferece uma plataforma aos engenheiros, que permite escolhas que otimizam a eficiência energética, o custo e o conforto, para um projeto sustentável, através de ferramentas de alta produtividade. Sua interface tem como objetivo proporcionar um uso facilitado, bem como a modelagem 3D, de maneira rápida, com uma inovadora entrada de dados [47]. Pela adição de informações sobre a geometria do edifício, materiais de construção, entre outros dados, é possível obter a simulação térmica. Esse software foi desenvolvido a partir do EnergyPlus, que simula o aquecimento, arrefecimento, iluminação artificial e ventilação, sendo um programa de modelação energética de edifícios. O EnergyPlus é um dos algoritmos de simulação amplamente utilizado em diversas pesquisas científicas [48].

Entre os programas disponíveis para simular a energia de edifícios, o DesignBuilder é um dos mais específicos. Segundo um estudo realizado por meio de validações empíricas, analíticas, e método comparativo, o DesignBuilder foi dado como software mais aceitável para estudar energia predial, iluminação, CO₂ e desempenho de conforto térmico [49].

Algumas pesquisas revelam que o principal motivo para diferença entre a energia real utilizada e o consumo previsto é relativo aos dados meteorológicos inseridos no software [49].

2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DESEMPENHO TÉRMICO

Como meio de adaptação às mudanças climáticas nas cidades, a definição de soluções energéticas sustentáveis e resilientes representa um

importante papel [50], principalmente no que se refere aos edifícios, que representam cerca de 30% de emissão global de CO₂ e aproximadamente 40% do consumo final de energia nos países desenvolvidos [51].

Após um aumento de 5% no ano de 2021 da procura de energia global, o maior em 50 anos, em 2022 houve uma queda significativa. No cenário das Emissões Líquidas Zero da IEA até 2050, se reforça o desafio de acelerar o progresso da eficiência em 4% ao ano até 2030 [4].

Para tanto, alguns acordos já foram criados nesse contexto de eficiência energética. Eles possuem como objetivo manter o aquecimento global com uma temperatura de até 1,5°C, sendo eles: Protocolo de Kyoto de 1997, Acordo Climático de Paris (ACP) de 2015, e COP 26 de 2021, em Glasgow [52].

Atualmente em Portugal há a implementação de requisitos mínimos na construção de edifícios para que haja maior qualidade das soluções construtivas promovendo condições de conforto térmico e qualidade do ar interior dos espaços, além de haver menor consumo energético e necessidades [53], ou seja, uma maior eficiência energética em relação a edifícios residenciais.

No âmbito internacional, intitulada como “*Energy Standards for Buildings Except Low Rise Residential Buildings*”, a ASHRAE Standard 90.1 define as orientações para construir e simular modelos energéticos de referência, que são aplicáveis para qualquer região climática. Essa norma determina de acordo com a área de piso e localidade:

- Parâmetros térmicos das superfícies (Exemplo: Limites máximos de transmitância térmica das paredes);
- Eficiência mínima de sistemas de climatização;
- Densidades de iluminação;
- Sistemas de AVAC adequados para os tipos construtivos.

Com a meta de alcançar um parque imobiliário com emissões nulas até 2050, foi publicado em abril de 2024, a Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho, representando um importante passo para obter a neutralidade carbônica [54].

A Diretiva exige que cada Estado-membro elabore um plano nacional de renovação de edifícios com o objetivo de garantir, até 2050, a modernização do

parque nacional de edifícios residenciais e não residenciais, tanto públicos quanto privados [54].

O objetivo é criar um parque imobiliário descarbonizado e altamente eficiente em termos energéticos, convertendo os edifícios existentes em estruturas com emissões nulas. Este plano deve ser submetido à Comissão a cada cinco anos [54].

Esta Diretiva, que terá um impacto significativo no setor da construção e demandará um grande esforço dos Estados-membros, é um passo essencial para alcançar a neutralidade de carbono na União Europeia e combater as mudanças climáticas [54].

A aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético para todos os novos edifícios e aqueles que passam por grandes renovações é uma das exigências da Diretiva recém-publicada. Além disso, a instalação de painéis solares em novos edifícios e em grandes renovações, bem como a implementação de sistemas inteligentes de gestão de energia, são também exigências importantes [54].

A introdução de um sistema de passaportes de renovação para monitorar o desempenho energético dos edifícios ao longo do tempo é uma das novas demandas europeias. Além disso, a realização de inspeções regulares nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, assim como a definição de requisitos de qualidade do ar interior para os edifícios, são outras exigências introduzidas [54].

Alguns decretos foram criados em Portugal, com histórico desde 2002, no intuito de melhorar a eficiência energética de edifícios (Figura 5).

Um dos decretos, o Decreto-Lei N.º 101-D/2020 regulamenta o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e promove a melhoria em edifícios do desempenho energético, seja pela conceção, seja pela renovação, através de requisitos de aplicação de modernização. Como base para a metodologia de cálculo, é utilizado o Manual SCE, o qual sofreu algumas alterações, porém sem deixar de ter a flexibilidade quanto aos meios construtivos, e comprometer com o desempenho energético [55].

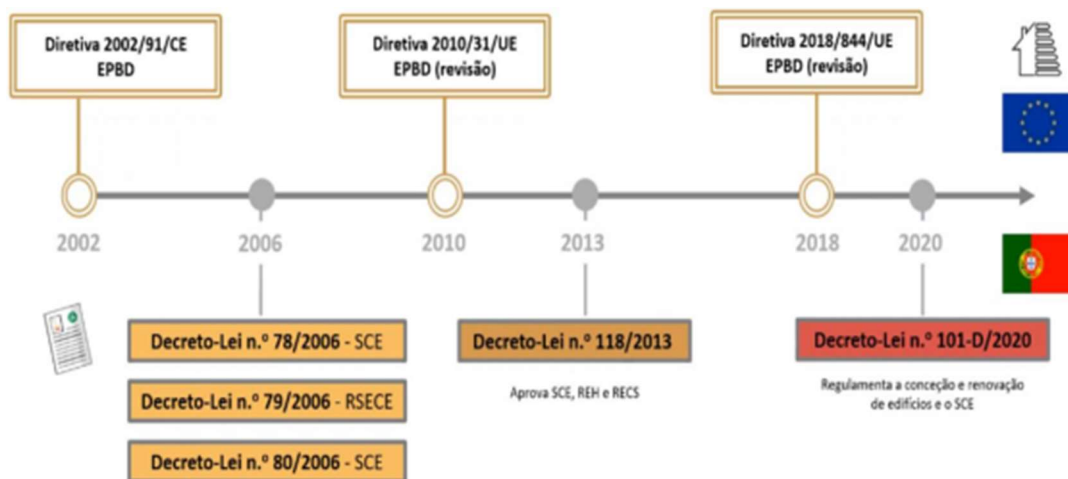


Figura 5 – Linha do tempo da Legislação na área dos edifícios no âmbito da eficiência energética e do SCE, em Portugal.
 Fonte: Legislação SCE, 2024 [56].

Por fim, foi aprovado no dia 8 de janeiro de 2024 o Decreto-Lei n.º 10/2024, no Diário da República, 1.ª série, que aprova medidas para que os processos administrativos urbanísticos sejam simplificados e reduzidos, sobre as empresas. Este decreto remete à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria (SIMPLEX). Uma das mudanças principais aprovada, está descrita no Artigo 17.º, no qual é imposta a obrigatoriedade de apresentação de projetos de arquitetura através da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), modelados digitalmente e de forma paramétrica, conforme a apresentação estabelecida no Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE). Isso torna-se obrigatório a partir de 1 de janeiro de 2030 [57].

2.5 INTEROPERABILIDADE ENTRE PROGRAMAS

O desenvolvimento do BIM abre possibilidades para superar as limitações da modelagem de energia tradicional, promovendo a modelagem energéticas das construções para o processo de design de construções digitais. Esse método de modelagem energética de construção baseada na modelagem de informações de construções, ganhou forças e atraiu nos últimos anos a sociedade de pesquisa e indústria [58].

Através de estudos realizados, com diversos trabalhos publicados entre os 2000 e 2018, chegou-se à conclusão de que a abordagem do BEM, baseada em BIM, pode otimizar a avaliação da tomada de decisões e opções de projeto pelo projetista. Essa abordagem deve ser feita ainda em fase inicial de projeto, reduzindo os custos e apresentando soluções de forma mais eficiente [45].

Para que toda a troca de informações seja feita da melhor forma, sem que existam perdas no meio do caminho, é de grande importância a criação de uma linguagem comum entre os diferentes programas de especialidades do projeto. Com isso é possível a integração entre projetos de arquitetura, com os demais projetos complementares, através de soluções tecnológicas que forneçam a interoperabilidade entre os softwares [24]. Esse termo da interoperabilidade refere-se justamente à capacidade em se comunicar, transferir informações, e reutilizar as informações armazenadas na base de dados, entre os diferentes sistemas de tecnologia da informação e softwares [59].

Nessa comunicação entre modelos virtuais, é esperado que o fluxo de informações do BIM para o Modelo de Energia do Edifício (BEM) seja um fator importante para implementação de forma mais ampla da simulação de energia nos projetos, como forma de apoiar as fases de projeto de edifícios conscientes em termos energéticos. Porém, essa integração entre BIM e BEM ainda é uma área de pesquisa e não foi utilizada de maneira generalizada pela indústria, o que gera trabalhos propícios a erros, com esforços desperdiçados e frustração entre os modeladores, por essa falta de interoperabilidade entre esses meios virtuais [18].

Os Modelos de Energia dos Edifícios são a base para a certificação de desempenho energético e para as avaliações, que devem ser cordiais entre si para o usuário, que gerem lucro e sejam confiáveis, para transmitir maior confiança aos investidores do setor de eficiência de energia, podendo ser organizados em categorias de modelos baseados em física, dados ou estatísticas, ou modelos híbridos [17].

Para otimizar o uso energético das edificações, várias estratégias complexas baseadas em dados foram desenvolvidas, assim como o BEM, que possui um papel fundamental fornecendo diversos Insight 360 sobre a árdua

física dos edifícios e analisando diferentes ações para economizar energia. O problema surge sobre as incertezas que o próprio modelo está exposto, que se tornam inevitáveis à medida que são edifícios complexos, com sistemas de diversos parâmetros [60].

As incertezas geradas na forma do modelo possuem origem nas aproximações numéricas, codificação computacional e qualidade da programação. Ainda é um grande obstáculo realizar a modelagem das correlações e interações dinâmicas entre os diversos elementos físicos, como as envoltentes dos edifícios, instalações, impactos do interior e exterior. Sobre as incertezas dos parâmetros são necessárias em grande parte das vezes de centenas, ou milhares de características e dados de entrada para gerar um modelo de construção. Acerca dos dados de entrada, se introduzem informações sobre o exterior (macroclima e microclima de longo e curto prazo no entorno da edificação), sobre o próprio edifício, (materiais, fases de execução, transformações de propriedades, e alteração de função durante as operações) e dados internos, relacionados aos comportamentos de ocupação e tempo útil de vida dos equipamentos [60].

Para calcular os comportamentos energéticos dos edifícios, é realizada a análise através de modelos de simulação, por meio de ferramentas digitais BEM, que dependem da utilização de modelos matemáticos para a representação dos edifícios, aliados a características físicas e térmicas [61].

Através de modelos BIM é possível contribuir entre as diversas disciplinas, a partir do compartilhamento de dados durante o ciclo de vida inteiro para determinada edificação, além de guardar e gerenciar informações geométricas e não geométricas [61].

Muitas maneiras diferentes foram buscadas para tornar a interoperabilidade BIM-BEM mais eficiente, com diferentes metodologias, enquadramentos, otimizações, a partir de perspectivas diferentes, porém ainda não se obteve um resultado satisfatório. Para um bom fluxo de trabalho nessa conversão, ainda são necessárias intervenções manuais ou semiautomáticas, que estão sujeitas a erros, além da utilização de plataformas intermediárias, que possuem muitas das vezes modelos de dados distintos não padronizados e não possuem seus códigos fonte com livre acesso a comunidade técnico-científica.

Essas dificuldades enfrentadas entre plataformas acabam fazendo com que dados e informações sejam perdidos neste processo [61].

A falta de fluidez e troca de informações entre BIM e BEM, segundo alguns pesquisadores, se encontra enraizado na sua criação. Enquanto o BIM focou no suporte a edifícios em situações críticas, o BEM estava concentrado nas propriedades elementares das edificações e nas interações. Já outros pesquisadores, acreditam que os problemas principais se encontram na incapacidade de compreender a programação orientada a objetos pelas ferramentas do BEM [62].

A transição entre BIM e BEM é composto por três partes: programa BIM, formato de transformação de esquema de modelo e ferramenta BEM. Em todas essas fases é possível que haja problemas de interoperabilidade, não sendo somente na tradução de informações de entrada no BEM. Para que esses dados sejam transferidos, existem alguns formatos de arquivo para serem utilizados, são eles:

- HTML: Linguagem de marcação de hipertexto;
- XHTML: Linguagem de marcação de hipertexto extensível;
- bcXML: Linguagem de marcação extensível de construção de edifícios;
- IFCXML: Classes de fundação da indústria da linguagem de marcação extensível;
- IFC: Classes de fundação da indústria;
- gbXML: Linguagem de marcação extensível de construção verde.

O IFC e o gbXML permitem e colaboram na integração e colaboração de profissionais diversos de qualquer lugar, por serem padrões abertos, os principais do BIM. Assim fornecem uma base padrão em que as atividades de pesquisa, desenvolvimento e implantação podem ser organizados. Esses arquivos ainda entram em grandes debates sobre qual ser a melhor opção para a troca de informações no processo de BIM-BEM [17].

Originalmente desenvolvido pelo Green Bulding Studio nos anos 2000, o formato gbXML é mais usado no compartilhamento de dados para análises

sustentáveis e térmicas, baseado na sua habilidade de incorporar informação térmica descritiva do modelo [25].

O segundo formato apresentado, o IFC, foi desenvolvido pela buildingSMART – órgão mundial que busca desenvolver e implementar padrões e serviços digitais abertos com o intuito de otimizar a automação e tomada de decisões no ciclo de vida integral dos edifícios, para melhorar a produtividade, sustentabilidade e rentabilidade - e estimula e oferece as únicas especificações para BIM aberto, uma estratégia universal para o design colaborativo, com operação e realização de edificações fundamentado em padrões e fluxos de trabalho abertos, durante todo o processo do edifício [18]. Além disso, é uma plataforma neutra, que se baseia em objetos, e descreve informações da indústria da construção civil [25]. É um formato padrão que se consolidou, para a interoperabilidade entre os diversos programas.

Tanto o formato IFC quanto o formato gbXML, não possuem um suporte adequado para completar a transferência de dados. Entretanto entre as ferramentas BIM, a que melhor se apresenta, é o IFC, que permite a exportação de 81% dos dados, comparados a 44% da exportação através do gbXML. Ao contrário disto, entre as ferramentas BEM, é o formato gbXML que apresenta melhor desenvolvimento, permitindo a importação em 88%, contra 44% do formato IFC. Isso comprova a dificuldade enfrentada para a transferência de arquivos [62].

Outra característica importante é que, enquanto o IFC reproduz um esquema de informações de grande complexidade e arquivos de dados com tamanho maior, ou seja, um projeto completo de construção, o gbXML propõem um método mais flexível e direto para realizar a análise de energia [17].

Importante ressaltar que ambos os formatos transferem as características dos materiais, as zonas térmicas e as informações para sistemas HVAC, sendo apenas o gbXML quem fornece dados de localização [17].

Para a transferência de um modelo BIM para BEM [18], são necessários alguns ajustes e configurações essenciais, a fim de minimizar erros e discrepâncias:

- Estabelecer uma estrutura, antes de iniciar o desenho do projeto;
- Habilitar os cálculos de áreas e volumes;

- Ajustar os tipos de espaço;
- Revisar e editar as propriedades térmicas dos materiais;
- Definir o modelo de energia (geometria) entre formas conceituais e massas ou elementos construtivos;
- Definir a divisão de profundidade de zona (para o modelo de energia de formas conceituais e massas);
- Revisar e editar as configurações de elementos de construção detalhados (para o modelo de energia de elementos construtivos);
- Definir as fases de construção (uma fase de construção ou várias);
- Definir a utilização de espaços ou salas.

Com o intuito de reduzir custos e economizar tempo de recriação de modelos em processo de design de projeto, a interoperabilidade entre BIM e BEM poderia ser um passo à frente. Por um lado, o BIM possui a capacidade de produzir modelos energéticos de forma mais ágil, armazenando informações importantes, como a geometria da edificação, a tipologia da construção e características térmicas. Além disso também permite que as iterações tenham designs eficientes, implementados em um ambiente compartilhado. Por outro lado, o BEM tem a característica fundamental de compreender como diminuir o consumo energético e otimizá-lo, juntamente com a análise dos requisitos de energia e melhoria do design de projeto, através de suas ferramentas e medidas [17].

Apesar do uso conjunto de BIM e BEM apresentarem diversas vantagens, ainda há algumas deficiências digitais existentes na etapa de design, pela falta de compatibilidade entre o modelo BIM e as aplicações de simulação energética, pelos processos manuais repetitivos para produzir em BEM, e pelo procedimento não padronizado de projeto. Assim, mesmo o BIM sendo uma ferramenta multidisciplinar, o BIM fica impedido de atuar em muitas indústrias relevantes, além de gerar perda de dados e má interpretação. Para alguns autores essa perda de dados é o principal problema na transferência de dados entre BIM e BEM, pois como consequência é necessário reinserir as informações já colocadas em BIM, no modelo energético [17]. Ao contrário do que muitos

autores afirmam, esse conjunto de modelagem, ainda não possui a completa interoperabilidade, como diversas empresas de desenvolvimento de programas informáticos afirmam [58].

Foram realizadas algumas análises acerca da transferência de informações entre o BIM e BEM, sendo organizado esse processo em seis níveis:

- Geometria;
- Materiais;
- Tipo de espaço;
- Zonas térmicas;
- Cargas térmicas;
- Sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) [45].

O formato IFC se limitou ao nível da geometria, na transferência de dados, na grande maioria dos casos, enquanto através do formato gbXML foi possível transferir informações de geometria, materiais e tipos de espaço, alcançando o terceiro nível [45].

2.6 APLICAÇÃO DO BIM E BEM NO BRASIL

No Brasil, a metodologia BIM se enquadra em um contexto de gradual crescimento de adoção, incentivado por regulamentações governamentais e com a conscientização das vantagens que são proporcionadas [63].

Em 17 de maio de 2018 foi dado o primeiro passo para implementação através do poder público, com o Decreto Federal nº 9.377, no qual foi instituída a Estratégia BIM BR. Esse decreto, que foi revogado em 2019, sofrendo atualizações, tem como objetivo dar o auxílio necessário para o investimento no setor industrial e de serviços que utilizam da ferramenta para benefício. Através do Decreto Federal nº10.306, de 2 de abril de 2020, a execução de serviços de engenharia para o Ministério da Defesa e para o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), pelos órgãos e entidades federais, ficou estabelecida [64].

Com a crescente evolução da tecnologia, o setor da construção, em específico a Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), vem evoluindo também, ao mesmo tempo que as exigências dos clientes aumentam. Assim, torna-se necessário a implantação de novas tecnologias disponíveis em mercado, em substituição de métodos tradicionais, sendo cada mais irrelevantes para os métodos construtivos mais complexos [64].

Foi criada em agosto de 2017 a Câmara Brasileira de BIM, que tem como objetivo debater sobre políticas públicas de divulgação e implantação do BIM no Brasil, através de comitês que abordam diversos assuntos, entres eles os softwares, licitações, contratos, formação acadêmica, processos, entre outros [65].

Ademais, não somente encontra-se uma série de dificuldades na prática, mas também no ensino: há uma grande complexidade na incorporação das tecnologias digitais nas grades curriculares. Isso se deve em grande parte à falta de domínio ainda pelos professores acerca dessas ferramentas, além da falta de compreensão dos conceitos básicos. Nos cursos AEC, a implementação do BIM se consolidou entre 2006 e 2009, após ter iniciada em 2003. No Brasil algumas unidades já possuem o BIM como metodologia de plataforma de ensino (Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de São Carlos, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro Universitário Barão de Mauá e a Universidade Estadual de Campinas) [66].

Desde a vigência dessa normativa, empresas da AEC que realizam serviços ao meio público, notaram a necessidade de se adequar a nova metodologia, mantendo seu posicionamento relevante diante do cenário da construção civil [67].

Para alguns autores, os principais desafios encontrados para implementar o BIM no Brasil são a falta de experiência e conhecimento, problemas com interoperabilidade e resistência cultural. Em outra pesquisa realizada, também foi apontada a capacitação dos profissionais como elemento crítico para essa situação [67].

No Brasil, esforços para disseminação do BIM, disponibilização de recursos e apoio a elaboração de normas técnicas, tem sido feito, em grande

parte, pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). Não somente essas entidades como também empresas privadas, que tem se empenhado nesse sentido, através da realização de seminários e oficinas sobre o BIM, e publicações técnicas. A fim de consolidar e disponibilizar, com clareza e precisão, boas práticas para os setores públicos e privados envolvidos no processo das edificações, sobre procedimento e aquisição de projetos BIM, a ABDI e o MDIC colocaram à disposição do público a Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC. Com essa coletânea, é esperado que haja uma contribuição na redução de erros e aprimoramento durante os editais, projetos, orçamentos e planejamento de obras públicas e privadas, além de ser um ponto de referência para capacitação e qualificação no sentido técnico [9].

Ainda há diversos obstáculos a serem enfrentados para a implementação do BIM no Brasil, e também em Portugal, apesar de todas as vantagens que traz. Alguns deles são atraso o atraso na execução de projetos por arquitetos e engenheiros, além da resistência de incluir ferramentas inovadoras a esse processo. Também pode-se citar o alto custo de investimento para adquirir os softwares BIM, quando comparados com outras tecnologias, como por exemplo o CAD [66].

No ano de 2017, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) juntou-se ao Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) para desenvolver o Guia de Avaliação de Desempenho Energético em Projetos BIM [45].

Este guia apresenta os requisitos do modelo para que a avaliação e a etiquetagem de projetos BIM de edifícios sejam viabilizadas, de maneira que as equipes de projeto sejam auxiliadas, tanto no planejamento quanto desenvolvimento, através de um Plano de Execução BIM (que envolve planejamento, projeto, construção, comissionamento e operação). Nesse processo, também é verificado o desempenho térmico e análise sobre a eficiência energética, por meio de modelagens. Com isso, como objetivo final, procura-se melhorar a precisão e solidez da estimativa de uso de energia e eficiência da construção, com uso da tecnologia que se enquadra, implementada, relacionada ao BIM [9].

Neste Guia também são apresentadas algumas das normas internacionais existentes, e as normativas específicas para cada país especificamente. No Brasil, foi desenvolvida a NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações, que possui como objetivo apresentar diretrizes de construção para otimizar o desempenho térmico de edifícios residenciais unifamiliares de interesse social, relacionados ao clima em que se situa a edificação. A primeira parte descreve conceitos, símbolos e unidades sobre o que está ligado ao desempenho térmico dos edifícios. Na segunda parte são apresentadas as fases para cálculo das propriedades térmicas dos componentes envolvidos. Por fim, é estabelecido o zoneamento bioclimático do Brasil e as diretrizes construtivas [9].

Em 2013 foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR 15575:2013 Edificações Habitacionais – Desempenho, que representa um avanço para o setor da construção civil brasileira e um grande passo para melhorar a qualidade dos edifícios. Ela estabelece o mínimo desempenho das edificações habitacionais, sendo dividida em requisitos gerais, sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de cobertura e sistemas de hidrossanitários. Os níveis de desempenho térmico foram definidos de acordo com as zonas bioclimáticas, estando divididos em uma escala de mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) [9].

Segundo o Guia de Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM, a “Simulação computacional de edificações é o processo de construir uma cópia virtual do edifício em análise a partir de seus componentes.”. Dessa forma, a simulação computacional possibilita a previsão quantitativa antecipada do consumo e custo de energia, as condições internas dos ambientes, o conforto térmico, as emissões de CO₂, a análise das possibilidades de soluções energéticas e avaliação do retorno de investimento durante o processo [9].

3 ESTUDO DE CASO

3.1 METODOLOGIA

Tendo em vista a simulação dinâmica em softwares BIM e BEM, para verificar as potencialidades, facilidades, dificuldades e a interoperabilidade entre eles, o presente trabalho foi baseado na modelagem e simulação de uma residência unifamiliar, em dois softwares diferentes: Autodesk Revit 2023 e DesignBuilder, versão 7.3.0.027. Como já demonstrado anteriormente, são programas bastante desenvolvidos, e que prometem alcançar resultados otimizados. Além disso, ambos possuem credenciamento da ASHRAE 140, pois a base de cálculo de ambos é o EnergyPlus (No Revit a versão utilizada é a 9.1.0, enquanto que no DesignBuilder é utilizada a versão 9.4.0).

O projeto de estudo foi baseado em um projeto arquitetônico da Dissertação de Conclusão de Curso de Lize Helena de Paula [68], com seu trabalho “Impacto de soluções passivas e ativas no desempenho energético de um edifício NZEB no norte de Portugal”. A escolha em questão foi por ser um edifício usual representativo em Bragança, Portugal.

Após a modelagem do edifício, foram atribuídas as características com valores adotados, que serviram para todas as simulações, em todos os projetos, e estão detalhadas no item 3.2 do presente trabalho. Então foram configuradas as demais variáveis, incluindo os sistemas AVAC, orientação solar, paredes externas, e localização.

Com isso foi possível realizar a simulação primeiramente no Revit, depois no DesignBuilder, e novamente no DesignBuilder, porém baseado em um arquivo gbXML exportado do Revit.

Abaixo na Figura 6, o fluxograma de trabalho exhibe a metodologia adotada para o estudo de caso do presente trabalho.

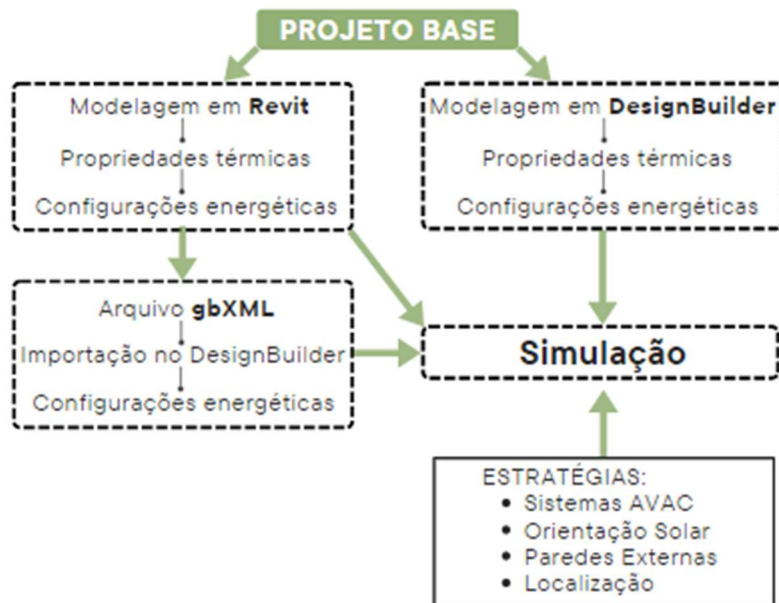


Figura 6 – Fluxograma de trabalho.
Fonte: A Autora.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício caracteriza-se como residencial unifamiliar, localizado em Bragança, no norte de Portugal, uma região predominada por um clima mais frio, quando comparado com o restante do país, com uma altitude de 674m.

A edificação, que se encontra representada em planta baixa, corte, fachada e perspectiva no Anexo 1, compreende uma área total de 258,85m², com dois andares, é composta pelos seguintes ambientes:

1. Rés de chão:
 - a. Garagem (Área=27,76m²);
 - b. Cozinha/sala de estar (Área=52,99m²);
 - c. Lavabo (Área=2,19m²).

2. Piso 1:
 - a. Corredor (Área=13,49m²);
 - b. Banheiro (Área=6,94m²);
 - c. Quarto 1 (Área=17,74m²);
 - d. Quarto 2 (Área=16,27m²);

- e. Suíte (Área=20,26m²);
- f. Banheiro suíte (Área=6,66m²);
- g. Varanda (Área=5,84m²).

3. Cobertura (Área=86,12m²).

Para a residência apresentada, a garagem e o desvão da cobertura caracterizam-se como espaços não úteis, por possuírem suas temperaturas diferentes da temperatura interior, dos espaços úteis. Por isso, há muita troca de calor entre essas zonas, principalmente quando as temperaturas desses ambientes forem próximas da temperatura do exterior. Assim, pode ser obtido o coeficiente de redução de perda (b_{tr}), a partir de uma metodologia prevista no Despacho n.º 15793-K/2013, que depende do volume dos espaços não úteis, da existência de aberturas permanentes para o exterior, e da relação (A_i/A_u) entre somatório de áreas dos componentes que separam o ambiente interior útil do não útil, e áreas dos componentes que separam o ambiente não útil do exterior do edifício, conforme Figura 7 abaixo.

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Figura 7 - Coeficiente de redução de perdas.
 Fonte: Guia SCE, 2020 [69].

Assim, após verificar cada parâmetro correspondente, se obteve o b_{tr} de cada espaço não útil, conforme Tabela 3 abaixo, e conforme Figura 8 de vista do edifício a seguir. Isso significa que tanto a Garagem quanto o Desvão da Cobertura são tratados como envolvente interior com requisitos de exterior.

Tabela 3 – Cálculo do b_{tr} .

Parâmetros	Garagem	Cobertura
A_i	27,09m ²	86,12m ²
A_u	41,36m ²	98,55m ²
A_i/A_u	0,65	0,87
V_{enu}	75,14m ³	50,95m ³
Ventilação	f	f
b_{tr}	0,8	0,8

Fonte: A Autora.

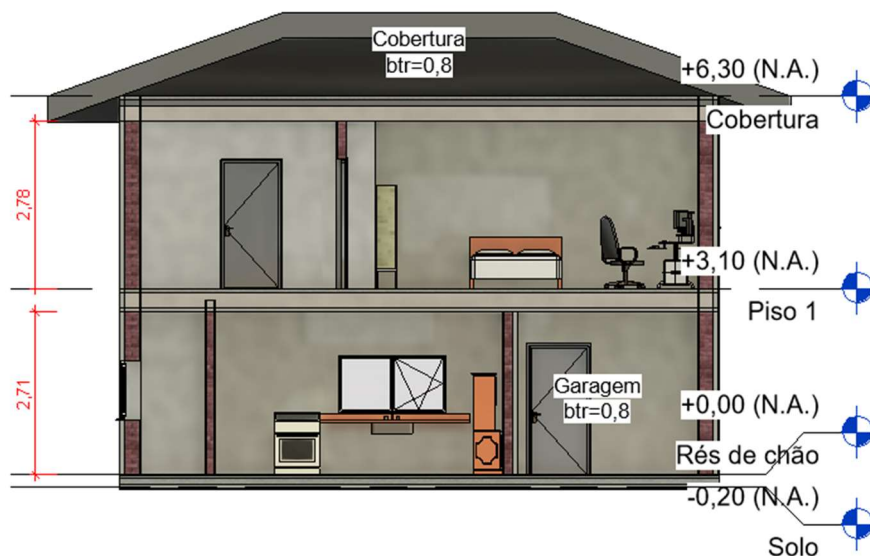


Figura 8 – Vista do edifício.

Fonte: A Autora.

De forma a verificar os espaços a serem considerados nos cálculos térmicos, foram analisados os elementos da envolvente térmica do edifício, que delimitam o ambiente interior do exterior. Através das condições de fronteira definidas pelo Manual SCE, é possível analisar o projeto e distribuir aos compartimentos sua atribuição, conforme as figuras abaixo.

LEGENDA	
	Envolvente Exterior
	Envolvente Interior com requisitos de Exterior
	Envolvente Interior com requisitos de Interior
	Envolvente sem requisitos
	Solo
	Pavimento
	Cobertura

Figura 9 – Legenda para Envolventes Térmicas.

Fonte: Adaptado do Manual SCE, 2020 [69].

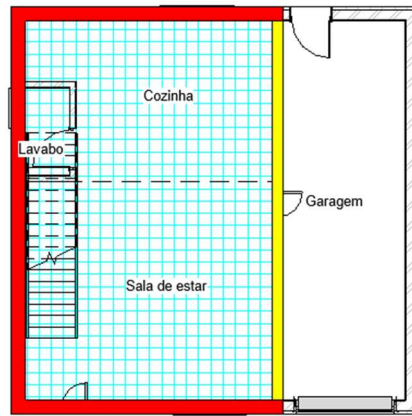


Figura 10 – Envoltórios térmicos de parede e pavimento do Rés de chão.
Fonte: A Autora.

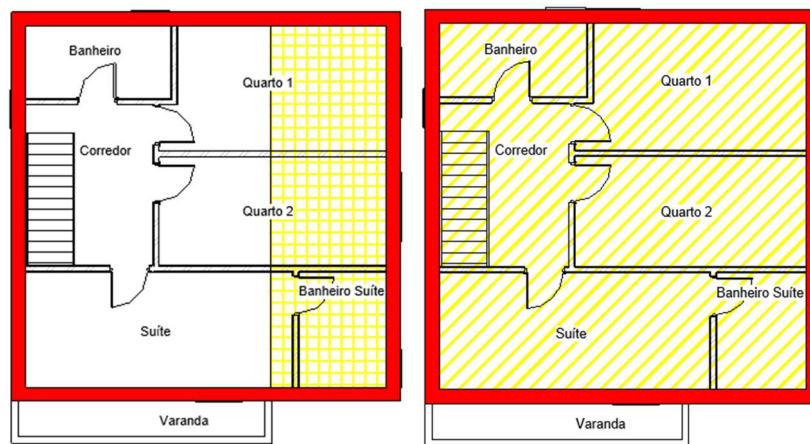


Figura 11 – Envoltórios térmicos de parede, pavimento e teto do Piso 1.
Fonte: A Autora.

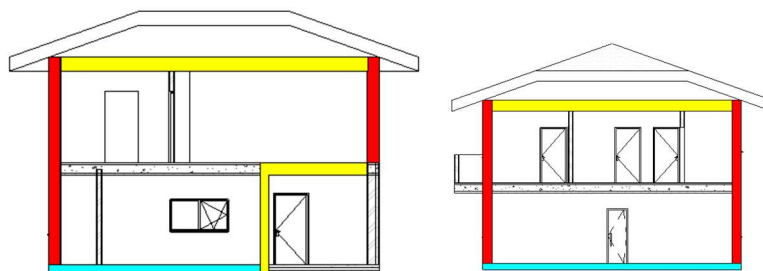


Figura 12 – Envoltórios térmicos Cortes AA e BB.
Fonte: A Autora.

Para os elementos construtivos do edifício (paredes, lajes, portas, etc.), foram adotados valores de espessura, condutividade térmica, calor específico e densidade, como padrão para os três casos de simulação, como apresentados a seguir, na Tabela 4 (Anexo 2). Uma observação importante é que para uma

das simulações realizadas adiante, os valores de espessura do isolamento da parede exterior serão alterados, mantendo todos os outros valores iguais.

Tabela 4 – Valores adotados para os elementos construtivos.

ELEMENTO CONSTRUTIVO	Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade
		m	W/(m.k)	J/ (G · ° C)	kg/m ³
*PAREDE EXTERIOR	Argamassa com isolamento térmico	0,01	0,47	0,92	1900
	Placa de EPS	0,09	0,037	1,47	27
	Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200
	Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900
PAREDE SALA/GARAGEM	Argamassa com isolamento térmico	0,01	0,47	0,92	1900
	Placa de EPS	0,08	0,037	1,47	27
	Tijolo	0,15	0,54	0,84	2200
	Argamassa	0,02	1,3	0,92	1900
PISO 1/GARAGEM	Piso Cerâmico	0,01	1,3	0,85	500
	Betonilha	0,06	1	0,92	2350
	Laje Aligeirada	0,25	0,85	0,84	1200
	Placa de EPS	0,06	0,037	1,47	27
	Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,84	1100
COBERTURA	Betonilha	0,06	1	0,92	2350
	Placa de EPS	0,11	0,036	1,47	27
	Laje Aligeirada	0,24	0,85	0,84	1200
	Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,84	1100
PAVIMENTO TÉRREO	Piso cerâmico	0,01	1,3	0,85	500
	Concreto de regularização	0,06	0,5	0,66	750
	Betonilha Pav. Térreo	0,1	2	0,92	2350
	Placa de EPS	0,06	0,037	1,47	27
	Membrana flexível com betume	0,024	0,23	1,67	1250
PORTA EXTERNA	Madeira semi-densa	0,06	-	-	-
PORTA INTERNA	Madeira semi-densa	0,044	-	-	-
	Construção analítica		Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	
JANELAS	Vidro		0,75	0,7	

* Alterado apenas na simulação de paredes exteriores.

Fonte: A Autora.

Além dos elementos construtivos, foram definidas configurações de ocupação, iluminação e equipamentos para todas as simulações, a partir de valores pré estabelecidos em template no Revit (de acordo com o tipo de construção, no caso, de residência unifamiliar):

- Densidade de carga para iluminação e equipamentos: 10,76W/m²
- Ocupação, iluminação e equipamentos: 24h/7 dias;
- Densidade ocupacional: 52m²/pessoa;
- Ponto de desumidificação: 70%;

- Ponto de humidificação: 0%;
- Ponto de aquecimento: entre 21°C e 22°C (para o Revit especificamente, 21,11°C);
- Ponto de arrefecimento: entre 23°C e 24°C (para o Revit especificamente, 23,89°C).

Como percebe-se, os valores de temperatura de aquecimento e arrefecimento não são exatamente iguais. Isso porque no DesignBuilder há apenas a opção de escolher um intervalo de temperaturas, enquanto que no Revit há apenas a opção de ajustar um valor exato para temperatura. Portanto, como a primeira simulação foi realizada no Revit, que pré estabeleceu os valores a partir do template relativo a casa unifamiliar, foram ajustados os valores para o DesignBuilder, no intervalo mais próximo correspondente.

3.3 ESTRATÉGIAS DE SIMULAÇÃO

Para o presente trabalho, foram utilizadas algumas estratégias para realizar as simulações computacionais, com o objetivo de verificar quais teriam maior impacto sobre o consumo final de energia, e quais poderiam proporcionar ao edifício melhor desempenho energético. Assim, foram simuladas situações com diferentes sistemas mecânicos, elementos construtivos, localizações e orientações solares.

Em um primeiro momento, foram realizadas simulações com cada uma das opções de equipamentos disponíveis em templates nos programas, mantendo todos valores adotados dos elementos construtivos, além da ocupação, iluminação e equipamentos padrão, já apresentados anteriormente, e adotando a orientação da fachada principal a Sul, com a localização em Bragança/PT. Essa análise sobre sistemas mecânicos é muito importante, pois através deles são atendidas as demandas do edifício, de acordo com suas necessidades, ao clima em que está inserido, à iluminação e ventilação que recebe, e além de reduzir o consumo de energia, também melhora a qualidade do conforto térmico e do ar interior.

Em seguida, foi simulada a orientação solar da fachada principal, para Sul, Sudeste, Leste, Nordeste, Norte, Noroeste, Oeste e Sudoeste. O sistema AVAC utilizado para todos esses casos foi o sistema mais semelhante entre Revit e DesignBuilder, que será apresentada posteriormente. Essa estratégia é muito importante pois a dimensão do nível de exposição solar torna-se decisiva para a demanda de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Com a intenção de diminuir a perda de calor no inverno, e evitar o ganho de calor para o interior do edifício no verão, foi utilizada a estratégia do isolamento térmico, alterando a espessura do isolamento das paredes exteriores (envoltória exterior do edifício). Foram simuladas paredes com isolamento de 9, 11, 15 e 20cm.

Por fim, a localização do projeto foi alterada com o objetivo de verificar diferentes condições climáticas e o impacto sobre o edifício. Para tanto, foram simuladas as localizações para a cidade de Bragança, ao norte de Portugal, Coimbra, localizada ao centro, e Faro, ao sul do país. A Escolha dessas cidades se deve a tentativa de verificar o consumo energético em diferentes climas, sendo Bragança um local com inverno muito rigoroso, Coimbra uma cidade com temperaturas mais amenas, e Faro, com temperaturas mais elevadas comparado com as últimas duas.

3.4 MODELAGEM NO REVIT

3.4.1 Interface, modelagem e propriedades térmicas

A plataforma do Revit possui uma interface muito intuitiva, e que pode facilitar muito a modelagem do edifício, quando bem utilizadas suas ferramentas, da maneira correta. A Figura 13 abaixo mostra o programa ao iniciar um novo projeto, em que é composto basicamente por barra de ferramentas, propriedades e painel de navegação. Assim, logo é possível a modelagem do projeto base, para posterior configurações.

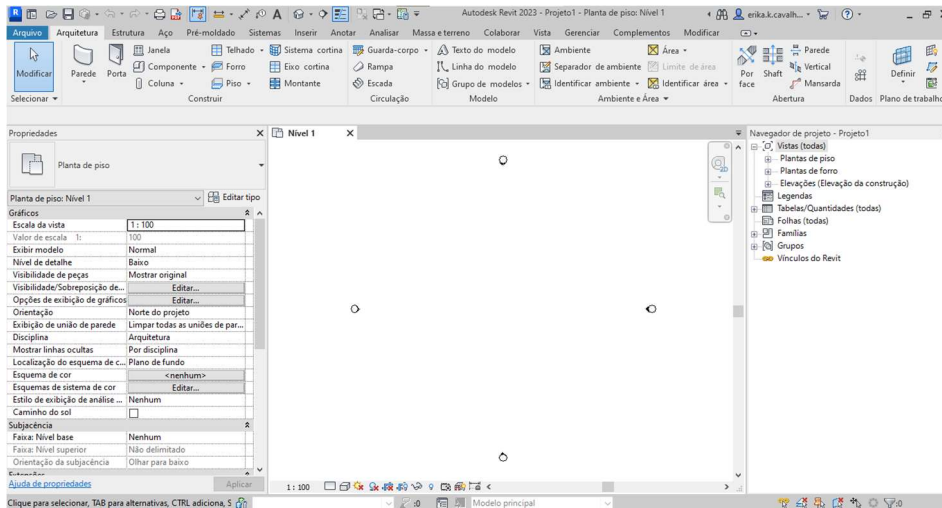


Figura 13 – Interface do Revit.
Fonte: A autora.

Para o edifício em estudo, após modelado, foram atribuídos valores adotados para os elementos construtivos. É importante salientar que ao editar o tipo dos elementos dos vãos, as propriedades analíticas devem ser definidas pelo usuário, com os valores adequados para essas características.

Inicialmente, foram configuradas as camadas das paredes do exterior, e a parede de separação entre a garagem e sala de estar.

Nessa fase é necessário:

- (1) Editar o tipo de parede;
- (2) Editar a estrutura;
- (3) Editar cada material separadamente;
- (4) Atribuir propriedades térmicas aos materiais.

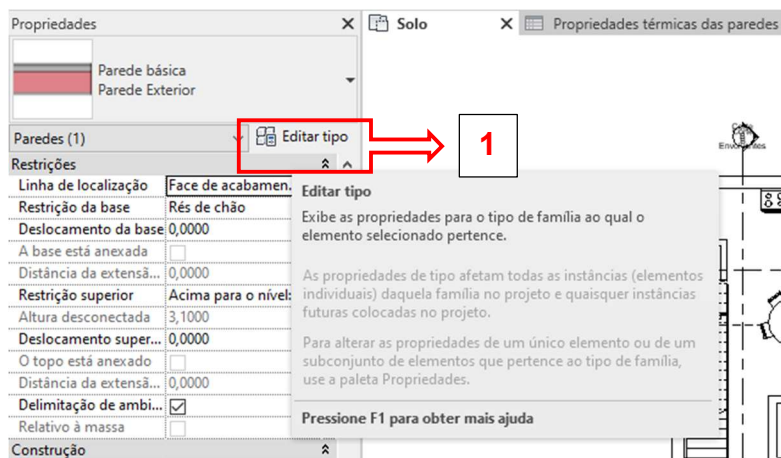


Figura 14 – Editar tipo.
Fonte: A Autora.

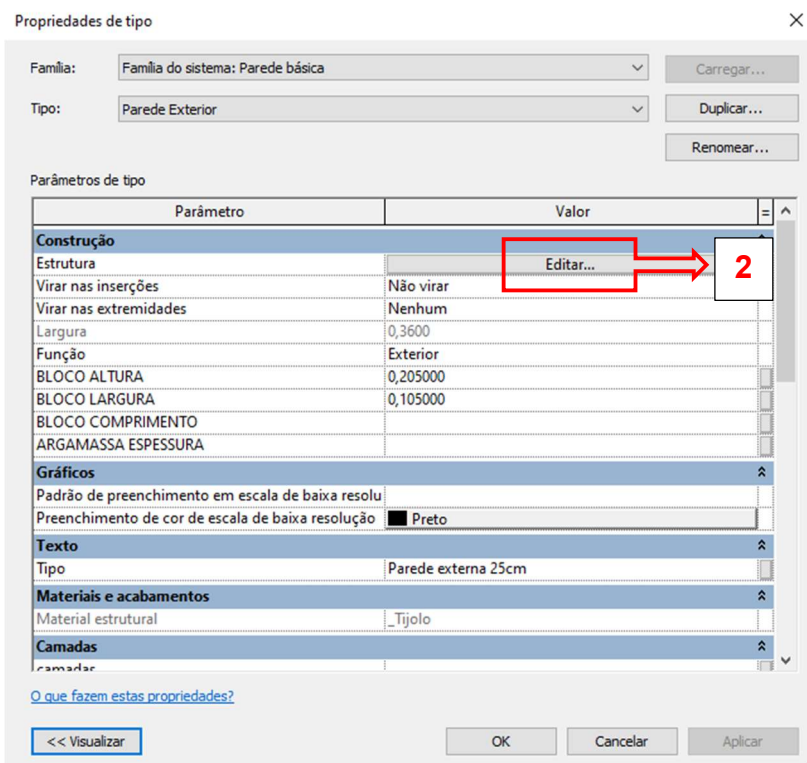


Figura 15 – Editar estrutura.
Fonte: A Autora.

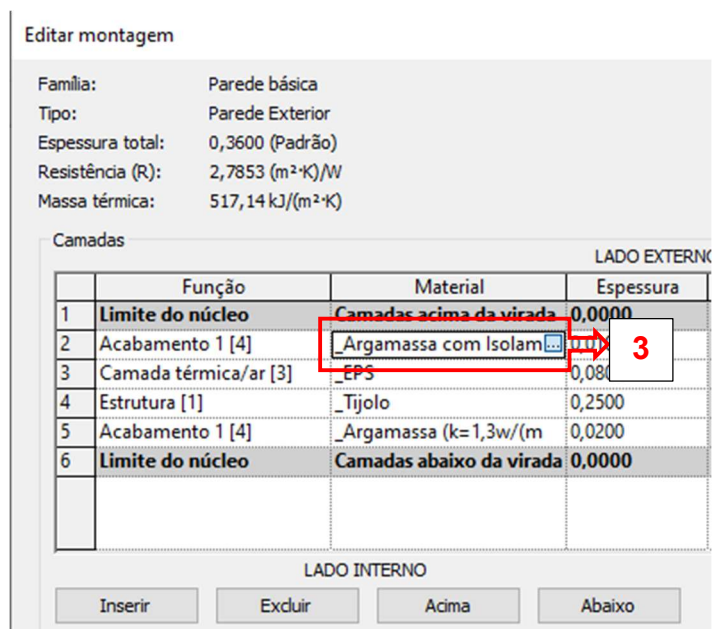


Figura 16 – Editar material.
Fonte: A Autora.

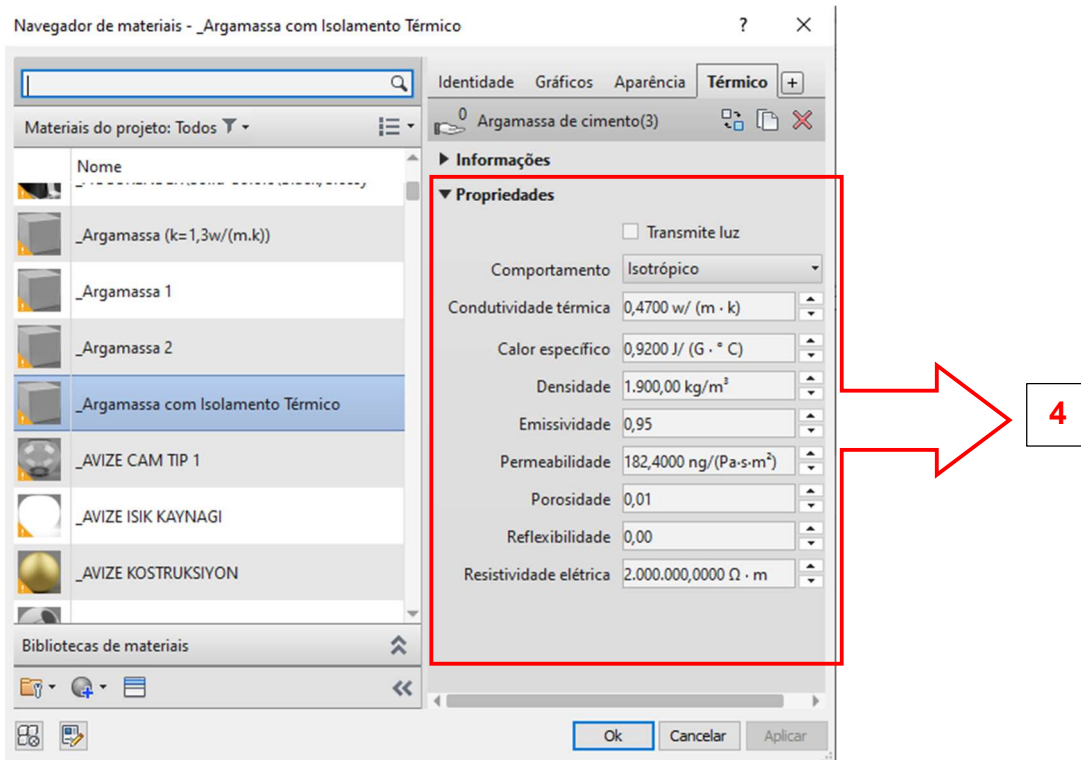


Figura 17 – Atribuir propriedades térmicas.
Fonte: A Autora.

Com isso, o próprio Revit gera tabelas com os resultados térmicos, de resistência térmica, coeficiente de transmissão de calor e massa térmica, como mostra a Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Propriedades térmicas das paredes.

<Propriedades térmicas das paredes>						
A	B	C	D	E	F	G
Função	Tipo	Material: Nome	Espessura Parede	Coef. de transferência de calor	Resistência térmica	Massa térmica
Parede Exterior						
Exterior	Parede Exterior	1. Argamassa com Isolamento Térmico	0,36 m	0,3420 W/(m²·K)	2,92 (m²·K)/W	501 kJ/(m²·K)
Exterior	Parede Exterior	2. Placa de EPS	0,36 m	0,3420 W/(m²·K)	2,92 (m²·K)/W	501 kJ/(m²·K)
Exterior	Parede Exterior	3. Tijolo	0,36 m	0,3420 W/(m²·K)	2,92 (m²·K)/W	501 kJ/(m²·K)
Exterior	Parede Exterior	4. Argamassa	0,36 m	0,3420 W/(m²·K)	2,92 (m²·K)/W	501 kJ/(m²·K)
Parede Sala/Garagem						
Interior	Parede Sala/Garagem	1. Argamassa com Isolamento Térmico	0,26 m	0,4038 W/(m²·K)	2,48 (m²·K)/W	333 kJ/(m²·K)
Interior	Parede Sala/Garagem	2. Placa de EPS	0,26 m	0,4038 W/(m²·K)	2,48 (m²·K)/W	333 kJ/(m²·K)
Interior	Parede Sala/Garagem	3. Tijolo	0,26 m	0,4038 W/(m²·K)	2,48 (m²·K)/W	333 kJ/(m²·K)
Interior	Parede Sala/Garagem	4. Argamassa	0,26 m	0,4038 W/(m²·K)	2,48 (m²·K)/W	333 kJ/(m²·K)

Fonte: A Autora.

Por fim, a localização do edifício pode ser facilmente alterada, para a cidade de Bragança, em Portugal, local para qual serão realizadas as primeiras simulações.

É importante salientar nessa fase, sobre como o Revit agrega informações às soluções construtivas: as alterações realizadas em qualquer dimensão fazem com que automaticamente seja alterado o parâmetro térmico.

3.4.2 Configurações de energia

Após designadas as propriedades térmicas de cada elemento, devem ser feitas algumas configurações para a análise energética, dentre elas há a inserção de espaços analíticos nos ambientes existentes e configurações gerais do sistema.

Inicialmente, da mesma forma como são inseridos ambientes na planta baixa, foram inseridos espaços analíticos, pois a análise energética será feita de acordo com esses espaços, com suas áreas e volumes.

Em seguida, foram determinadas algumas configurações de energia, utilizando o modo de elementos de construção, já que não há massas conceituais no projeto, caso contrário, poderiam ser utilizadas as opções de massas conceituais e elementos de construção, ou espaços e ambientes. Essa definição é de extrema importância para controlar a geometria a ser utilizada para a análise.

Para a escolha de categoria para exportação, deve-se levar em conta que para o tipo Espaços, serão utilizados dados de nome e número de espaço, ocupação, iluminação, equipamento e zona. Caso seja configurado na categoria de Ambientes, utiliza-se apenas as informações de nome e número do objeto de espaço para o espaço analítico correspondente. Assim, para o estudo de caso em questão foi utilizado o modo de Espaços (Figura 18).

Além disso, o tipo de construção a ser projetado também pode ser configurado, nesse caso, é uma construção de uma residência unifamiliar. A partir disso, alguns valores no que diz respeito a iluminação, ocupação, troca de ar, ponto de aquecimento, ponto de resfriamento, etc. são preestabelecidos por esse template do próprio programa (Figura 19).

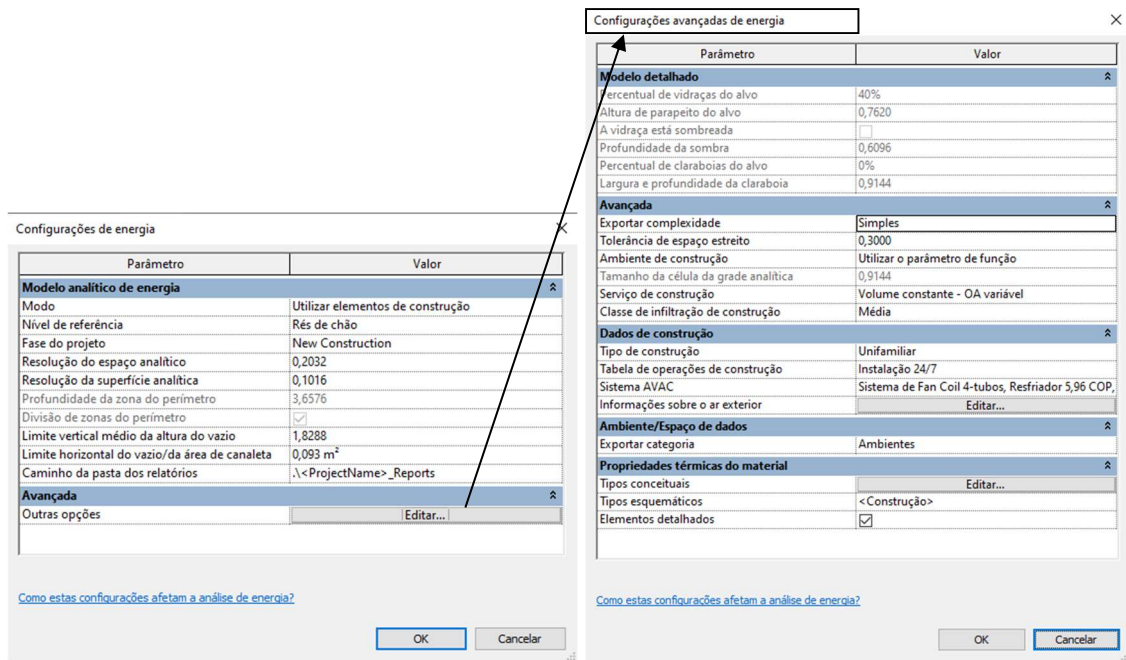


Figura 18 – Configurações das instalações mecânicas.
Fonte: A autora.

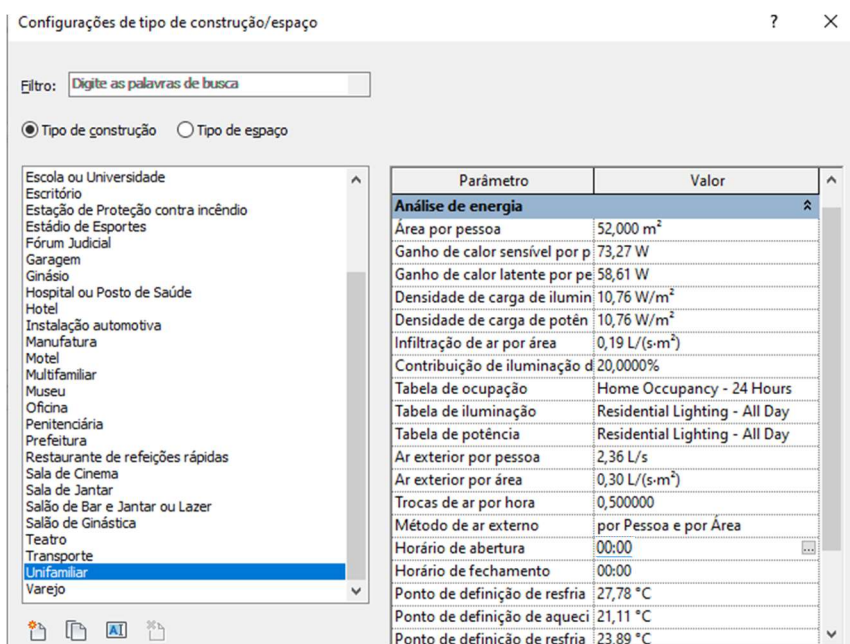


Figura 19 – Configurações do tipo de construção/espço.
Fonte: A Autora.

De forma geral, as definições dos parâmetros de energia proporcionam um modelo energético inicial e básico, que pode ser personalizado conforme as necessidades específicas de projeto.

Abaixo, o modelo analítico obtido a partir dessas configurações (Figura 20).

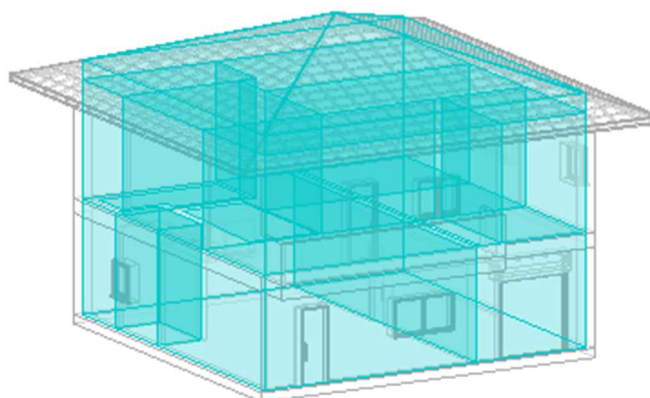


Figura 20 – Modelo analítico – Projeto Revit.
Fonte: A autora.

No Revit, as simulações foram feitas através do plug-in do EnergyPlus, um programa aprovado pelo método BESTEST da Standard 140, que simula o desempenho energético e térmico dos edifícios com sistemas relevantes para o seu desempenho, como de climatização, iluminação, cargas internas, propriedades térmicas de materiais e outros elementos que participam das trocas térmicas.

3.5 MODELAGEM NO DESIGNBUILDER

3.5.1 Interface e configurações iniciais DesignBuilder

Assim como o Revit, o DesignBuilder possui uma interface intuitiva de se utilizar. Na Figura 21 abaixo é apresentada a interface gráfica desse software: à esquerda, Barra de Navegação, à direita, informações e ajuda, na barra superior, configurações construtivas de projeto, e na barra inferior, opções de simulações. Já na Figura 22 é apresentada a área onde se encontram disponíveis alguns templates pré-definidos para usar em projeto, antes mesmo de se iniciar a projeção do modelo.

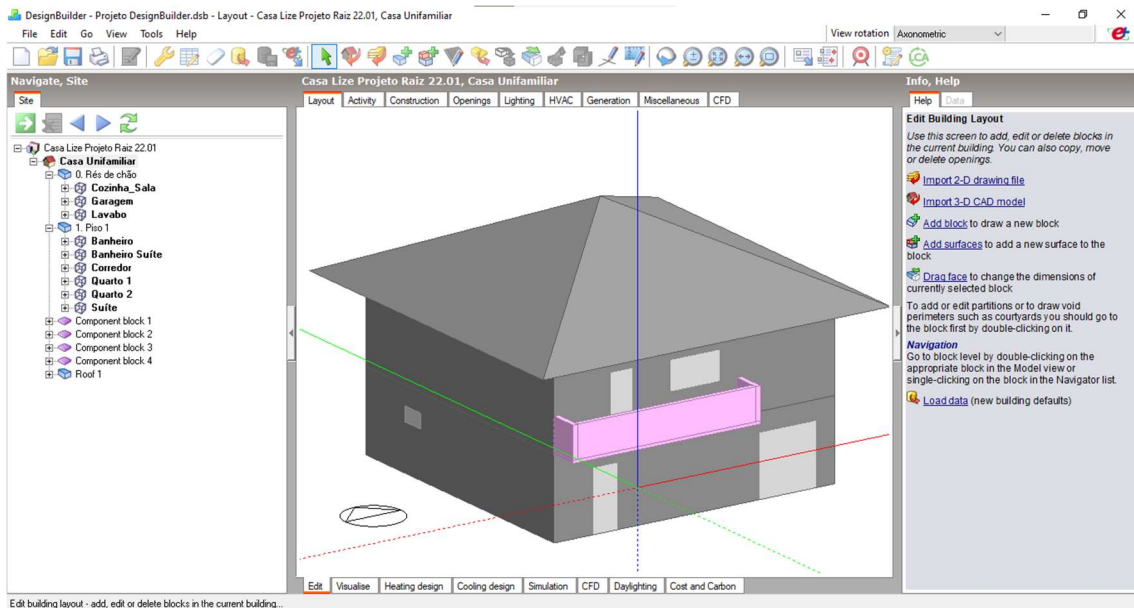


Figura 21 – Interface do DesignBuilder.
Fonte: A autora.

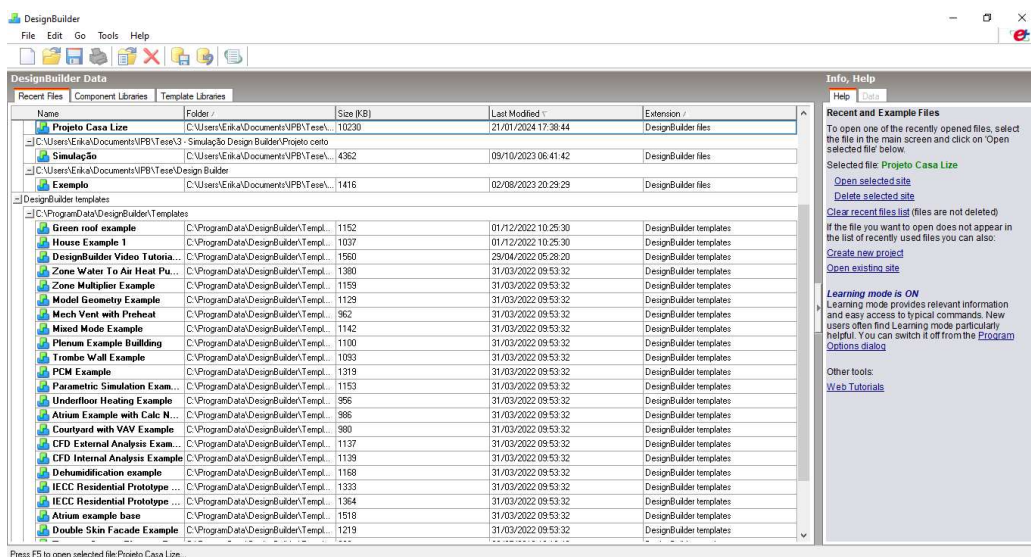


Figura 22 – Interface do DesignBuilder.
Fonte: A autora.

Ao criar um projeto, é possível configurar a localização do edifício, o que implicará nas características de temperatura e clima da região selecionada. Diferentemente do Revit, que usa um banco de dados para cada cidade, no DesignBuilder, podem ser inseridos arquivos climáticos atuais do tipo EPW.

3.5.2 Modelagem

Com as configurações iniciais definidas, é possível iniciar a modelagem do edifício, adicionando um novo bloco.

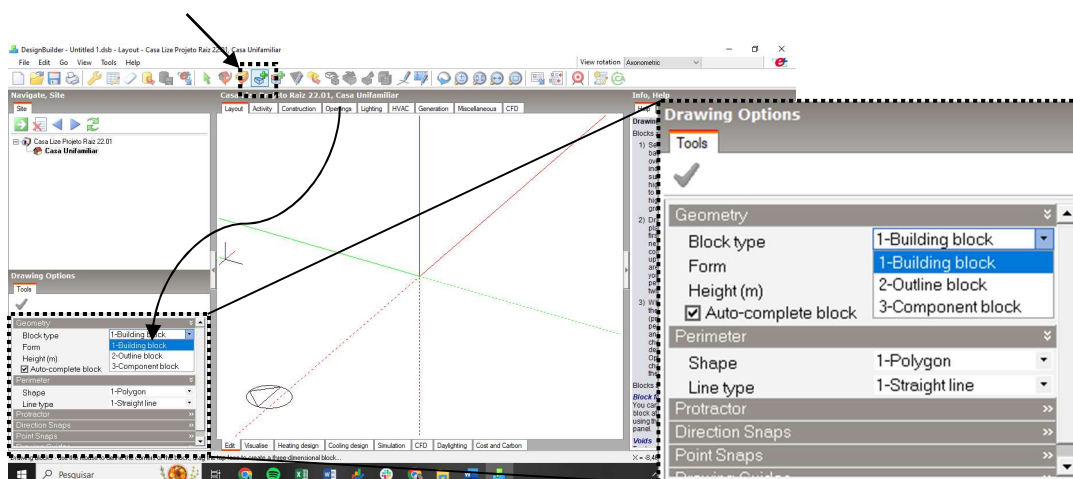


Figura 23 – Construindo novo Bloco.
Fonte: A autora.

Block Type:

- *Building Block*: Criar edificações, estradas, com informações já inseridas.
- *Outline Block*: Não possui características iniciais, podendo vir a ser um Building Block posteriormente.
- *Component Block*: Utilizado para inserir componentes de sombreamento, brises, árvores, etc.

Utilizando então o *Building Block*, é possível criar o bloco base do tamanho do edifício, e após isso inserir portas e janelas. Automaticamente o programa entende que há a inserção de piso e teto. Na Figura 24 abaixo mostra o pavimento térreo modelado no seu exterior, e no painel de navegação à esquerda é possível verificar que é atribuído a cada parede os elementos que foram inseridos, além do teto e piso, que não foram necessários serem inseridos manualmente para este caso.

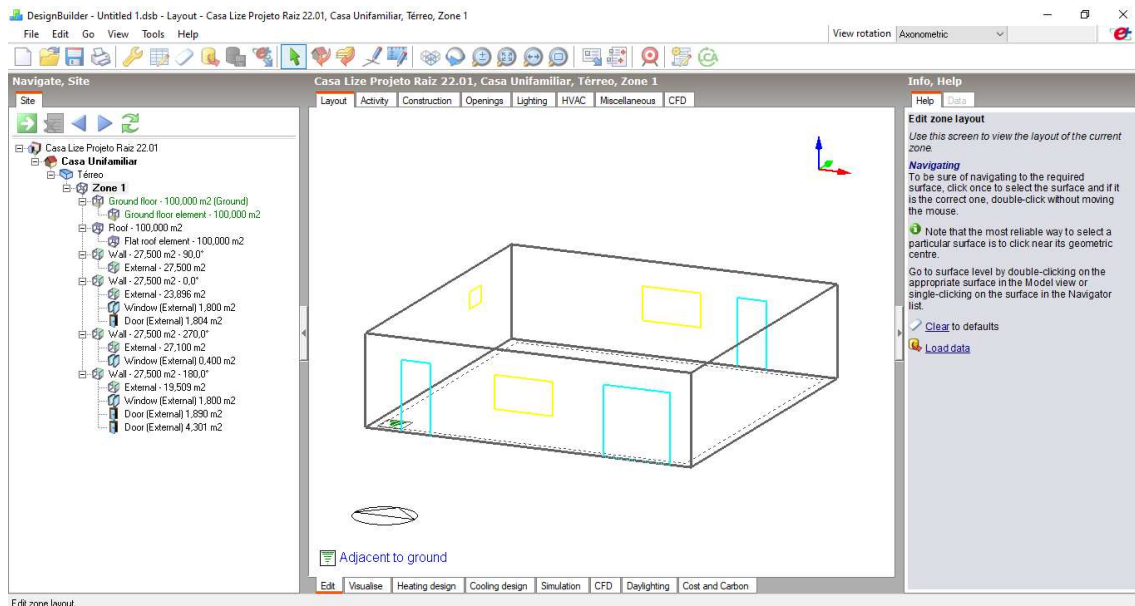


Figura 24 – Térreo modelado.
Fonte: A autora.

Para fazer as divisões internas em cada pavimento, é utilizada a opção de “*Draw Partitions*”, pelo qual serão criadas as várias zonas de projeto.

O mesmo processo de modelagem feito no Pavimento Térreo (Rés de chão), foi feito no Piso 1, inserindo janelas, portas, e divisões internas.

- Pavimento Térreo Tese
- Piso Garagem/Piso 1 Tese
- Piso 1/Garagem
- Parede Sala/Garagem TESE
- Parede Exterior
- Parede interna
- Porta Externa Tese
- Project external door
- Cobertura
- Telhado
- Forro beiral
- Janelas externas Tese
- Janela 3 Tese
- Janela 4 Tese

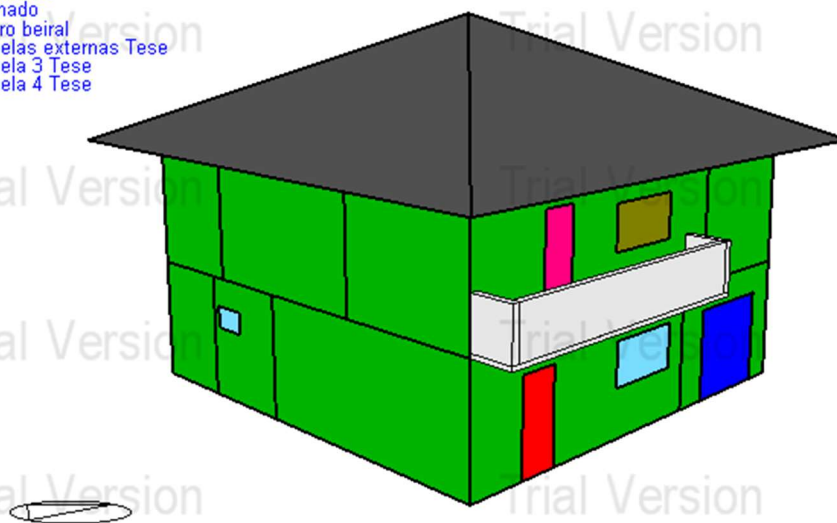


Figura 25 – Visualização do projeto modelado.
Fonte: A autora.

3.5.3 Propriedades térmicas dos componentes de construção

Inicialmente foi modelado o edifício no DesignBuilder com as mesmas medidas do projeto base, e do projeto feito em Revit. A seguir foram atribuídas as camadas e características de cada componente da construção.

Com os mesmos elementos construtivos padrão, além de configurações de ocupação, iluminação e equipamentos padrão, definidos anteriormente, e já aplicados ao Revit, o edifício foi configurado no DesignBuilder. A partir disso já é possível obter valores de resistência térmica e coeficiente de transmissão de calor.

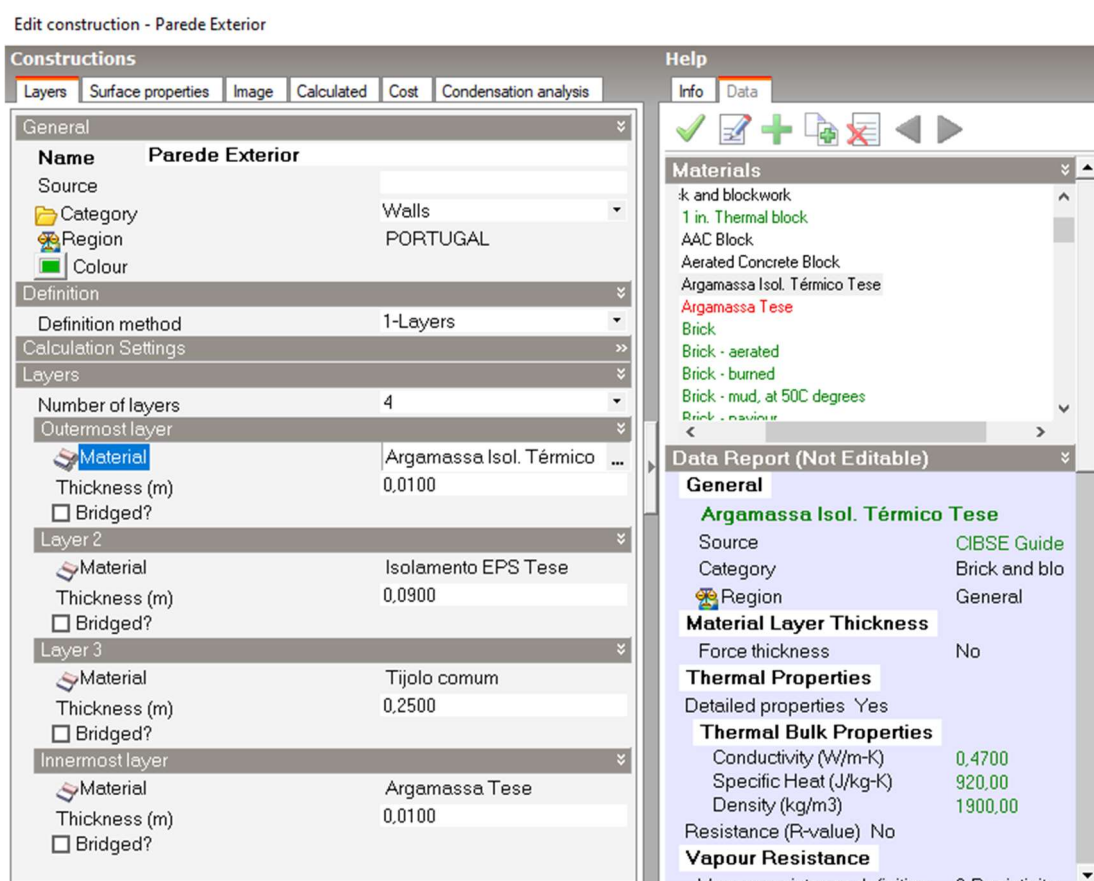


Figura 26 – Configurações de camadas dos elementos.
Fonte: A autora.

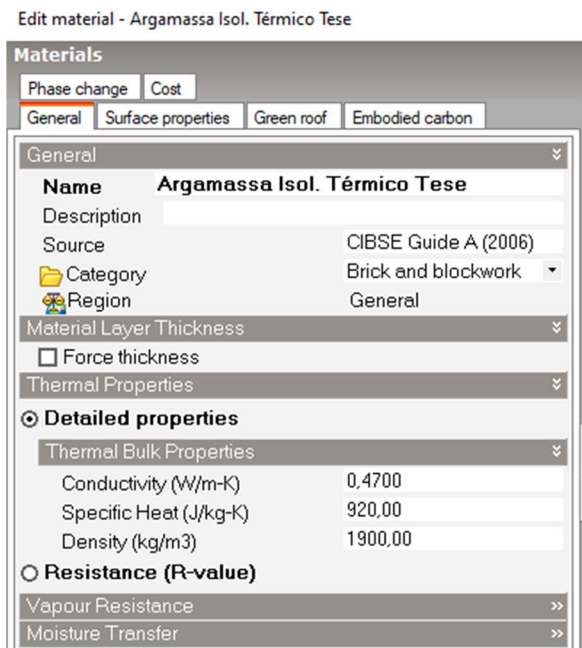


Figura 27 – Configurações dos materiais.
Fonte: A autora.

No DesignBuilder as simulações também são realizadas através do EnergyPlus, como já apresentado anteriormente.

3.6 DO REVIT AO DESIGNBUILDER

3.6.1 Configurações de exportação do Revit

Para realizar a simulação através do Revit/DesignBuilder, foi utilizado o projeto arquitetônico modelado em Revit. Para tanto o edifício sofreu alteração no seu Piso entre o Rés de chão e Piso 1, sendo retirada a abertura da escada. Isso porque a exportação apresentava erros ao exportar com essa abertura, pois colocando linhas de separação de ambientes, criava-se vãos no modelo analítico, e sem as linhas de separação, o ambiente da cozinha/sala de estar acabava por se integrar a zona do corredor.

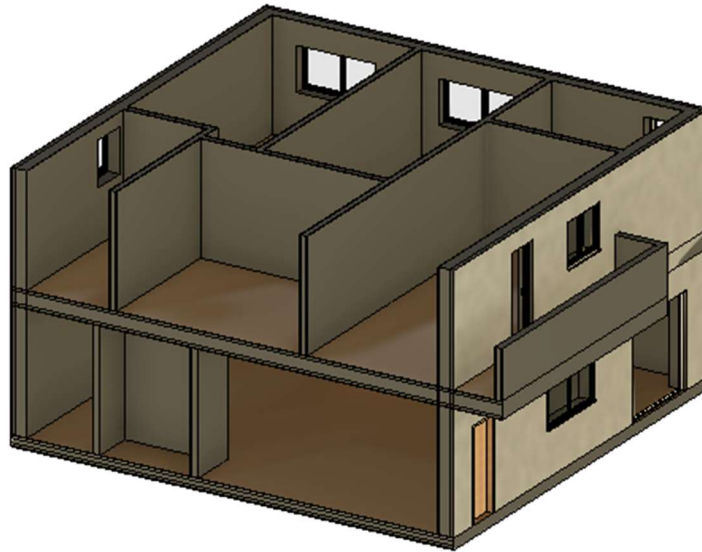


Figura 28 – Edifício modificado em Revit - piso.
Fonte: A autora.

Além disso foram mantidos os espaços para todos os ambientes. Assim foi possível exportar o arquivo gbXML, utilizando elementos de construção, o que permite exportar os dados dos elementos estruturais.

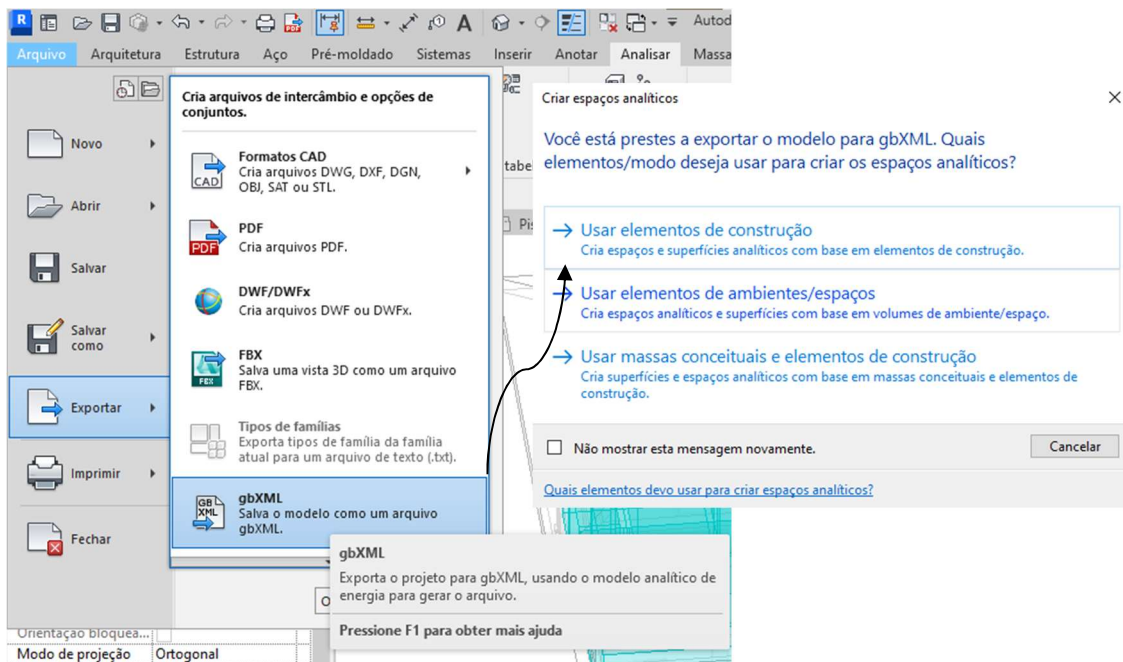


Figura 29 – Exportação de arquivo para gbXML.
Fonte: A autora.

3.6.2 Configurações de importação do Revit

Após exportar o arquivo gbXML no Revit, facilmente ele pode ser importado para o DesignBuilder (Figura 30).

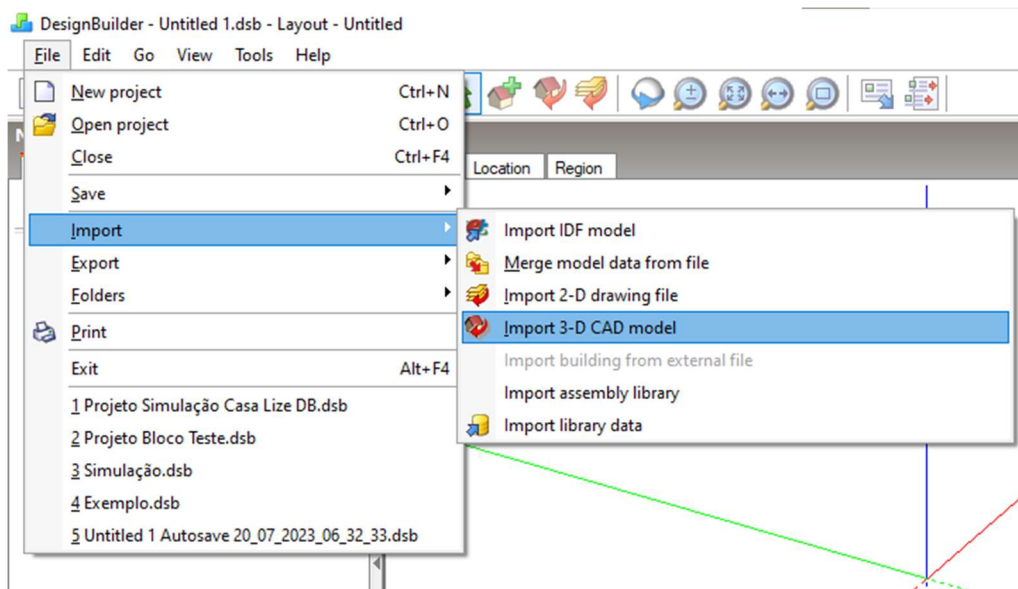


Figura 30 – Importação de arquivo gbXML no DesignBuilder.
Fonte: A autora.

Após esse procedimento, tanto os elementos de construção, quanto os espaços e propriedades térmicas, são importados, como mostra na Figura 31 abaixo.

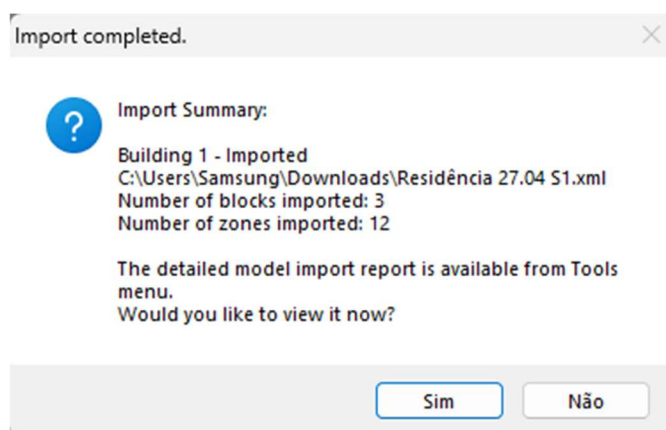


Figura 31 – Blocos e zonas importados para o DesignBuilder.
Fonte: A autora.

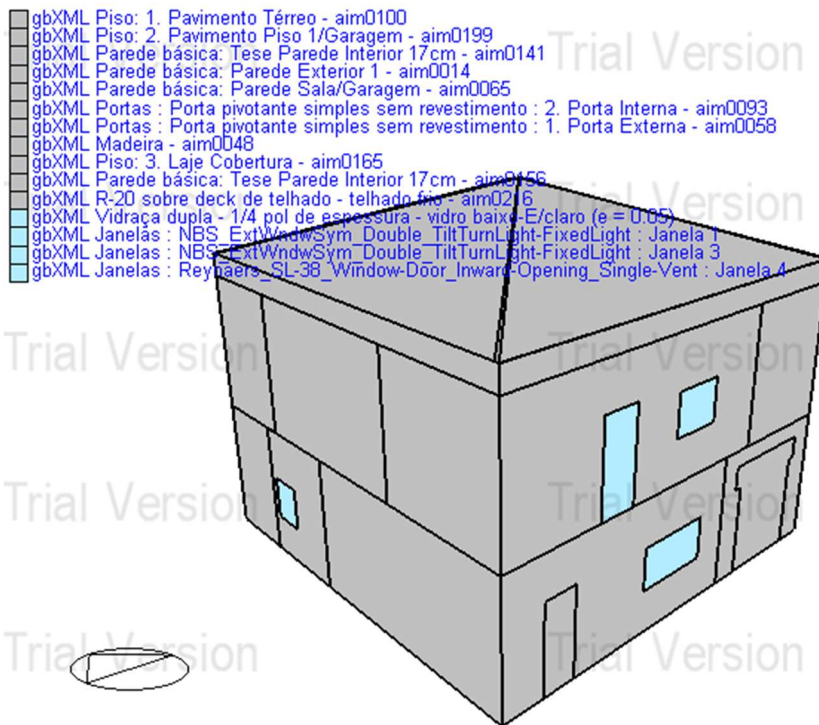


Figura 32 – Modelo gbXML importado para DesignBuilder.
 Fonte: A autora

Por fim, foi necessário configurar o tipo de zona para a cobertura, considerado como plenum, ou seja, sem ventilação e sem ocupação.

3.6.3 Erros de exportação/importação

Algumas tentativas de exportar o arquivo gbXML por meio de “elementos de construção” mostrando as falhas das zonas térmicas criadas, com espaços abertos, acarretando resultados sem precisão.

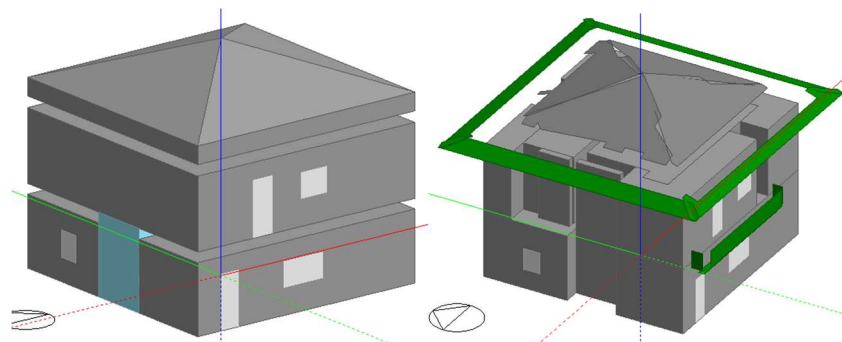


Figura 33 – Modelos analíticos com erros de configuração de exportação.
 Fonte: A Autora.

Outro erro que ocorreu durante o processo de exportação/importação foi em relação a laje acima do lavabo, que foi dividida, e uma parte dela foi importada com as características corretas, e em outra parte, ficou sem definição, gerando a mensagem que apresenta uma “*invalid construction*”.

Para resolver esse problema, foi necessário selecionar essa parte da laje e atribuir as propriedades igualmente das outras partes.

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Antes de mostrar os resultados, é importante explicar a identificação das simulações que foram realizadas ao longo do trabalho, com o seguinte sistema de nomenclatura:

YSX

Em que,

Y=Projeto em que aquela simulação foi feita, podendo vir a ser 1, para simulações no Revit, 2 para simulações no DesignBuilder ou 3, para simulações do projeto Revit/DesignBuilder;

S=Simulação;

X=Número da simulação realizada, com um cenário específico (apresentado em cada caso).

Por exemplo, a simulação 1S2, é a simulação realizada no programa Revit, com as características da situação 2.

4.1 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL

Após inseridas as propriedades térmicas no Revit, obtiveram-se valores para a resistência térmica total, diferentes dos valores obtidos através do DesignBuilder. Isso se deve ao fato de que o Revit não leva em consideração as resistências térmicas superficiais (interior e exterior), resultantes dos fenômenos de convecção e direção do fluxo de calor. Esses valores são tabelados, conforme Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Resistências térmicas superficiais.

Sentido do Fluxo de calor		Resistência Térmica [(m ² .°C)/W]	
		Exterior <i>R_{se}</i>	Interior ou face exterior em contacto com ENU <i>R_{si}</i>
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente		0,17

Fonte: Manual SCE, 2020 [69].

Dessa forma, o coeficiente de transmissão térmica é alterado também, pois é calculado conforme a fórmula a seguir:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

Em que:

R_{si} = Resistência térmica interior, [(m².°C)/W];

R_{se} = Resistência térmica exterior, [(m².°C)/W];

R_j = Resistência térmica da camada *j*, [(m².°C)/W].

Além disso, ao exportar o arquivo gbXML do Revit, o programa considerou também apenas a resistência, sem os valores de resistências superficiais, e ao importar esses valores, o próprio DesignBuilder acrescentou a resistência térmica superficial das camadas. Os valores finais obtidos foram ainda diferentes do projeto feito diretamente no DesignBuilder, pois foram consideradas designações diferentes para as envolventes, em alguns elementos construtivos e, portanto, com um sentido de fluxo de calor diferente também.

A Tabela 7 abaixo mostra os respectivos valores da resistência térmica e coeficiente de transferência de calor para os elementos estruturais e vãos opacos, tanto em Revit e DesignBuilder, como no projeto Revit/DesignBuilder. Além disso foi verificado manualmente a diferença das resistências, quanto a ausência de resistência superficial na resistência total no Revit, apresentando-se a correção da mesma, no intuito de verificar se de fato, era isso que estava ocorrendo.

Tabela 7 – Valores de Resistência térmica do Revit e DesignBuilder.

ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	PROJETO EM ESTUDO REVIT					PROJETO EM ESTUDO DESIGNBUILDER		PROJETO EM ESTUDO REVIT/DESIGNBUILDER	
	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)	R _{se} +R _{si}	R _{corrigido} (m ² .K)/W	U _{corrigido} W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Parede exterior	2,92	0,34	0,17	3,09	0,32	3,09	0,32	3,09	0,32
Parede interior sala/garagem	2,48	0,40	0,26	2,74	0,37	2,74	0,37	2,65	2,38
Pavimento piso 1/garagem	2,04	0,49	0,27	2,31	0,43	2,31	0,43	2,21	0,45
Pavimento piso 1/cobertura	3,45	0,29	0,27	3,72	0,27	3,72	0,27	3,62	0,27
Pavimento térreo	1,90	0,53	0,21	2,11	0,47	2,11	0,47	2,07	0,48
VÃOS OPACOS	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)	R _{se} +R _{si}	R _{corrigido} (m ² .K)/W	U _{corrigido} W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
Porta fachada (externa)	0,50	1,9900	0,17	0,67	1,49	0,67	1,49	0,67	1,49
Porta sala /garagem(interna)	0,41	2,41	0,17	0,58	1,71	0,58	1,72	0,58	1,71
VÃOS ENVIDRAÇADOS	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)				R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W	U W/(m ² .K)
J1 e J2	0,45	2,2000	-	-	-	-	2,20	-	2,20
J3 (Janela varanda)	0,48	2,1000	-	-	-	-	2,10	-	2,10
J4 (Porta varanda)	0,43	2,3000	-	-	-	-	2,30	-	2,30

Fonte: Autora.

Na Tabela 8 são apresentadas as diferenças de valores entre o Revit e o DesignBuilder. Logo percebe-se que essa diferença se dá justamente pela soma das resistências superficiais, que após somadas à resistência inicial obtida no Revit, resultam em valores semelhantes aos obtidos no DesignBuilder, bem como os valores de coeficiente de transferência de calor. Um exemplo disso é a parede exterior, que no Revit foi encontrado um valor de 2,92(m².K)/W para a resistência, e somando-se isso à 0,17(m².K)/W (fluxo de calor horizontal), obtêm-se 3,09(m².K)/W, justamente o valor calculado pelo DesignBuilder.

Tabela 8 – Diferenças entre as resistências térmicas obtidas no Revit e DesignBuilder.

	ΔR
Parede exterior	-0,17
Parede interior sala/garagem	-0,26
Pavimento piso 1/garagem	-0,27
Pavimento piso 1/cobertura	-0,06
Pavimento térreo	-0,21
Porta fachada	-0,17
Porta sala/garagem	-0,17

Fonte: Autora.

Assim, a diferença no cálculo da resistência térmica total nos elementos construtivos acaba por influenciar o resultado final do desempenho energético, pois apesar de ter sido corrigido manualmente, não foi corrigido em projeto. Isso implicaria alterar propriedades térmicas ou espessura das camadas dos elementos, para alcançar o valor desejado da resistência,

4.2 CÁLCULO DAS ZONAS TÉRMICAS

Na plataforma Revit, ao modelar o edifício, pode ser configurado o modo como as áreas e volumes serão calculados, sendo possível optar pela delimitação pelo acabamento da parede, no centro da parede, na camada do núcleo da parede ou no centro do núcleo da parede (Figura 34). Porém o mesmo não acontece para a delimitação das zonas térmicas, que automaticamente são criadas a partir do centro do núcleo da parede, não sendo possível a alteração.

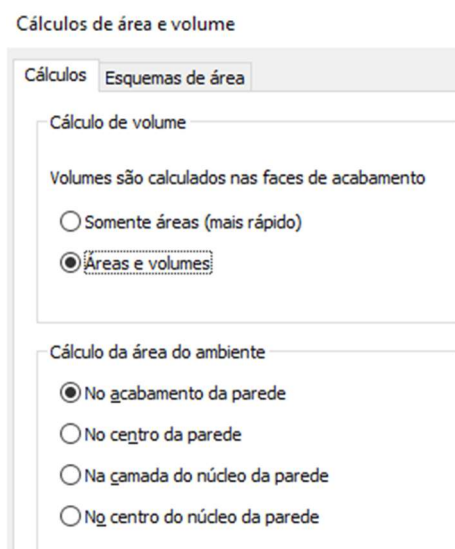


Figura 34 – Cálculo de área e volume Revit.
Fonte: Autora.

Em contrapartida, no DesignBuilder, essa configuração é possível, através da alteração em “Construction”, da “Zone volume calculations”, apenas com as opções de delimitação pela geometria interna ou externa.

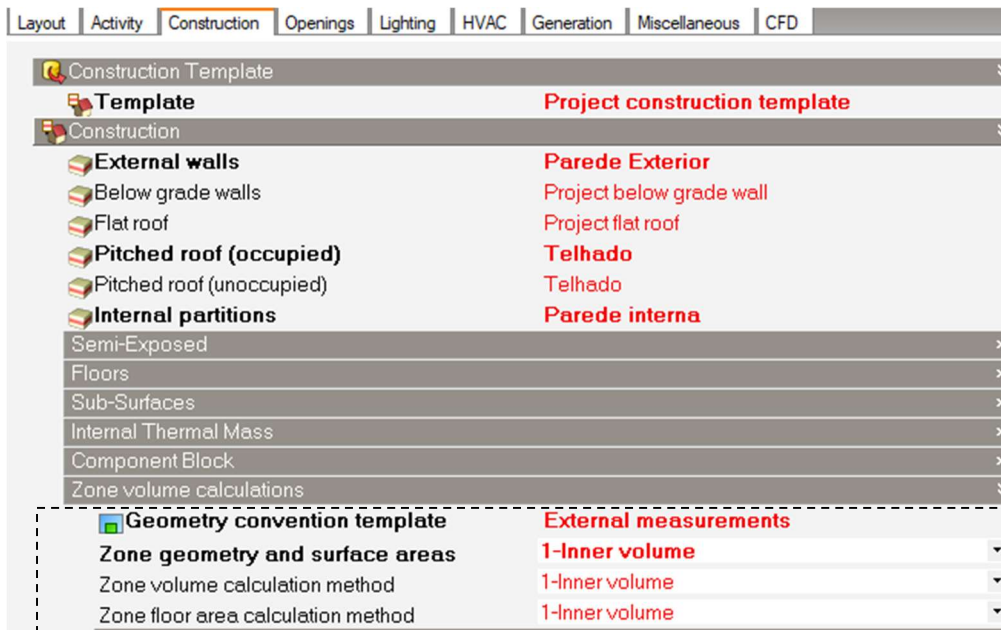


Figura 35 – Cálculo de área e volume DesignBuilder.
Fonte: Autora.

Dessa forma, enquanto o Revit calcula a área da zona térmica pelo centro do Núcleo da parede, o DesignBuilder calcula pela geometria interna da zona (definido pelo usuário), causando uma pequena diferença entre áreas. Além disso, no projeto Revit/DesignBuilder, apesar da importação do arquivo gbXML no DesignBuilder, as áreas são calculadas pela geometria interna também, se assemelhando muito ao projeto modelado no próprio programa.

Outra diferença especificamente para esse projeto, perceptível através do modelo analítico do Revit, é que a zona da Cozinha/Sala e o corredor acabaram integrando-se, como na Figura 36 abaixo, por meio de um erro de leitura dos ambientes inseridos anteriormente no Revit.

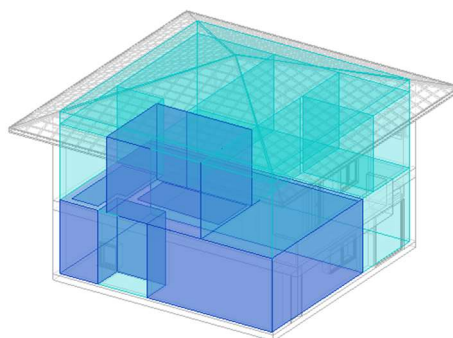


Figura 36 – Modelo analítico em Revit – cozinha/sala e corredor.
Fonte: A Autora.

Na Tabela 9 abaixo são apresentadas as áreas obtidas a partir de cada projeto, em que é possível ver diferenças maiores entre o projeto do Revit e DesignBuilder. Como também a cozinha/sala e corredor foram integrados, encontrou-se uma área única para essa zona no Revit, de 60,60m².

Tabela 9 – Áreas das zonas térmicas em cada projeto.

ÁREAS DAS ZONAS TÉRMICAS/PROJETO			
Ambiente	REVIT	DESIGNBUILDER	INTEROPERABILIDADE
Cozinha/Sala		52,99 m ²	52,99 m ²
Garagem	31,82 m ²	27,75 m ²	27,76 m ²
Lavabo	2,96 m ²	2,20 m ²	2,19 m ²
Banheiro	5,18 m ²	6,95 m ²	6,94 m ²
Banheiro Suíte	8,11 m ²	6,66 m ²	6,66 m ²
Corredor		13,52 m ²	13,49 m ²
Quarto 1	18,76 m ²	17,72 m ²	17,74 m ²
Quarto 2	16,86 m ²	16,26 m ²	16,27 m ²
Suíte	21,63 m ²	20,26 m ²	20,26 m ²
Cozinha/Sala/Corredor	60,60 m ²		

Fonte: A Autora.

Ainda, notou-se que essa área de 60,60m², obtida através do relatório de análise gerado pelo Revit, é diferente da dimensão obtida na própria plataforma, de 67,97m².

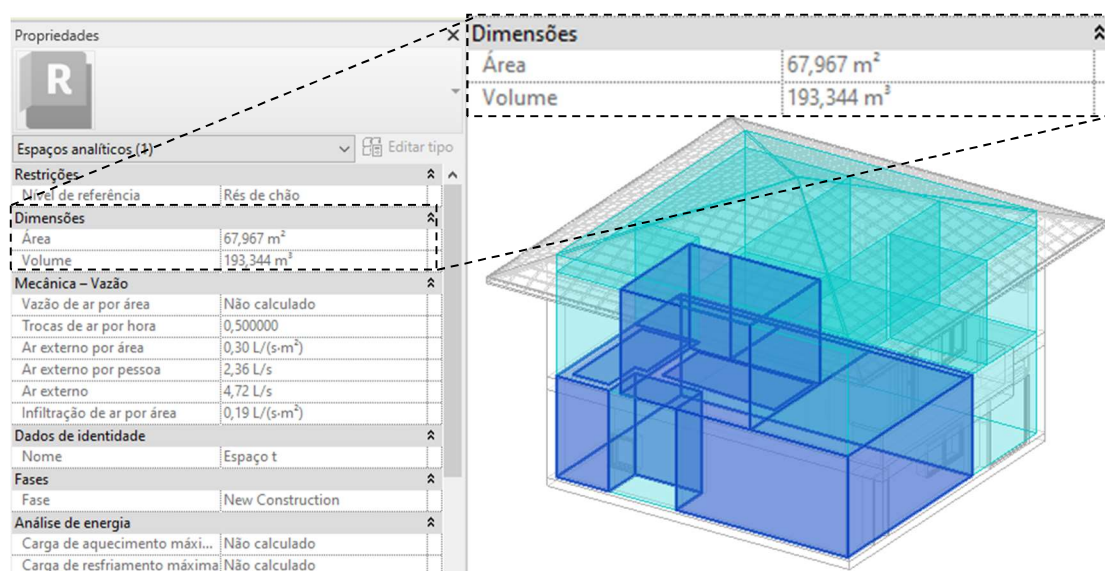


Figura 37 – Dimensão da área da zona da cozinha/sala/corredor em Revit.

Fonte: A Autora.

Assim, a área sendo um valor base para os cálculos de energia, a consequência direta é de que os resultados das simulações do consumo energético tendem a ser diferentes.

No Anexo III estão apresentados os resultados das simulações feitas com todos os equipamentos, para os três projetos, e no Anexo II estão listadas as características de cada sistema AVAC do Revit.

4.3 SISTEMA AVAC

Nas configurações de análise energética do Revit, existem alguns templates de equipamentos mecânicos preestabelecidos para uso, os quais foram utilizados para essas simulações. Não é possível realizar alterações nesses templates do Revit, ou ainda, realizar a análise com nenhum desses sistemas. Por isso, optou-se por realizar as simulações em Revit com cada um desses sistemas, e realizar as simulações no DesignBuilder com seus próprios templates existentes também.

Para o Revit, isso acaba sendo uma característica delimitadora para a análise energética, estando condicionada a utilização exclusiva dos sistemas disponíveis no software.

No caso do projeto de Revit/DesignBuilder, mesmo que seja obrigatório a escolha de um sistema AVAC em Revit, na exportação para gbXML essas características não são levadas em consideração, portanto sendo utilizados apenas os sistemas do próprio DesignBuilder para simular o arquivo importado.

Para essas simulações considerou-se a localização de Bragança, com orientação solar da fachada principal voltada ao sul, e com as demais configurações de energia e elementos construtivos com as mesmas definições do que foi apresentado anteriormente.

Inicialmente, através desses sistemas obteve-se a situação de maior consumo energético médio anual do edifício no Revit, que foi a Distribuição de ar abaixo do piso, com 332,72kWh/m²/ano, e de menor consumo a Bomba de aquecimento de terminal compacto, com 250,88kWh/m²/ano.

Já no DesignBuilder e no projeto de Revit/DesignBuilder, obtiveram-se 9 sistemas que tiveram menor impacto, com 188,67kWh/m²/ano e 188,58

kWh/m²/ano, para os respectivos projetos. O sistema *Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling* foi o que teve maior impacto, com 291,37 kWh/m²/ano e 299,43 kWh/m²/ano, para o projeto no DesignBuilder e o projeto de Revit/DesignBuilder, respectivamente.

Após obter esses valores, foi criado um sistema AVAC no DesignBuilder, semelhante ao *Sistema Fan Coil 4-Tubos*, da simulação 1S8 (Tabela 10), por ter semelhanças técnicas e resultado de consumo energético médio próximo. As alterações realizadas foram no modo de operação, configurado para 24h/7 dias, com aquecimento elétrico, *supply air temperature heating* de 40°C, e *minimum supply air temperature* de 14°C. Assim, os valores resultantes foram de 300,27 kWh/m²/ano para o DesignBuilder e 300,52 kWh/m²/ano para o projeto de Revit/DesignBuilder, valores muito semelhantes ao valor de 306,22 kWh/m²/ano obtido em Revit.

Tabela 10 – Consumo energético médio anual – simulação de sistema AVAC.

SISTEMAS AVAC		Consumo energético médio (kWh/m ² /year)			
Simul.	Sistema AVAC - Template Revit	Revit			
1S3	Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF	250,88			
1S8	Sistema de Fan Coil 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efic. 84,5	306,22			
1S11	Distribuição de ar abaixo do piso	332,72			
Simul.	Sistema AVAC - Template DesignBuilder	DesignBuilder		Revit/DesignBuilde	
S1	Nenhum	2S1	188,67	3S1	188,58
S7	CAV, Gas Heating	2S7	188,67	3S7	188,58
S17	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling	2S17	291,97	3S17	299,43
S24	Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent	2S24	188,67	3S24	188,58
S25	Heated floor, Solar Assisted Boiler HW, Nat Vent	2S25	188,67	3S25	188,58
S26	Heating and Ventilation Ducted Supply + Extract	2S26	188,67	3S26	188,58
S27	HW Convectors, Nat Vent	2S27	188,67	3S27	188,58
S28	Natural Ventilation - No Heating/Cooling	2S28	188,67	3S28	188,58
S33	Radiator heating, Boiler HW, Mech vent Supply + Extract	2S33	188,67	3S33	188,58
S35	Radiator heating, Boiler HW, Nat Vent	2S35	188,67	3S35	188,58
S56	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C	2S56	300,27	3S56	300,52

Fonte: A autora.

Os demais sistemas utilizados em cada programa, juntamente com os resultados de consumo energético médio anual, estão apresentados nos Anexos 3 e 4.

4.4 ORIENTAÇÃO SOLAR

Adotando o sistema *Fan Coil 4-Tubos* e mantendo as propriedades térmicas dos elementos construtivos, foram simuladas as diferentes orientações para a fachada principal em relação ao sol.

Tabela 11 – Simulação da Orientação Solar em Revit.

PROJETO EM ESTUDO REVIT						
S i m u l a ç ã o	ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo				
	VÃOS OPACOS					
	VÃOS ENVIDRAÇADOS					
	SISTEMA AVAC	Sistema de Fan Coil 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efíc. 84,5				
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Consumo energético médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	
1S8	Sul (Condição inicial)	306,22	22797,22	-	113,89	-
1S13	Sudeste	310,42	22241,67	-2,44%	136,11	19,51%
1S14	Leste	301,27	21619,44	-5,17%	144,44	26,82%
1S15	Nordeste	312,82	21333,33	-6,42%	136,11	19,51%
1S16	Norte	304,75	21563,89	-5,41%	105,56	-7,31%
1S17	Noroeste	317,56	22458,33	-1,49%	97,22	-14,64%
1S18	Oeste	307,28	23105,56	1,35%	97,22	-14,64%
1S19	Sudoeste	313,17	23366,67	2,50%	105,56	-7,31%
	ΔMáx.-Mín.	16,29				

Fonte: A autora.

Para simular a orientação solar do edifício no DesignBuilder (Tabela 12), utilizou-se a configuração de “*Site orientation*”, na aba de “*Location*”. O mesmo foi realizado para o projeto Revit/DesignBuilder (Tabela 13).

Tabela 12 – Simulação da Orientação Solar no DesignBuilder.

PROJETO EM ESTUDO DESIGNBUILDER							
S i m u l a ç ã o	ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo					
	VÃOS OPACOS						
	VÃOS ENVIDRAÇADOS						
	SISTEMA AVAC	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C					
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	
2S56	Sul (0°, condição inicial)	49334,60	300,27	18184,97	-	151,83	-
2S57	Sudeste (315°)	48908,11	297,68	17721,87	-2,55%	188,44	24,11%
2S58	Leste (270°)	48489,79	295,13	17282,40	-4,96%	209,58	38,04%
2S59	Nordeste (225°)	48297,98	293,96	17092,35	-6,01%	207,82	36,88%
2S60	Norte (180°)	48509,71	295,25	17334,32	-4,68%	177,60	16,97%
2S61	Noroeste (135°)	49269,38	299,87	18110,87	-0,41%	160,70	5,84%
2S62	Oeste (90°)	49787,58	303,03	18643,84	2,52%	145,94	-3,88%
2S63	Sudoeste (45°)	49907,07	303,76	18762,37	3,18%	143,90	-5,22%
		ΔMáx.-Mín.	9,79				

Fonte: A autora.

Tabela 13 – Simulação da Orientação Solar em Revit/DesignBuilder.

PROJETO EM ESTUDO REVIT/DESIGNBUILDER							
S i m u l a ç ã o	ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo					
	VÃOS OPACOS						
	VÃOS ENVIDRAÇADOS						
	SISTEMA AVAC	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C					
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	
3S56	Sul (0°, condição inicial)	49375,37	300,52	18184,97	-	151,83	-
3S57	Sudeste (315°)	49021,30	298,36	17600,85	-3,21%	436,29	187,35%
3S58	Leste (270°)	48504,41	295,22	17014,41	-6,44%	505,83	233,16%
3S59	Nordeste (225°)	48220,52	293,49	16709,19	-8,12%	527,17	247,21%
3S60	Norte (180°)	48253,00	293,69	16821,50	-7,50%	847,34	458,08%
3S61	Noroeste (135°)	49087,22	298,77	17699,46	-2,67%	403,60	165,82%
3S62	Oeste (90°)	49670,90	302,32	18336,06	0,83%	350,68	130,97%
3S63	Sudoeste (45°)	49920,39	303,84	18608,04	2,33%	328,19	116,16%
		ΔMáx.-Mín.	10,35				

Fonte: A autora.

4.5 PAREDES EXTERNAS

Na Tabela 14 abaixo, são apresentadas as 4 situações com as propostas de paredes exteriores, juntamente com suas propriedades térmicas.

Tabela 14 – Propriedades térmicas das paredes exteriores.

Paredes	CAMADAS E PROPRIEDADES TÉRMICAS					PROJETO EM ESTUDO REVIT			PROJETO EM ESTUDO DESIGNBUILDER		PROJETO EM ESTUDO REVIT/DESIGNBUILDER		
	Camada	Esp.	U	c	ρ	h	R	Massa Térmica	h	R	h	R	
		m	W/(m.k)	J/(G · ° C)	kg/m³								W/(m².K)
1S8	Parede 1 (Condição inicial)	Argamassa (isol. térmico)	0,01	0,47	0,92	1900	0,3420	2,92	501	0,3230	3,09	0,3230	3,09
		Placa de EPS	0,09	0,037	1,47	27							
		Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200							
		Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900							
1S20	Parede 2	Argamassa (isol. térmico)	0,01	0,47	0,92	1900	0,3420	2,92	501	0,3230	3,09	0,3230	3,09
		Placa de EPS	0,11	0,037	1,47	27							
		Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200							
		Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900							
1S21	Parede 3	Argamassa (isol. térmico)	0,01	0,47	0,92	1900	0,3420	2,92	501	0,3230	3,09	0,3230	3,09
		Placa de EPS	0,15	0,037	1,47	27							
		Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200							
		Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900							
1S22	Parede 4	Argamassa (isol. térmico)	0,01	0,47	0,92	1900	0,3420	2,92	501	0,3230	3,09	0,3230	3,09
		Placa de EPS	0,20	0,037	1,47	27							
		Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200							
		Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900							

Fonte: A autora.

A seguir foram realizadas as simulações para as três situações, no Revit, DesignBuilder e Revit/DesignBuilder

Tabela 15 – Simulação da Parede Externa em Revit.

Paredes	Camada	Esp. m	PROJETO EM ESTUDO REVIT					
			Consumo Energético Médio (kWh/m²/year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição		
S8	Parede 1 (Condição inicial)	Argamassa (isol. térmico)	306,22	22797,22	-	113,89	-	
		Placa de EPS						0,09
		Tijolo						0,25
		Argamassa						0,01
S20	Parede 2	Argamassa (isol. térmico)	304,94	23952,00	-	52,78	-	
		Placa de EPS						0,11
		Tijolo						0,25
		Argamassa						0,01
S21	Parede 3	Argamassa (isol. térmico)	299,14	24627,78	-	36,11	-	
		Placa de EPS						0,15
		Tijolo						0,25
		Argamassa						0,01
S22	Parede 4	Argamassa (isol. térmico)	291,14	25450,00	-	19,44	-	
		Placa de EPS						0,2
		Tijolo						0,25
		Argamassa						0,01

Fonte: A autora.

Tabela 16 – Simulação da Parede Externa no DesignBuilder.

S
i
m
u
l
a
ç
ã
o

PROJETO EM ESTUDO DESIGNBUILDER								
Paredes	Camada	Esp.	Consumo Total (kWh/year)	Consumo Energético Médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição	
		m						
S56 Parede 1 (Condição inicial)	Argamassa (isol. térmico)	0,01	49334,60	300,27	18184,97	-	151,83	-
	Placa de EPS	0,09						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S64 Parede 2	Argamassa (isol. térmico)	0,01	49367,77	300,47	18523,06	2%	119,32	-27%
	Placa de EPS	0,11						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S65 Parede 3	Argamassa (isol. térmico)	0,01	49158,66	299,20	18888,19	4%	86,28	-76%
	Placa de EPS	0,15						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S66 Parede 4	Argamassa (isol. térmico)	0,01	48614,59	295,89	19032,14	4%	68,04	-123%
	Placa de EPS	0,2						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						

Fonte: A autora.

Tabela 17 – Simulação da Parede Externa no Revit/DesignBuilder.

S
i
m
u
l
a
ç
ã
o

PROJETO EM ESTUDO REVIT/DESIGNBUILDER								
Paredes	Camada	Esp.	Consumo Total (kWh/year)	Consumo Energético Médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição		Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição	
		m						
S56 Parede 1 (Condição inicial)	Argamassa (isol. térmico)	0,01	49334,60	300,27	18046,54	-	344,66	-
	Placa de EPS	0,09						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S64 Parede 2	Argamassa (isol. térmico)	0,01	45082,48	274,39	16419,70	-10%	347,46	56%
	Placa de EPS	0,11						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S65 Parede 3	Argamassa (isol. térmico)	0,01	44818,75	272,79	16805,35	-7%	217,36	30%
	Placa de EPS	0,15						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						
S66 Parede 4	Argamassa (isol. térmico)	0,01	44280,00	269,51	16972,76	-6%	153,51	1%
	Placa de EPS	0,2						
	Tijolo	0,25						
	Argamassa	0,01						

Fonte: A autora.

4.6 LOCALIZAÇÃO

A última situação proposta, foi a alteração da localização do edifício, para além da cidade de Bragança, em Portugal, também em Coimbra, e Faro, outras duas cidades pertencentes à Portugal.

Para a simulação em Revit, DesignBuilder e Revit/DesignBuilder, as características base do projeto em estudo permaneceram, sendo utilizada a parede tipo 1, com o Sistema de Fan Coil 4-tubos, Resfriados 5,96 COP, caldeiras, e com a orientação principal da fachada voltada ao Sul, como mostram nas três tabelas abaixo.

Tabela 18 – Simulação da Localização em Revit.

PROJETO EM ESTUDO REVIT				
S i m u l a ç ã o	PISOS	Permanecem com as características base do projeto em estudo		
	VÃOS OPACOS			
	VÃOS ENVIDRAÇADOS			
	PAREDE EXTERNA	Parede 1		
	EQUIPAMENTOS	Sistema de Fan Coil 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efic. 84,5		
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul		
	LOCALIZAÇÃO	Consumo energético médio (kWh/m²/year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial
	1S8	Bragança/PT	306,22	22797,22
1S23	Coimbra/PT	316,73	22433,92	12,90
1S24	Faro/PT	355,21	27986,65	0,00
	ΔMáx.-Mín.	48,99		

Fonte: A autora.

Tabela 19 – Simulação da Localização no DesignBuilder.

PROJETO EM ESTUDO DESIGNBUILDER					
S i m u l a ç ã o	PISOS	Permanecem com as características base do projeto em estudo			
	VÃOS OPACOS				
	VÃOS ENVIDRAÇADOS				
	PAREDE EXTERNA				
	EQUIPAMENTOS	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C			
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul			
	LOCALIZAÇÃO	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial
	<u>2S56</u>	Bragança/PT	49334,60	300,27	18184,97
<u>2S67</u>	Coimbra/PT	54241,1	330,13	23238,89	4,40
<u>2S68</u>	Faro/PT	59508,04	362,19	28510,24	0,00
		ΔMáx.-Mín.	61,92		

Fonte: A autora.

Tabela 20 – Simulação da Localização no projeto de Revit/DesignBuilder.

PROJETO EM ESTUDO REVIT/DESIGNBUILDER					
S i m u l a ç ã o	PISOS	Permanecem com as características base do projeto em estudo			
	VÃOS OPACOS				
	VÃOS ENVIDRAÇADOS				
	PAREDE EXTERNA				
	EQUIPAMENTOS	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C			
	ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul			
	LOCALIZAÇÃO	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio (kWh/m ² /year)	Consumo final Arrefecimento (kWh) e % em relação a condição inicial	Consumo final Aquecimento (kWh) e % em relação a condição inicial
	<u>3S56</u>	Bragança/PT	49375,37	300,52	18046,54
<u>3S67</u>	Coimbra/PT	49992,33	304,27	21399,49	16,06
<u>3S68</u>	Faro/PT	56030,78	341,03	27453,37	0,63
		ΔMáx.-Mín.	40,51		

Fonte: A autora.

Logo percebeu-se que Coimbra teve um consumo energético maior que Bragança, e Faro maior do que os dois. Além disso, para a cidade mais quente (Faro), o consumo final de arrefecimento foi maior, chegando a 28510,24kWh através da simulação feita em DesignBuilder, e o consumo final de aquecimento

foi maior, com um valor até mesmo nulo nas simulações do Revit e DesignBuilder.

4.7 ERROS NA SIMULAÇÃO

Ao longo das simulações, foram detectados alguns erros, mas que foram possíveis de serem resolvidos. Um dos problemas apresentados foi em relação à importação de determinados elementos construtivos do Revit para o DesignBuilder, que não foram reconhecidos. Para resolver isso de forma mais fácil, foram substituídos esses elementos no Revit, para novamente ser realizada a exportação para o arquivo gbXML.

Outro erro apresentado, foi em relação a modelagem no Revit, para posterior exportação de arquivo gbXML, no que diz respeito a zona da escada de ligação entre o rés de chão e o piso. Ao realizar a importação desse arquivo no DesignBuilder, os ambientes acabaram integrando-se. Para tanto, foi considerada uma laje de separação entre os pavimentos, nessa zona, o que permitiu encontrar resultados coerentes.

5 CONCLUSÕES

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Exige-se cada vez mais edifícios com melhor desempenho energético, seja pelos proprietários, seja pelas próprias legislações. Essa necessidade é impulsionada pela busca de um menor consumo energético, e maior conforto térmico.

Em função disso, foram sendo desenvolvidas algumas formas de avaliar o consumo em edifícios. Dentre as tecnologias criadas, a simulação computacional permite que sejam analisados diferentes sistemas de energia, elementos construtivos, condições climáticas, localização, entre outros. Em comparação ao método tradicional de cálculos, apresenta inúmeras vantagens, como por exemplo, quando se trata de uma simulação dinâmica, os resultados são mostrados em função do tempo e horário. Além disso permite analisar de

uma forma mais completa, e com maior precisão as deficiências que o edifício apresenta, para serem melhorados, a fim de se obter um melhor desempenho energético.

Para atender a essa demanda nas simulações energéticas, alguns softwares são desenvolvidos baseados em metodologias BIM e BEM, como foi o apresentado neste trabalho.

É certo que desde o surgimento do BIM houve grande esforço para a sua utilização em grande escala, por proporcionar vantagens significativas às metodologias anteriores existentes. Ele proporciona não somente um modelo único de projeto em que há retroalimentação de dados e propriedades a cada momento, com fluxo de informações sobre todas as especialidades, como também integra todos os colaboradores. Isso torna a modelagem mais precisa e detalhada. Além disso, após pesquisas, foi perceptível que o BIM já foi muito desenvolvido, como no caso de Portugal e no Brasil em que há a criação de leis para a obrigatoriedade do uso do BIM em obras públicas.

Para além de todas as vantagens que o BIM apresenta, como observado no software Revit, ainda há muito que a metodologia BEM possa agregar, como é o caso do EnergyPlus, Insight 360 e DesignBuilder. Isso pôde ser observado, por exemplo, nos relatórios gerados no Revit, que tem como base motor de cálculo, o EnergyPlus. Além disso, através do Insight 360, foram obtidos os valores do consumo energético total, e algumas sugestões de estratégias que facilmente poderiam ser aplicadas ao projeto, para otimizar o desempenho energético. Dessa forma conclui-se que o Revit apresenta uma interface para modelagem do edifício intuitiva e muito prática, com alguns templates de configurações energéticas já pré-definidos, e um ambiente de trabalho que pode integrar diversas especialidades, em um modelo único. Porém, ele ainda se baseia em outros softwares BEM para poder realizar a análise energética, o que pode causar perda de informações durante o processo, não apresentando resultados tão precisos.

Foi perceptível através das simulações realizadas que algumas bases de cálculos são diferentes entre o Revit e o DesignBuilder. A começar com a resistência térmica total, que é calculada de forma mais completa pelo DesignBuilder, enquanto que no Revit são desconsideradas as resistências

térmicas superficiais. Além disso o cálculo das zonas térmicas é diferente entre os programas devido às configurações base do Revit, que não podem ser alteradas.

As simulações realizadas com os diferentes sistemas AVAC demonstraram que o Revit condiciona muito as opções, por não permitir a edição de sistemas AVAC, podendo apenas escolher entre os templates existentes no programa. Ainda, relativamente aos sistemas AVAC, conclui-se que possuem grande impacto sobre o consumo final de energia, seguido pela orientação solar.

Por fim, a partir desse trabalho percebeu-se que ainda é necessário desenvolver mais a troca de informações entre BIM e BEM para a modelagem de energia e obtenção de resultados mais precisos. Além disso, uma barreira a ser enfrentada por arquitetos e engenheiros, é a falta de um modelo único quando trata-se de uma exportação de arquivo gbXML, pois ao realizar essa exportação ao DesignBuilder, a partir do Revit, não é possível que sejam feitas alterações no modelo, para que retornem ao arquivo inicial, e o projeto arquitetônico continue sendo modelado.

5.2 FUTURAS LINHAS DE INVESTIGAÇÃO

Tratando-se de simulação computacional com BIM e BEM o presente trabalho se apresenta como auxílio a novas pesquisas, servindo como base para desenvolver a fundo essa área.

Para futuros estudos são propostos os seguintes pontos:

- De que forma o fluxo de trabalho e informações entre Revit e DesignBuilder poderia ser otimizado;
- Comparação das análises energéticas do Revit e do DesignBuilder com outros programas, como por exemplo o Sketchup, que também utiliza o EnergyPlus como base.

REFERÊNCIAS

- [1] Torres, Y. (2020). La eficiencia energética y el ahorro energético residencial. South Sustainability.
- [2] IEA (2021). World Energy Outlook 2021. Acedido em Novembro de 2023.
- [3] Ke, Z., et al. (2024). Research on energy efficiency and decarbonization pathway of nearly zero. Developments in the Built Environment. Energy buildings based on system dynamic simulation.
- [4] IEA (2023). World Energy Outlook 2023. Acedido em Novembro de 2023.
- [5] Albuquerque, M.M.A.B. (2021). Incentivos à eficiência energética dos edifícios residenciais: avaliação do caso português. Universidade NOVA de Lisboa.
- [6] Medeiros, L.F., Moser, A. e Santos, N. (2014). A simulação computacional como técnica de pesquisa na Administração. Revista Intersaberes.
- [7] Paiva, A.F.O. (2005). Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Têxtil. Universidade do Minho.
- [8] Carlo, J.C. e Lamberts, R. (2010). Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [9] (2017) Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM. Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC.
- [10] Silva, A. S., Almeida, L. S. S. e Ghisi, E. (2017). Análise de incertezas físicas em simulação computacional de edificações residenciais. Ambiente Construído.
- [11] Mendes, V.F., et al. (2024). A systematic review of methods for evaluating the thermal performance of buildings through energy simulations. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [12] Bateman, R.E. et al. (2013). Simulação de Sistemas, Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. Organização Belge Engenharia e Sistemas.
- [13] Macedo, S.C.K. (2021). A metodologia BIM aplicada ao conforto ambiental nas edificações: um estudo descritivo. Instituto Federal do Espírito Santo.
- [14] Oliveira, F. M., Bittencourt, L. S. e Dória, D. R. S. (2020). Uma ferramenta BIM para simulação de eficiência energética nas fases iniciais de projeto. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP.

- [15] Eastman, C. et al. (2014). Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Bookman Editora.
- [16] Costa, G.C.L.R, Figueiredo, S.H. e Ribeiro, S.E.C. (2015). Estudo comparativo da tecnologia CAD com a tecnologia BIM.
- [17] Porsani, G.B., et al. (2021). Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). School of Architecture, University of Navarra.
- [18] Fernald, H. et al (2018). BIM to BEM translation workflows and their challenges: a case study using a detailed BIM model. Carleton University.
- [19] Nunes, R.G. (2023). Gestão Ágil e BIM: Análise dos impactos da implementação do BIM em uma empresa de projetos estruturais sob a perspectiva de métricas ágeis. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [20] Disponível em: <<https://www.autodesk.com/br/solutions/bim>>. Acesso em: fevereiro de 2024.
- [21] Pereira, A. P. C. (2017). Modelagem da informação da construção na fase de projeto: uma proposta para a SUMAI/UFBA.
- [22] Crespo, C. C. E Ruschel, R. C. (2007). Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. Encontro de Tecnologia de Informação e comunicação na construção civil.
- [23] Godoi, T.C. (2023). Interoperabilidade entre modelos BIM e análises energéticas: desenvolvimento de ferramenta no Blender para integração de dados de modelos IFC com método simplificado de análise da INI-R. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- [24] Jorge, G.O.A. (2022). Desafios e Limitações da Implementação do BIM em projetos de edificações. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [25] Carvalho, J.P. et al. O BIM e a eficiência energética dos edifícios. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
- [26] Sousa, F.J. e Oliveira, L.G. (2023). Análises de eficiência energética em fase de projeto utilizando o BIM. REEC, Revista Eletrônica de Engenharia Civil.
- [27] Pereira, M.D.S. (2016). Implementação do BIM nas Organizações: Práticas e Sugestões para a Implementação.
- [28] do Nascimento Biller, R. R. et al. (2021). Classificação de plataformas computacionais quanto aos usos do BIM. simpósio brasileiro de tecnologia da informação e comunicação na construção.

- [29] Pereira, A.P.C. (2021). Modelagem da informação da construção na fase de projeto: uma proposta de plano de execução BIM para a SUMAI / UFBA. Universidade Federal da Bahia.
- [30] Fiamma, P. e Biagi, S. (2023). Critical Approaches on the Changes Taking Place after 24/2014/EU in BIM Adoption Process. Buildings 2023.
- [31] Santos, J.F.R. et al. (2022). Utilização do BIM como apoio à simulação para análise do desempenho das edificações: uma revisão sistemática da literatura. XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC.
- [32] Barreto, B. V. et al. (2016). O BIM no cenário de arquitetura e construção civil brasileiro. Revista Fumec.
- [33] Martins, M.C.J., Silva, N.A.B. e Teixeira, E.K.C. (2022). Desafios da implementação do BIM em microempresas da indústria AEC. Research, Society and Development.
- [34] Abdumutalibovich, K.A. e Lutfillaevna, B.M. (2024). The Role of Bim Technologies in the Information System of Education. European Journal of Contemporary Business Law & Technology.
- [35] Souza, M. A. de et al. (2023) Revisão sistemática de literatura: : o uso de BIM no ensino de conforto. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção.
- [36] Rodrigues, R.E.G. (2023). Implementação do BIM na gestão e manutenção dos edifícios. Contributo para a otimização do fluxo de trabalho. Universidade do Minho.
- [37] Costa, T.G., Giesta, J.P. e Neto, A.C. (2023). Proposta de disciplina BIM colaborativa entre instituições no curso de Engenharia Civil. Simpósio Brasileiro de Qualidade de Projeto no Ambiente Construído.
- [38] Mendes, A.L., et al. (2023). O BIM como ferramenta para gestores: a utilização do ciclo 5W2H na plataforma Revit da Autodesk. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente.
- [39] Shafranov, E. (2016). Modeling of industrial building according to COBIM 2012. Saimaa University of Applied Sciences Technology Double Degree Programme in Civil and Construction Engineering.
- [40] Wangara, J. (2018). Quality Management in BIM. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.
- [41] Vareto, L.F., et al. (2023). Uso do BIM para estudo de desempenho térmico aliado à análise orçamentária de sistemas construtivos em edificações. V Encontro latino-americano e europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis.

[42] Nakamura, N.K. e Carlo, J.C. (2019). Introdução ao uso de sistemas BIM (building information modeling) para simulação termo-energética. Cadernos PROARQ21.

[43] Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/PTB/?guid=GUID-8263A19A-84F9-46A9-AAA6-9C191B1C521D>>. Acesso em: fevereiro de 2024.

[44] Correia, N.F.V. (2014). Simulação Energética: estudo de um edifício escolar. Universidade de Coimbra.

[45] Coelho, A.C.C. (2020). A utilização do BIM na análise da eficiência energética de edifícios: ferramentas e interoperabilidade. Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis.

[46] Ahmed, W., Fardan, H. e Asif, M. (2017). Integration of building energy modeling in the design process to improve sustainability standards in the residential sector — Case study of the Eastern Province of Saudi Arabia. IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE).

[47] DesignBuilder (2024). Acesso em: <<https://designbuilder.co.uk/>>, em Fevereiro de 2024.

[48] Alberto, A.F.C. (2015). Simulação e estudo paramétrico de fachadas de dupla pele utilizando o programa DesignBuilder. Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal (Repositórios Científicos).

[49] N. Tayari e M. Nikpour (2023). Investigating DesignBuilder Simulation Software's Validation in Term of Heat Gain through Field Measured Data of Adjacent Rooms of Courtyard House. Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment.

[50] Nik, V. M., Perera, A. T. D., e Chen, D. (2021). Towards climate resilient urban energy systems: a review. National Science Review.

[51] Jain, A. S., Saikia, P., e Rakshit, D. (2020). Thermal energy performance of an academic building with sustainable probing and optimization with evolutionary algorithm. Thermal Science and Engineering Progress.

[52] Gielen, D. et al. (2021). World energy transitions outlook: 1.5° C pathway.

[53] ADENE (2021). Eficiência energética nos edifícios. Consultado em 03 de Novembro de 2023.

[54] Disponível em: <<https://aipor.pt/5613-publicada-diretiva-sobre-o-desempenho-energetico-dos-edificios>>. Acesso em Maio de 2024.

[55] Silva, J.F.R. (2023). Análise do Decreto Lei 101-D/2020 relativo ao Desempenho Térmico de Edifícios de Habitação. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

[56] Disponível em: <<https://www.sce.pt/legislacao/>>. Acesso em 11 de Janeiro de 2024.

[57] (2024) Decreto Lei nº 10/2024. Diário da República, 1.ª série, Nº 5.

[58] Gao, H., Koch, C., e Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*.

[59] Gordon, W. J., e Catalini, C. (2018). Blockchain Technology for Healthcare: Facilitating the Transition to Patient-Driven Interoperability.

[60] Hou, D., Hassan, I.G. e Wang, L. (2021). Revisão sobre calibração de modelos energéticos prediais por inferência Bayesiana. *Avaliações de energia renovável e sustentável*.

[61] Picott, J.B. et al. (2022). Desafios de interoperabilidade entre BIM e BEM. 4º Congresso Português de Building Information Modeling.

[62] Hijazi, M., Kensek, K. e Konis, K. (2015). Bridging the gap: Supporting data transparency from BIM to BEM. University of Southern California, Los Angeles.

[63] Moraes, V.G. (2024). Aplicação da metodologia BIM no planejamento de obras: Estudo de caso. *Research, Society and Development*.

[64] Gotardo, G.H. e Rodrigues, R.D. (2021). Atual cenário do uso do BIM na arquitetura e engenharia. *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*.

[65] Cardoso, R.R. et al. (2023). Aspectos construtivos no uso do BIM no Brasil. *Rev. Episteme Transversalis, Volta Redonda-RJ, v.14, n.1, p.225-238*.

[66] Alencar, A. et al. (2023). A utilização do BIM como ferramenta de ensino no Brasil: uma revisão bibliométrica e sistemática. *Revista Ímpeto*.

[67] Terra, I.I.B. e Santos, A.P. (2023). Desafios do uso do BIM em obras públicas de grande porte: um estudo de caso de uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA). V Encontro Latino-Americano e Europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis.

[68] Paula, L.H. (2021). Impacto de soluções passivas e ativas no desempenho energético de um edifício NZEB no norte de Portugal. *Dissertação - Instituto Politécnico de Bragança*.

[69] (2020). MANUAL SCE – Avaliação de Requisitos (REH)

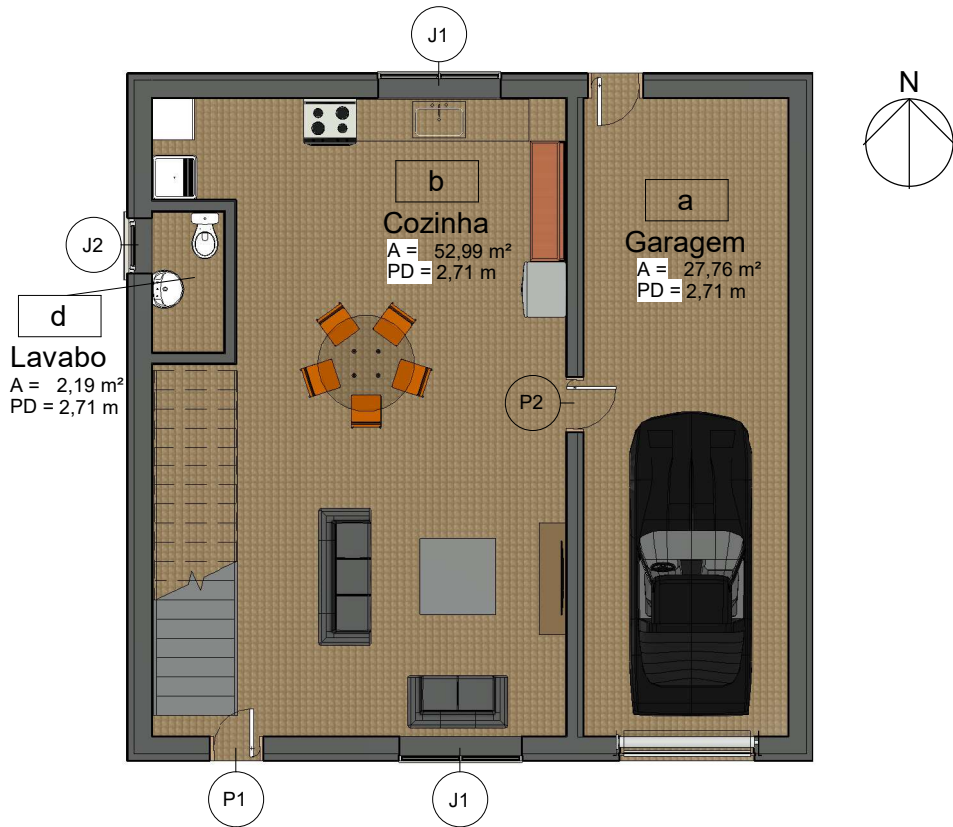
ANEXOS

Anexo 1 – Projeto Arquitetônico (6 páginas).

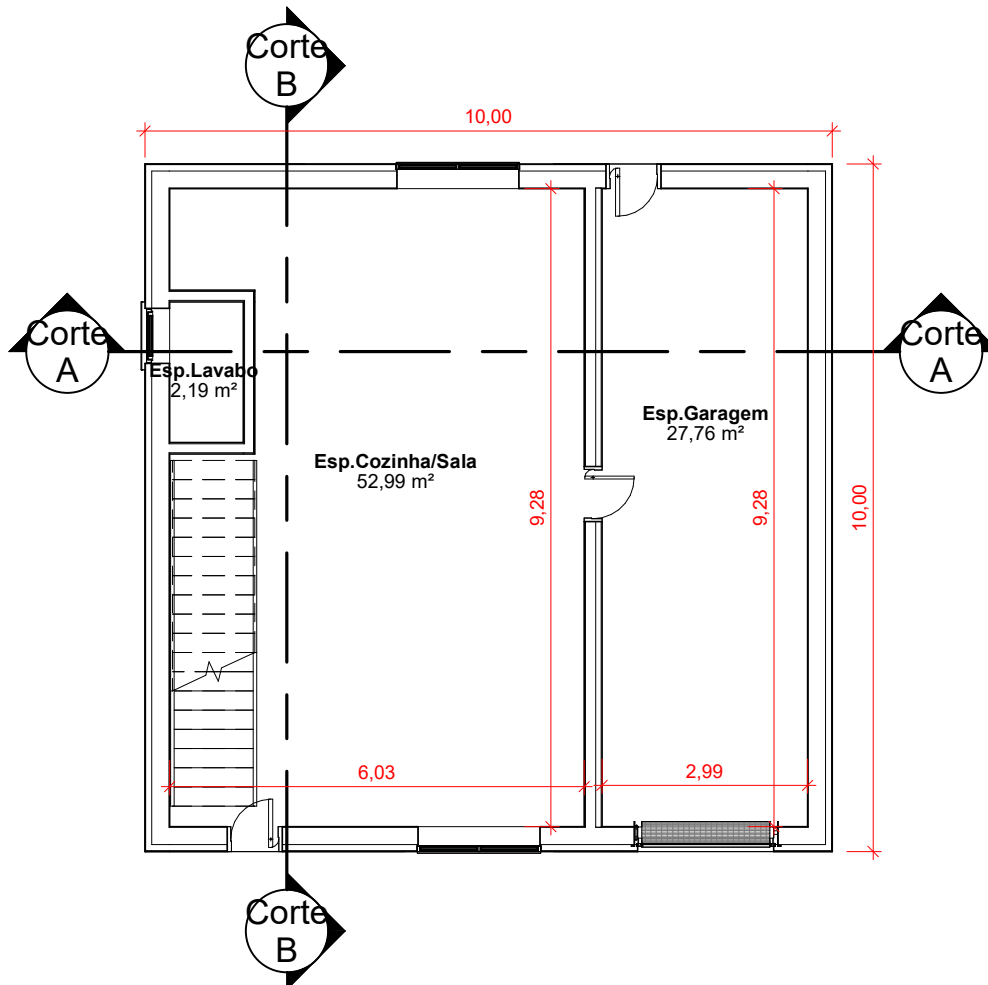
Anexo 2 – Propriedades térmicas dos elementos construtivos (2 páginas).

Anexo 3 – Sistemas AVAC do Revit (3 páginas).

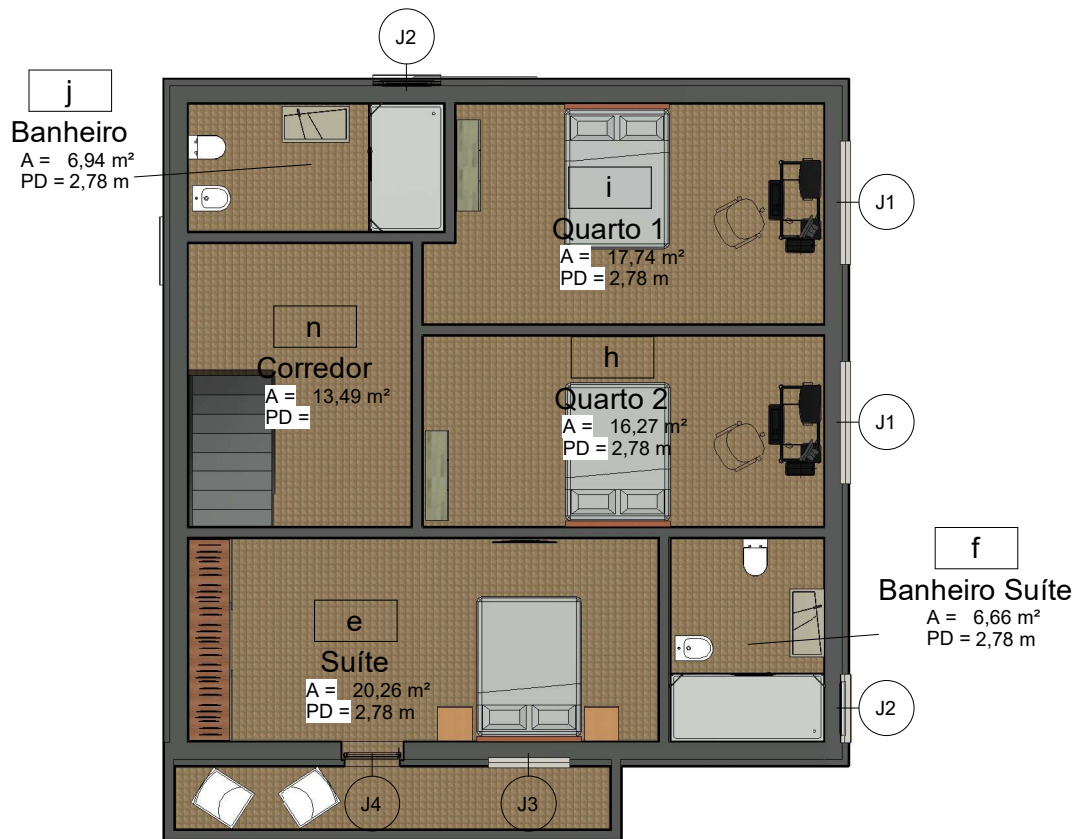
Anexo 4 – Resultados das Simulações de Sistemas AVAC (2 páginas).



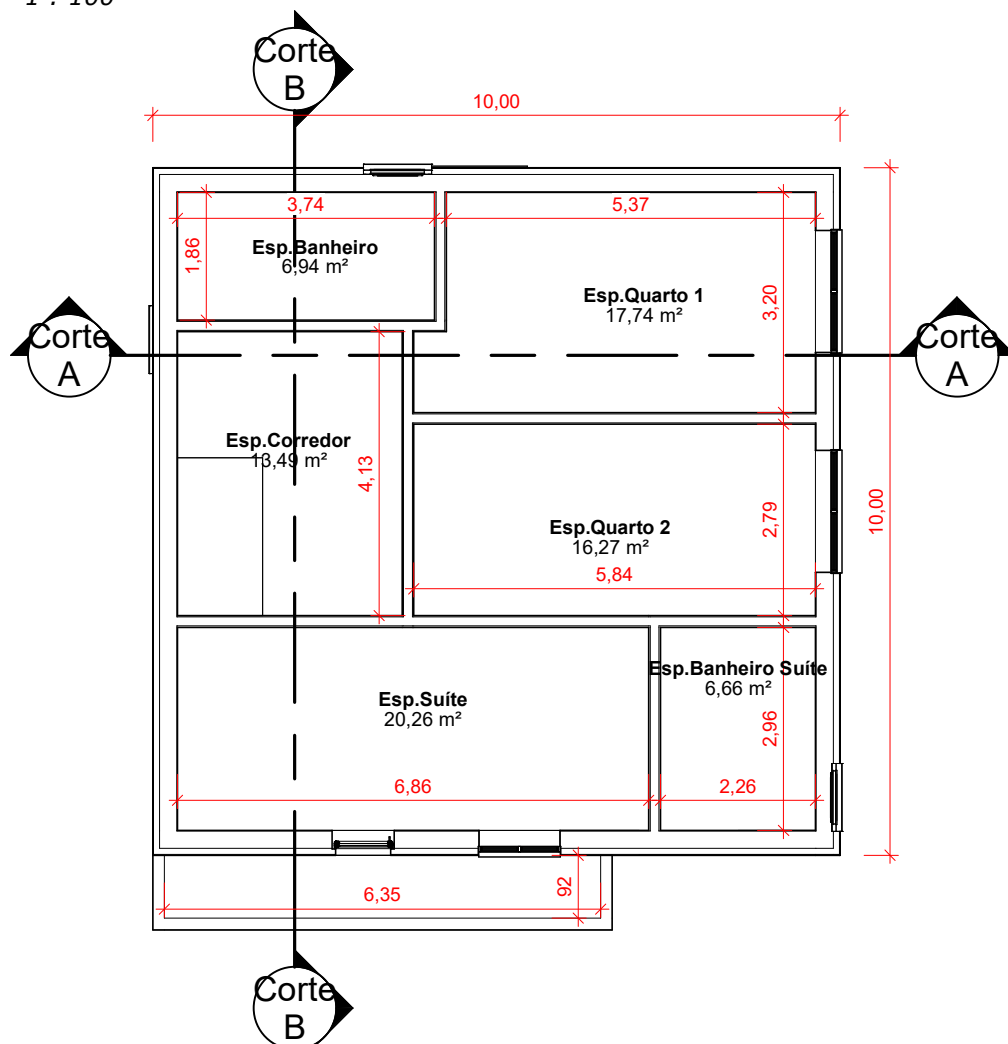
1 *Rés de chão Detalhes*
1 : 100



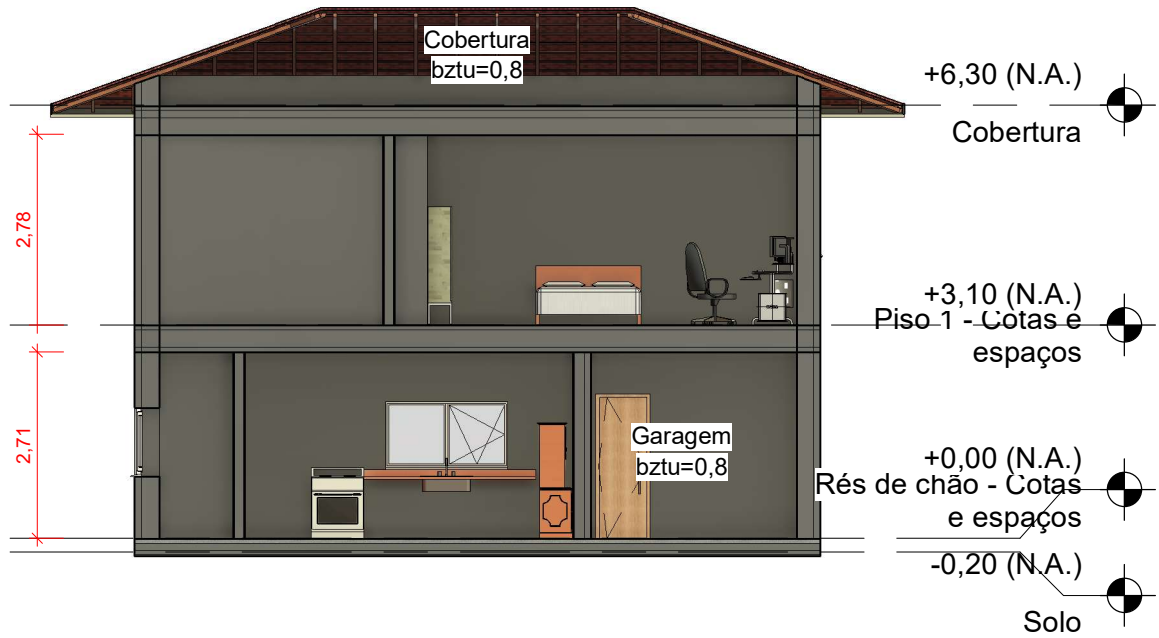
2 *Rés de chão - Cotas e espaços*
1 : 100



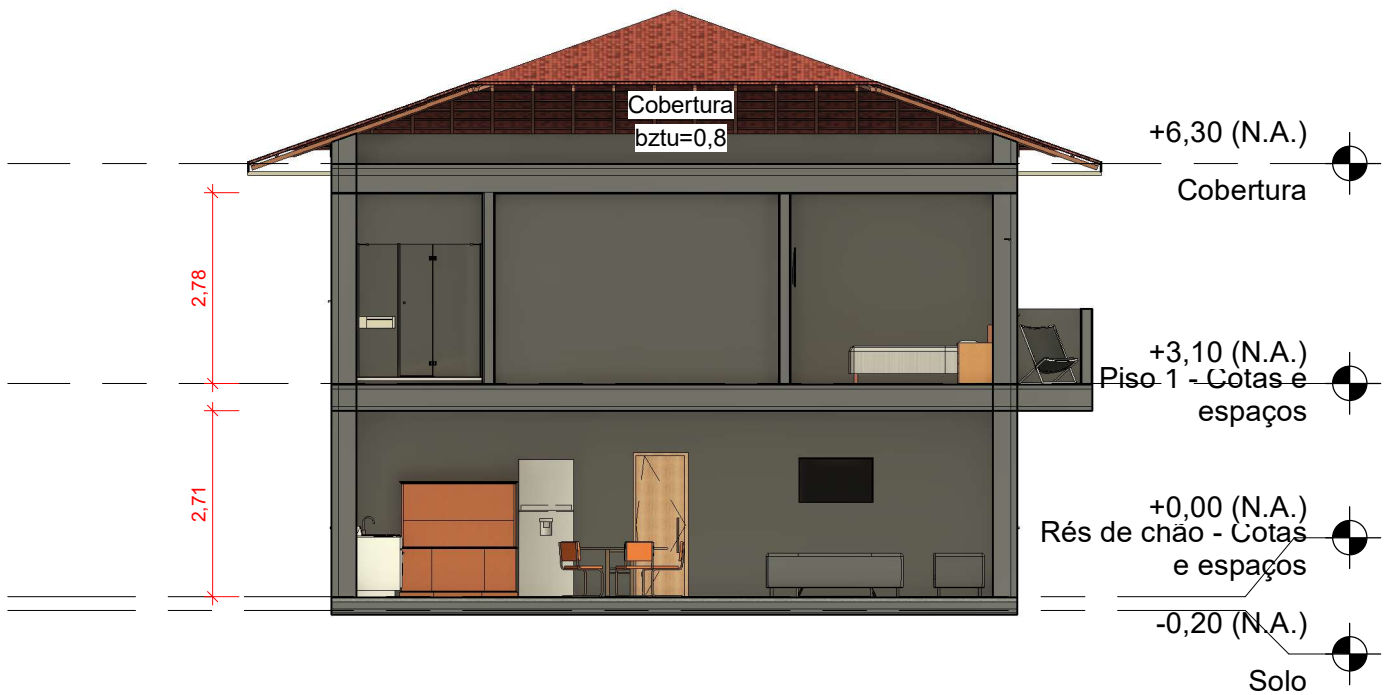
1 **Piso 1 Detalhes**
1 : 100



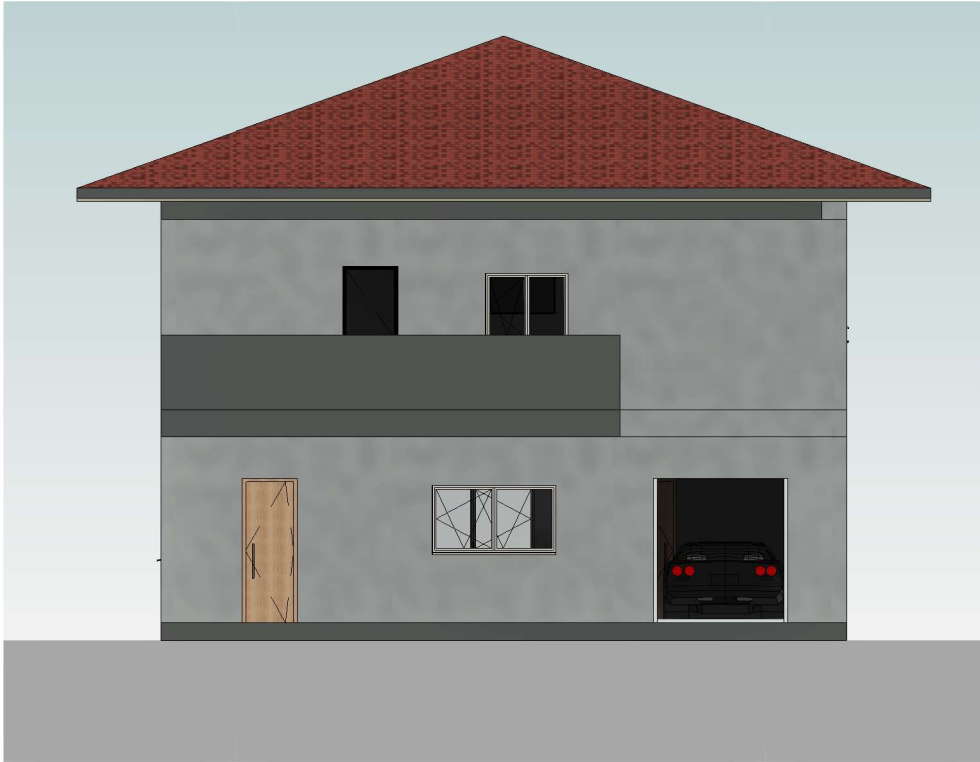
2 **Piso 1 - Cotas e espaços**
1 : 100



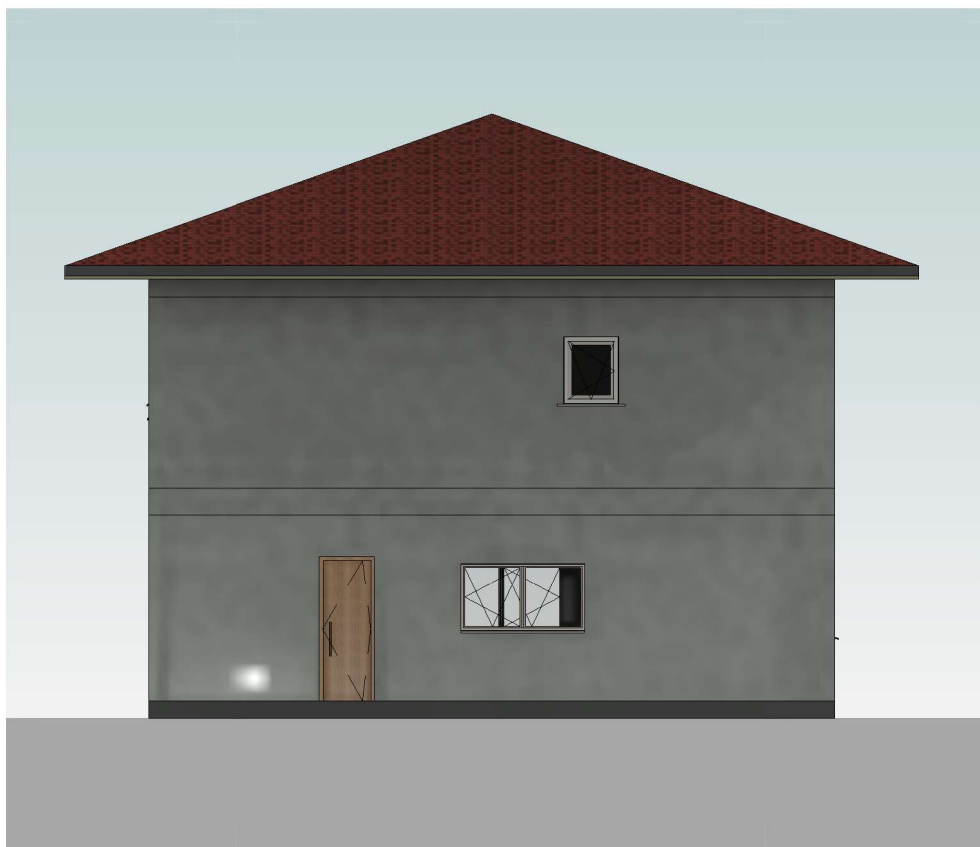
1 **Corte A**
1 : 100



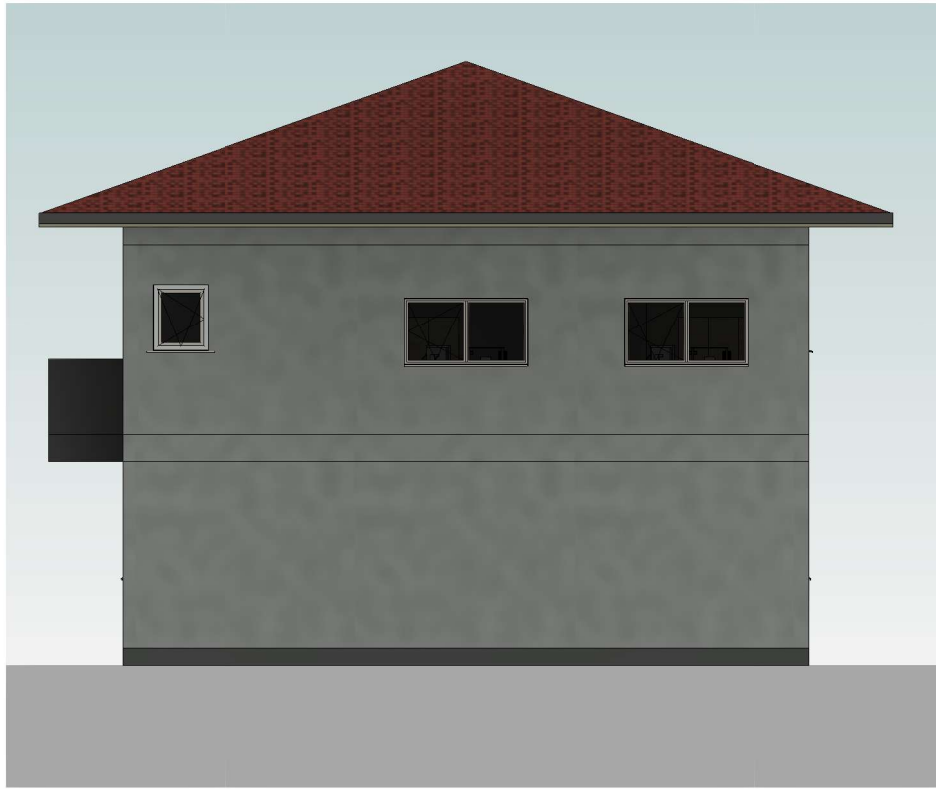
2 **Corte B**
1 : 100



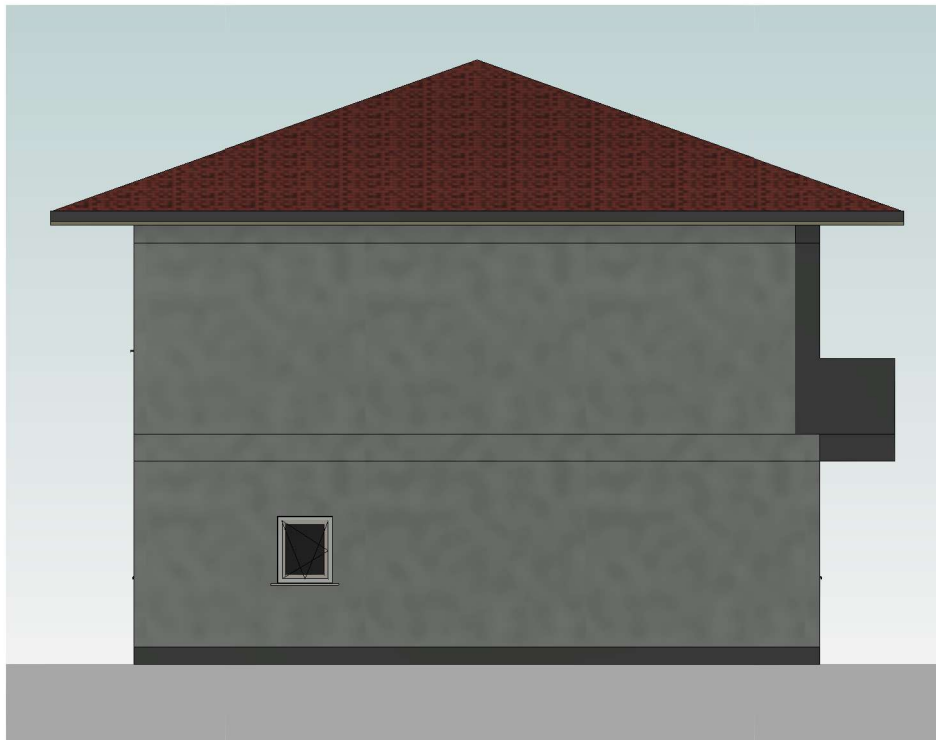
1 *ELEVAÇÃO SUL*
1 : 100



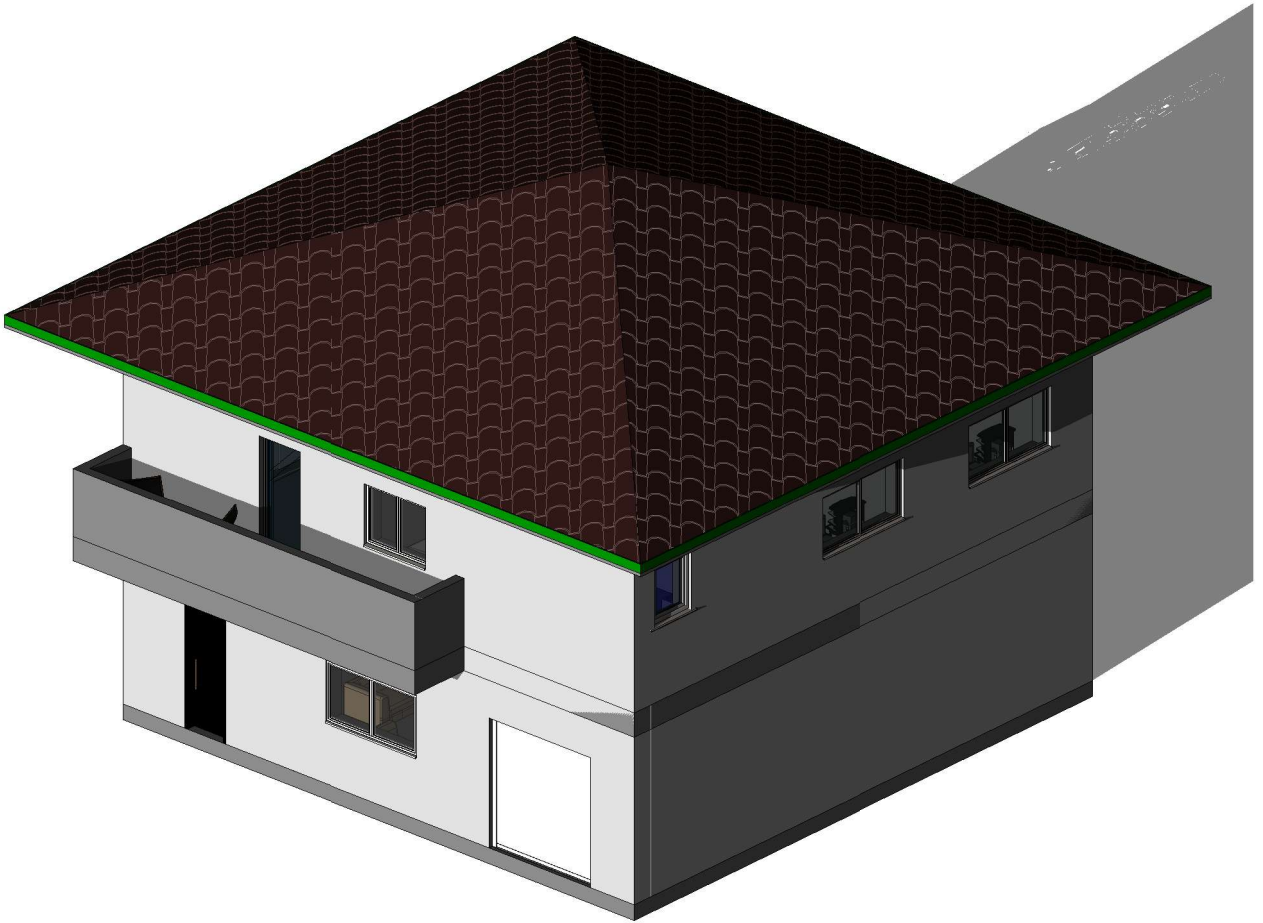
2 *FACHADA NORTE*
1 : 100



1 *FACHADA LESTE*
1 : 100



2 *FACHADA OESTE*
1 : 100



1 {3D}

P								ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DESIGNBUILDER								ELEMENTOS CONSTRUTIVOS REVIR/DESIGNBUILDER							
PAREDES								PAREDES								PAREDES							
PAREDE EXTERIOR								PAREDE EXTERIOR								PAREDE EXTERIOR							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Argamassa com isolamento térmico	0,01	0,47	0,92	1900	2,92	0,3420	501	0,01	0,47	920	1900	3,09	0,3230	0,01	0,47	920	1900	3,09	0,3230				
Placa de EPS	0,09	0,037	1,47	27				0,09	0,037	1470	27			0,09	0,037	1470	27						
Tijolo	0,25	0,54	0,84	2200				0,25	0,54	840	2200			0,25	0,54	840	2200						
Argamassa	0,01	1,3	0,92	1900				0,01	1,3	920	1900			0,01	1,3	920	1900						
PAREDE SALA/GARAGEM								PAREDE SALA/GARAGEM								PAREDE SALA/GARAGEM							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Argamassa com isolamento térmico	0,01	0,47	0,92	1900	2,48	0,4038	333	0,01	0,47	920	1900	2,74	0,3650	0,01	0,47	920	1900	2,65	2,3780				
Placa de EPS	0,08	0,037	1,47	27				0,08	0,037	1470	27			0,08	0,037	1470	27						
Tijolo	0,15	0,54	0,84	2200				0,15	0,54	840	2200			0,15	0,54	840	2200						
Argamassa	0,02	1,3	0,92	1900				0,02	1,3	920	1900			0,02	1,3	920	1900						
PISOS								PISOS								PISOS							
PISO 1/GARAGEM								PISO 1/GARAGEM								PISO 1/GARAGEM							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Piso Cerâmico	0,01	1,3	0,85	500	2,04	0,4913	400	0,01	1,3	580	500	2,31	0,4340	0,01	1,3	580	500	2,21	0,4530				
Betonilha	0,06	1	0,92	2350				0,06	1	920	2350			0,06	1	920	2350						
Laje Aligeirada	0,25	0,85	0,84	1200				0,25	0,85	840	1200			0,25	0,85	840	1200						
Placa de EPS	0,06	0,037	1,47	27				0,06	0,037	1470	27			0,06	0,037	1470	27						
Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,84	1100				0,013	0,25	840	1100			0,013	0,25	840	1100						
COBERTURA								COBERTURA								COBERTURA							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Betonilha	0,06	1	0,92	2350	3,45	0,2899	388	0,06	1	920	2350	3,72	0,2690	0,06	1	920	2350	3,62	0,2690				
Placa de EPS	0,11	0,036	1,47	27				0,11	0,036	1470	27			0,11	0,036	1470	27						
Laje Aligeirada	0,24	0,85	0,84	1200				0,24	0,85	840	1200			0,24	0,85	840	1200						
Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,84	1100				0,013	0,25	840	1100			0,013	0,25	840	1100						
PAVIMENTO TÉRREO								PAVIMENTO TÉRREO								PAVIMENTO TÉRREO							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Piso cerâmico	0,01	1,3	0,85	500	1,90	0,5253	303	0,01	1,3	850	500	2,11	0,4730	0,01	1,3	850	500	2,07	0,4820				
Concreto de regularização	0,06	0,5	0,66	750				0,06	0,5	657	750			0,06	0,5	657	750						
Betonilha Pav. Térreo	0,1	2	0,92	2350				0,1	2	920	2350			0,1	2	920	2350						
Placa de EPS	0,06	0,037	1,47	27				0,06	0,037	1470	27			0,06	0,037	1470	27						
Membrana flexível com betume	0,024	0,23	1,67	1250				0,024	0,23	1674	1250			0,024	0,23	1674	1250						
VÃOS OPACOS								VÃOS OPACOS								VÃOS OPACOS							
Porta Externa								Porta Externa								Porta Externa							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Madeira semi-densa	0,06	-	-	-	0,50	1,9900	-	0,06	-	-	-	0,67	1,4925	0,05	-	-	-	0,67	1,4870				
Porta Interna								Porta Interna								Porta Interna							
Camada	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Massa Térmica	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor	Espessura	Condutividade Térmica	Calor Específico	Densidade	Resistência Térmica	Coef. De Transferência de Calor				
	m	W/(m.k)	J/(G. ° C)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)	kJ/(m².K)		m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W		W/(m².K)	m	W/(m.k)	J/(Kg. K)	kg/m³	(m².K)/W	W/(m².K)		
Madeira semi-densa	0,044	-	-	-	0,41	2,4131	-	0,044	-	-	-	0,58	1,7241	0,05	-	-	-	0,58	1,7110				
VÃOS ENVIDRAÇADOS								VÃOS ENVIDRAÇADOS								VÃOS ENVIDRAÇADOS							
Janelas 1 e 2								Janela 1 e 2								Janela 1 e 2							

Construção analítica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica
			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W
Propriedades definidas pelo usuário	0,75	0,7	2,2000	0,45	0,75	0,7	2,2000	-	0,75	0,7	2,2000	-
Janela 3				Janela 3				Janela 3				
Construção analítica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica
			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W
Propriedades definidas pelo usuário	0,75	0,7	2,1000	0,48	0,75	0,7	2,1000	-	0,75	0,7	2,1000	-
Janela 4				Janela 4				Janela 4				
Construção analítica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica	Coef. de ganho de calor solar	Transm. de luz visual	Coef. De Transferência de Calor	Resistência Térmica
			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W			W/(m².K)	(m².K)/W
Propriedades definidas pelo usuário	0,75	0,7	2,3000	0,43	0,75	0,7	2,3000	-	0,75	0,7	2,3000	-



Sistemas AVAC

Saiba mais sobre as suposições usadas para cada sistema AVAC durante a [análise de energia](#).

Para especificar o tipo de sistema AVAC para usar para a análise de energia, use a caixa de diálogo Configurações avançadas de energia.

Sistema Fan Coil com 2 tubulações, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96)
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 5 graus Fahrenheit (2.8 graus)
- Ventilador de volume constante curvado adiante e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 2.5 polegadas (62.3 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Boiler de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%
- Bomba de água quente de volume variável
- Serpentina de água quente
- Bomba de água resfriada de volume variável
- Serpentina de água resfriada
- Bomba de água de condensador de volume variável
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

Sistema Fan Coil com 4 tubulações, Chiller 5.96 COP, Boilers 84.5 eff

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96)
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 5 graus Fahrenheit (2.8 graus)
- Ventilador de volume constante curvado adiante e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 2.5 polegadas (62.3 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Boiler de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%
- Bomba de água quente de volume variável
- Serpentina de água quente
- Bomba de água resfriada de volume variável
- Serpentina de água resfriada
- Bomba de água de condensador de volume variável
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

11 EER VAV completo, aquecimento de boiler a 84.5%

- 11 EER eficiente, >Unidade de 20 toneladas de volume de ar variável (VAV), reaquecimento de água com motor de velocidade variável (VSD)
- Ventilador curvado adiante com VSD e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 3.5 polegadas (871.8 pascals) com sistema de dutos de pressão estática
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Boiler de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500kBtuh, AFUE de 84,5%
- Bomba de água quente de volume constante
- Serpentina de água quente
- Caixas de reaquecimento de água quente
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

12 SEER/0.9 AFUE Split/Completo Gás, 5-11 Ton

- 12 SEER eficiente, sistema split de fornalha de 90% AFUE com aquecimento a gás
- Ventilador de volume constante curvado adiante e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 2.0 polegadas (498 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

12 SEER/7.7 Bomba de aquecimento HSPF split completo

- 12 SEER/7.7 HSPF (Fator de Desempenho Sazonal de Aquecimento) eficiente < sistema de bomba de aquecimento split/completo de 11.25 ton
- Ventilador de volume constante curvado adiante e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 2.0 polegadas (498 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

12 SEER/8.3 HSPF Bomba de Aquecimento de Terminal Completo (PTHP)

- 12 SEER/8.3 HSPF Bomba de Aquecimento de Terminal Completo (Fator de Desempenho Sazonal de Aquecimento) (PTHP)
- Ventilador de volume constante curvado adiante e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 2.5 polegadas (62.3 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

VAV Central, Aquecimento de Resistência Elétrica, Resfriador 5.96 COP

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96)
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 5 graus Fahrenheit (2.8 graus)
- Ventilador curvado adiante com Motor de velocidade variável (VSD) e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 3.5 polegadas (871.8 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de Volume de Ar Variável (VAV)
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Caixas de reaquecimento de resistência
- Bomba de água resfriada de volume variável
- Serpentina de água resfriada
- Bomba de água de condensador de volume variável
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

VAV Central, Aquecimento HW, Resfriador 5.96 COP, Boilers 84.5 eff (padrão)

- Resfriador de centrífuga resfriado a água (COP 5.96)
- Abordagem de torre de resfriamento aberta de pressão atmosférica com ventilador de velocidade variável e 5 graus Fahrenheit (2.8 graus)
- Ventilador curvado adiante com Motor de velocidade variável (VSD) e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 3.5 polegadas (871.8 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de Volume de Ar Variável (VAV)
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Boiler de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%
- Bomba de água quente de volume variável
- Serpentina de água quente
- Caixas de reaquecimento de água quente
- Bomba de água resfriada de volume variável
- Serpentina de água resfriada
- Bomba de água de condensador de volume variável
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

14 SEER/0.9 AFUE Split/Completo Gás <5.5 ton residencial

- 14 SEER eficiente/fornalha de 90% AFUE <5.5 ton split/completo de sistema com aquecimento a gás
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial
- Manômetro de água de 2.0 polegadas (498 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

14 SEER/8.3 Bomba de aquecimento HSPF split/completo residencial

- 14 SEER/8.3 HSPF (Fator de Desempenho Sazonal de Aquecimento) eficiente<sistema de bomba de aquecimento split/completo de 5.5 ton
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial
- Manômetro de água de 2.0 polegadas (498 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575)

17 SEER/9.6 HSPF Split HP <5.5 ton residencial

- 17.4 SEER/9.6 HSPF < bomba de aquecimento de fonte de ar split/completo, modo de ventilador intermitente de 5.5 ton
- Ventilador de ciclo de volume constante residencial
- Manômetro de água de 2.0 polegadas (498 pascals) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante
- Eficiência premium, aquecedor de água residencial sem tanque sob demanda (Fator de energia de 0.85)

Distribuição de ar sob o fluxo

- Sistema de Volume de Ar Variável Completo (PVAV) com distribuição de ar sob o fluxo
- Ventilador curvado adiante com Motor de velocidade variável (VSD) e motor de eficiência premium
- Manômetro de água de 3.5 polegadas (871.8 pascals) com sistema de dutos de pressão estática
- Boiler de água quente a gás com ventilador de trabalho > 2500kBtuh, eficiência de combustão de 84,5%
- Economizador de temperatura do bulbo seco diferencial integrado
- Bomba de água quente de volume variável
- Serpentina de água quente
- Caixas de reaquecimento de água quente
- Aquecedor de água quente residencial de eficiência aprimorada (eficiência térmica de 85%)

Tópico pai: [Referência para a otimização da energia](#)



Exceto quando indicado de forma contrária, este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons: Atribuição – Uso Não Comercial – Compartilhamento pela mesma Licença 3.0. Consulte as Perguntas frequentes sobre Creative Commons da Autodesk para obter mais informações.

© 2024 Autodesk Inc. Todos os direitos reservados

SIMULAÇÃO SISTEMA AVAC - REVIT	
ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul
ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo
VÃOS OPACOS	
VÃOS ENVIDRAÇADOS	
EQUIPAMENTOS	Consumo energético médio(kWh/m²/year)
S1 Bomba de aquecimento de sistema dividido residencial 17 SEER/9.6 HSPF <5,5 ton	253,57
S2 Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto 12 SEER/7,7 HSPF	256,79
S3 Bomba de aquecimento de terminal compacto (PTAC) 12 SEER/8,3 HSPF	250,88
S4 Bomba de aquecimento de sistema dividido compacto residencial 14 SEER/8,3 HSPF	255,09
S5 Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento de resistência elétrica, Resfriador 5,96 COP	289,9
S6 Gás de sistema dividido/compacto residencial 14 SEER/0.9 AFUE <5,5 ton	282,79
S7 Sistema de gás dividido/compacto 12 SEER/0.9 AFUE, 5-11 ton	279,17
S8 Sistema de Fan Coil 4-tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efíc. 84,5	306,22
S9 Sistema de Fan Coil com 2 tubos, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efíc. 84,5	307,41
S10 Ventilação/Ar-condicionado compacto 11.3 EER, 84,4% aquecimento de caldeira	320,31
S11 Distribuição de ar abaixo do piso	332,72
S12 Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador 5,96 COP, caldeiras efíc. 84,5	320,52

SIMULAÇÃO SISTEMA AVAC - DESIGNBUILDER			
ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul		
ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo		
VÃOS OPACOS			
VÃOS ENVIDRAÇADOS			
EQUIPAMENTOS	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio(kWh/m²/year)	
S1 Nenhum	30997,8	188,67	
S2 Air to Water Heat Pump (ASHP) Hybrid with Gas Boiler, Nat Vent	31046,68	188,96	
S3 Air to Water Heat Pump (ASHP), Convectors, Nat Vent	31041,79	188,93	
S4 CAV, Air-cooled chiller	35437,16	215,69	
S5 CAV, Air-cooled chiller, 4-Pipe Induction Units	33932,71	206,53	
S6 CAV, Electric Heating	31195,19	189,87	
S7 CAV, Gas Heating	30997,8	188,67	
S8 CAV, Water-cooled Chiller, Boiler HW	33932,64	206,53	
S9 CAV, Water-cooled Chiller, Electric Heating	34209,55	208,21	
S10 Chilled Ceiling Free Cooling Ground HX	35240,88	214,49	
S11 Chilled Ceiling, Air Cooled Chiller	37795,13	230,04	
S12 Constant volume DX	37550,86	228,55	
S13 Cooled Beams, Air Cooled Chiller, DOAS	33639,22	204,74	
S14 Cooled beams, DOAS, displacement	33639,22	204,74	
S15 Electric Convectors, Nat Vent	31085,78	189,20	
S16 Electric storage heaters, Nat Vent	31085,78	189,20	
S17 Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling	47970,11	291,97	
S18 Fan Coil Unit (4-Pipe), Air cooled Chiller	39907,03	242,89	
S19 Fan Coil Unit (4-Pipe), Air cooled Chiller, DOAS	39907,03	242,89	
S20 Fan Coil Unit (4-Pipe), Water cooled Chiller, Water-side economiser	37907,03	230,72	
S21 GSHP Unitary Water-to-air Heat Pump	35678,55	217,15	
S22 GSHP Water to Water heat Pump,Heated Floor, Chilled Beams,Nat Vent	32249,97	196,29	
S23 GSHP Water to Water heat Pump, Heated Floor, Nat Vent	31022,94	188,82	
S24 Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent	30997,8	188,67	
S25 Heated floor, Solar Assisted Boiler HW, Nat Vent	30997,8	188,67	
S26 Heating and Ventilation Ducted Supply +	30997,8	188,67	
S27 HW Convectors, Nat Vent	30997,8	188,67	

SIMULAÇÃO SISTEMA AVAC - INTEROPERABILIDADE			
ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Sul		
ELEMENTOS ESTRUTURAIS	Permanecem com as características base do projeto em estudo		
VÃOS OPACOS			
VÃOS ENVIDRAÇADOS			
EQUIPAMENTOS	Consumo Total (kWh/year)	Consumo energético médio(kWh/m²/year)	
S1 Nenhum	30984,16	188,58	
S2 Air to Water Heat Pump (ASHP) Hybrid with Gas Boiler, Nat Vent	31103,66	189,31	
S3 Air to Water Heat Pump (ASHP), Convectors, Nat Vent	31103,66	189,31	
S4 CAV, Air-cooled chiller	35479,65	215,94	
S5 CAV, Air-cooled chiller, 4-Pipe Induction Units	33956,18	206,67	
S6 CAV, Electric Heating	31398,11	191,10	
S7 CAV, Gas Heating	30984,16	188,58	
S8 CAV, Water-cooled Chiller, Boiler HW	33956,18	206,67	
S9 CAV, Water-cooled Chiller, Electric Heating	34507,39	210,03	
S10 Chilled Ceiling Free Cooling Ground HX	35537,28	216,30	
S11 Chilled Ceiling, Air Cooled Chiller	38269,15	232,92	
S12 Constant volume DX	38256,7	232,85	
S13 Cooled Beams, Air Cooled Chiller, DOAS	33658,98	204,86	
S14 Cooled beams, DOAS, displacement	33658,98	204,86	
S15 Electric Convectors, Nat Vent	31223,15	190,04	
S16 Electric storage heaters, Nat Vent	31223,15	190,04	
S17 Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling	49196,93	299,43	
S18 Fan Coil Unit (4-Pipe), Air cooled Chiller	40702,13	247,73	
S19 Fan Coil Unit (4-Pipe), Air cooled Chiller, DOAS	40702,13	247,73	
S20 Fan Coil Unit (4-Pipe), Water cooled Chiller, Water-side economiser	40702,13	247,73	
S21 GSHP Unitary Water-to-air Heat Pump	36178,83	220,20	
S22 GSHP Water to Water heat Pump,Heated Floor, Chilled Beams,Nat Vent	32330,46	196,78	
S23 GSHP Water to Water heat Pump, Heated Floor, Nat Vent	31052,44	189,00	
S24 Heated Floor, Boiler HW, Nat Vent	30984,16	188,58	
S25 Heated floor, Solar Assisted Boiler HW, Nat Vent	30984,16	188,58	
S26 Heating and Ventilation Ducted Supply +	30984,16	188,58	
S27 HW Convectors, Nat Vent	30984,16	188,58	

S28	Natural Ventilation - No Heating/Cooling	30997,8	188,67
S29	Packaged DX	37550,86	228,55
S30	PTAC Electric Heating	37896,02	230,65
S31	PTAC HW Heating	37786,73	229,99
S32	PTHP	37841,37	230,32
S33	Radiator heating, Boiler HW, Mech vent Supply + Extract	30997,8	188,67
S34	Radiator heating, Boiler HW, Mixed Mode	40410,23	245,95
S35	Radiator heating, Boiler HW, Nat Vent	30997,8	188,67
S36	Radiators Electric, Nat Vent	31085,78	189,20
S37	Split + Separate Mechanical Ventilation	40030,06	243,64
S38	Split no fresh air	40426,86	246,06
S39	Unitary Heat Cool	37550,86	228,55
S40	Unitary Heat Pump	37550,86	228,55
S41	VAV, Air - Cooled Chiller, Fan-assisted Reheat (Parallel PIU)	33932,71	206,53
S42	VAV, Air - Cooled Chiller, HR, Outdoor air reset	33907,64	206,38
S43	VAV, Air - Cooled Chiller, HR, Outdoor air reset + mixed mode	33914,16	206,42
S44	VAV, Air - Cooled Chiller, Outdoor air reset	33932,71	206,53
S45	VAV, Air - Cooled Chiller, Reheat	33932,71	206,53
S46	VAV, Air - Cooled Chiller, Steam humidifer, Air-side HR, Outdoor air reset	33616,66	204,61
S47	VAV, Dual Duct, Air-cooled Chiller	33932,71	206,53
S48	VAV, Dual Duct, Water-cooled chiller	32758,75	199,38
S49	VAV, Water - Cooled Chiller, Air-side HR, Outdoor air reset	33907,64	206,38
S50	VAV, Water - Cooled Chiller, Electric Heater	34061,85	207,31
S51	VAV, Water - Cooled Chiller, Full Humidity Control	35663,27	217,06
S52	VAV, Water - Cooled Chiller, Hot Water	33907,57	206,38
S53	VRF (Air-Cooled), Heat Recovery, DOAS	36454,07	221,88
S54	VRF (Air-Cooled), Heat Recovery, DOAS,	36454,07	221,88
S55	Zone Water-to-air Heat Pump	35311,23	214,92
S56	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C	49334,6	300,27

S28	Natural Ventilation - No Heating/Cooling	30984,16	188,58
S29	Packaged DX	38256,7	232,85
S30	PTAC Electric Heating	38613,81	235,02
S31	PTAC HW Heating	38269,15	232,92
S32	PTHP	38441,48	233,97
S33	Radiator heating, Boiler HW, Mech vent Supply + Extract	30984,16	188,58
S34	Radiator heating, Boiler HW, Mixed Mode	41098,37	250,14
S35	Radiator heating, Boiler HW, Nat Vent	30984,16	188,58
S36	Radiators Electric, Nat Vent	31223,15	190,04
S37	Split + Separate Mechanical Ventilation	40947,11	249,22
S38	Split no fresh air	41102,2	250,17
S39	Unitary Heat Cool	38256,7	232,85
S40	Unitary Heat Pump	38256,7	232,85
S41	VAV, Air - Cooled Chiller, Fan-assisted Reheat (Parallel PIU)	33956,18	206,67
S42	VAV, Air - Cooled Chiller, HR, Outdoor air reset	33934,75	206,54
S43	VAV, Air - Cooled Chiller, HR, Outdoor air reset + mixed mode	33938,48	206,56
S44	VAV, Air - Cooled Chiller, Outdoor air reset	33956,18	206,67
S45	VAV, Air - Cooled Chiller, Reheat	33956,18	206,67
S46	VAV, Air - Cooled Chiller, Steam humidifer, Air-side HR, Outdoor air reset	33639,7	204,75
S47	VAV, Dual Duct, Air-cooled Chiller	33956,18	206,67
S48	VAV, Dual Duct, Water-cooled chiller	32767,37	199,44
S49	VAV, Water - Cooled Chiller, Air-side HR, Outdoor air reset	33934,75	206,54
S50	VAV, Water - Cooled Chiller, Electric Heater	34351,95	209,08
S51	VAV, Water - Cooled Chiller, Full Humidity Control	36306,3	220,98
S52	VAV, Water - Cooled Chiller, Hot Water	33934,75	206,54
S53	VRF (Air-Cooled), Heat Recovery, DOAS	37035,42	225,41
S54	VRF (Air-Cooled), Heat Recovery, DOAS,	37035,42	225,41
S55	Zone Water-to-air Heat Pump	36178,83	220,20
S56	Fan Coil Unit (4-Pipe) with District Heating+Cooling, em modo de operação 24h/7 dias na semana, Aquecimento elétrico, Supply air temperature heating 40°C, Minimum supply air temperature 14°C	49375,37	300,52