

Bruno Milaré Albuquerque

Reabilitação energética da residência de estudantes  
do campus do Instituto Politécnico de Viseu

**Dissertação de Mestrado**

Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Dr. Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida

Professora Dra. Elizângela Marcelo Siliprandi



Janeiro de 2022



## RESUMO

Edifícios durante sua vida útil consomem, em média, 40% dos recursos energéticos mundiais, e são responsáveis pela emissão na atmosfera de 38% do gás CO<sub>2</sub>. Esses números contribuem para problemas relacionados com a utilização desenfreada de recursos naturais e pelo aumento da temperatura média do planeta.

O aquecimento de ambientes internos contribui com a maior parcela do consumo de energia em edifícios. O consumo final para essa atividade é próximo dos 60% da energia utilizada, e isso é agravado com a utilização de combustíveis fósseis. Dessa forma, a transição para uma economia mundial mais sustentável passa por políticas de melhoria no setor dos edifícios.

Assim sendo, o presente trabalho consiste na aplicação do conceito de edifícios com balanço energético nulo na residência dos estudantes do Instituto Politécnico de Viseu, visando obter uma produção de energia suficiente para cobrir o gasto energético do sistema de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Com a utilização de tecnologia verde para a geração de energia, foi simulado no edifício de estudo, cenários envolvendo diferentes quantidades de painéis fotovoltaicos associados a sistemas de armazenamento de energia com diferentes capacidades, na tentativa de igualar o consumo energético do sistema com a geração de eletricidade.

Inicialmente, verificou-se que o edifício possuía longos períodos de desconforto térmico durante as estações do ano, em relação a temperatura interna dos ambientes, sendo justificado um sistema para aquecimento e arrefecimento dos cômodos.

Com a utilização dos softwares DesignBuilder e o EnergyPlus, foram feitas as simulações de geração de energia no edifício. Alternando entre as quantidades de painéis fotovoltaicos de 100%, 75%, 50% e 25% da ocupação da cobertura, verificou-se que as duas primeiras configurações tiveram balanços energéticos positivos e as configurações de 50% e 25% necessitaram importar energia a rede para suprir o consumo energético de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Juntamente com cada um dos cenários de geração de energia, as simulações contaram com a utilização de baterias com capacidades de 150 kWh, 680 kWh e 2040 kWh. Foi constatado que o sistema de armazenamento de energia diminui as quantidades de energia comprada da rede em horários de cheia, período onde o tarifário dos quilowatts hora é mais caro.

Para a escolha a ser implantada no edifício de estudo da melhor combinação de painéis fotovoltaicos associados a uma das capacidades de baterias, foi aplicado a metodologia do Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost, LCC*). Com isso, constatou-se que a configuração com 75% da cobertura ocupada por painéis fotovoltaicos juntamente com a bateria de três capacidade de 150 kWh foi a alternativa mais econômica, e teve no vigésimo primeiro ano o retorno monetário do investimento.



## ABSTRACT

During their lifetime, buildings consume an average of 40% of the world's energy resources and are responsible for emitting 38% of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. These numbers contribute to problems related to the rampant use of natural resources and the rise in the planet's average temperature.

Indoor heating is the most significant contributor to energy consumption in buildings. The final consumption for this activity is around 60% of the whole energy used, aggravated by the use of fossil fuels. In this way, the transition to a more sustainable world economy involves improving policies in the buildings sector.

Therefore, this present work consists of applying the concept of buildings with zero energy balance in the students' residence of the Instituto Politécnico de Viseu, aiming to obtain a production of energy sufficient to cover the energy demand of the heating and cooling system of the building.

With the use of green technology for energy generation, scenarios involving different amounts of photovoltaic panels associated with energy storage systems with various capacities were simulated in the case of study in an attempt to match the energy consumption of the system with the generation of energy electricity.

Initially, it was verified that the building had long periods of thermal discomfort during the seasons of the year, regarding the internal temperature of the rooms, being justified a system for heating and cooling for the building.

Using DesignBuilder and EnergyPlus software, simulations of energy generation in the building were carried out. Alternating between the amounts of photovoltaic panels of 100%, 75%, 50%, and 25% of the occupancy of the coverage, it was verified that the first two configurations had a positive energy balance and the configurations of 50% and 25% needed to import energy to the grid to supply energy consumption for heating and cooling the building.

Along with each of the power generation scenarios, the simulations used batteries with capacities of 150 kWh, 680 kWh, and 2040 kWh. It was found that the energy storage system reduced the amounts of energy purchased from the grid at peak times when the kilowatt-hour tariff is more expensive.

To choose the best combination of photovoltaic panels associated with one of the battery capacities to be implemented in the case study, the Life Cycle Cost (LCC) methodology was applied. With this, it was found that the configuration with 75% of the coverage occupied by photovoltaic panels and the battery with a capacity of 150 kWh was the most economical alternative. In the twenty-first year, it had a monetary return on investment.



## **PALAVRAS CHAVE**

Armazenamento de energia

Balço energético zero

Custo do ciclo de vida

Painéis fotovoltaicos

Simulação energética



## **KEY WORDS**

Energy storage

Zero energy balance

Life Cycle Cost

Photovoltaic panels

Energy simulation



## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Márcia e Osvaldo (*In memoriam*) por todo o apoio, incentivo, recursos, e motivação que tive durante minha caminhada até aqui. Sem vocês nada disso seria possível. Agradeço aos meus irmãos, Maria e Felipe pelo companheirismo desde sempre nessa vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida por toda a ajuda prestada, tempo desprendido, por compartilhar todo seu conhecimento. A sua orientação foi crucial para que esse trabalho fosse finalizado.

A minha coorientadora, Professora Doutora Elizângela Marcelo Siliprandi que mesmo de longe sempre esteve de prontidão para ajudar no que fosse preciso.

Aos meus amigos que fiz durante minha trajetória acadêmica: desde o meu grupo mais que especial do apartamento 502, em Pato Branco, até as pessoas que tive o prazer de conhecer e conviver durante meus dias em Portugal. Vocês foram responsáveis por deixar tudo mais leve e mais divertido.

Agradeço também a Adriana e ao Paulo pela amizade que foi construída em Portugal, a ajuda de vocês deixou tudo mais fácil, mesmo longe de casa. A Paróquia Coração de Jesus e todas as catequistas que me receberam tão bem na cidade de Viseu, deixando tudo mais familiar.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná por me proporcionar tantas memórias, superações, conquistas e ao Instituto Politécnico de Viseu, pela oportunidade concedida de estudar na instituição durante meu ano em Portugal. Com certeza, tudo o que eu vivi por causa dos estudos estará gravado para sempre em minha memória.

Por fim, agradeço a Deus por proporcionar o encontro de todas essas pessoas e muitas outras que tive a bênção de conhecer durante minha vida. Cada pequena ajuda dessas pessoas tem uma importância enorme na minha trajetória.



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Apresentação do tema.....	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	2
1.3 Organização e estrutura do trabalho.....	2
2. Estado da arte.....	5
2.1 Perspectivas mundiais do uso de energias renováveis.....	5
2.2 Uso de energias renováveis em edifícios.....	7
2.2.1 Soluções.....	8
2.2.1.1 Energia solar.....	8
2.2.1.2 Energia eólica.....	9
2.2.1.3 Biomassa.....	10
2.2.1.4 Energia Geotérmica.....	11
2.2.2 Armazenamento de energia.....	11
2.3 Desempenho térmico em edifícios.....	12
2.3.1 Balanço energético.....	12
2.3.2 Conforto térmico.....	13
2.4 Edifícios NetZero.....	16
2.4.1 Definição.....	16
2.4.2 Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive).....	18
2.4.3 Exemplos de edifícios NetZero.....	20
3. Metodologia.....	25
3.1 Simulação energética.....	25
3.2 Caso de estudo.....	27

3.2.1	Características gerais do edifício .....	27
3.2.2	Dados Climáticos .....	29
3.3	Modelo de Simulação .....	29
3.3.1	Ficheiro climático .....	29
3.3.2	Geometria .....	30
3.3.3	Pormenores construtivos.....	32
3.3.3.1	Paredes externas.....	33
3.3.3.2	Paredes Internas .....	34
3.3.3.3	Pavimentos.....	35
3.3.3.4	Cobertura.....	35
3.3.3.5	Envidraçados.....	36
3.3.4	Variáveis de entrada no Energy Plus – Conforto térmico .....	36
3.3.4.1	Ocupação.....	36
3.3.4.2	Ventilação .....	37
3.3.4.3	Proteção solar.....	38
3.3.5	Geração de energia .....	39
3.3.6	Armazenamento de energia .....	40
3.4	Avaliação do conforto térmico do modelo de simulação .....	41
3.4.1	Considerações iniciais .....	41
3.4.2	Validação do desconforto térmico .....	42
3.5	Geração de energia do modelo de simulação .....	43
3.5.1	Horas de cheia e horas de vazio.....	44
4.	Apresentação e discussão dos resultados.....	45
4.1	Conforto térmico do modelo simulado.....	45
4.1.1	Orientação Sudeste (SE) .....	45
4.1.2	Orientação Noroeste (NO).....	47
4.1.3	Orientação Noroeste (NE) .....	48
4.1.4	Orientação Sudoeste (SO).....	49
4.1.5	Piso 1 .....	50
4.1.6	Edifício completo.....	51

4.2	Geração de energia no modelo simulado .....	52
4.2.1	Considerações iniciais .....	52
4.2.2	Produção x Consumo .....	52
4.2.3	Comportamento da bateria – Cenário 100% + bateria de 680 kWh.....	53
4.2.4	Comportamento da bateria – Cenário 75% + bateria de 680 kWh.....	54
4.2.5	Comportamento da bateria – Cenários 50% e 25% + bateria de 680 kWh.	55
4.2.6	Armazenamento de energia – Capacidade das baterias. ....	56
4.2.7	Resumo das simulações.....	58
5.	Custo do ciclo de vida. ....	61
5.1	Definições .....	62
5.1.1	Período de análise.....	62
5.1.2	Fluxos de Caixa.....	62
5.1.3	Valor Presente .....	63
5.1.4	Taxa de desconto ou taxa de atualização (d).....	63
5.1.5	Inflação.....	63
5.2	Fórmulas do LCC.....	64
5.3	Custos relatados .....	67
5.3.1	Investimento inicial .....	67
5.3.2	Manutenção .....	67
5.3.3	Eletricidade.....	68
5.4	Análise econômica .....	68
5.4.1	Considerações iniciais .....	68
5.4.2	Fluxos de caixa.....	69
5.4.3	Resumo da análise econômica.....	71
5.4.4	Tempo de retorno .....	72
6.	Conclusão.....	73
6.1	Trabalhos Futuros .....	75
	Referências.....	77

ANEXO 1 – RESULTADOS DA ANÁLISE ECONOMICA APLICANDO A METODOLOGIA DO CUSTO DO CICLO DE VIDA (lcc) – FLUXOS DE CAIXA.....	83
--	----



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Adições líquidas de capacidade mundial de renováveis, 2011-2022, adaptado de [4].....	6
Figura 2-2: Adições líquidas de capacidade renovável por tecnologia, 2020-2022 Adaptado de [4].....	7
Figura 2-3: Conexão dos painéis solares a residência. Adaptado de [10].....	8
Figura 2-4: Exemplo de geradores eólicos em edifícios [14] .....	10
Figura 2-5: Geração de eletricidade em uma usina de biomassa [16].....	11
Figura 2-6: Esquema dos principais fluxos de energia que afetam o balanço energético do edifício. Adaptado de [22] .....	13
Figura 2-7: Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos [27].....	14
Figura 2-8: Abordagem edifícios de balanço zero [31] .....	16
Figura 2-9: Necessidades energéticas vs. Produção de energia [31] .....	17
Figura 2-10: Diferentes variantes no gráfico e posição do intervalo de rentabilidade ótima [35].....	19
Figura 2-11: Fachada sul do edifício Solar XXI [36] .....	20
Figura 2-12: Edifício LUCIA, Universidade de Valladolid [37].....	22
Figura 2-13: Edifício Pixel e produção de energia <i>on site</i> no edifício [38] .....	22
Figura 2-14: Eco-village BedZED [39].....	23
Figura 3-1: Processo de simulação através do software EnergyPlus [41] .....	26
Figura 3-2: Geometria das zonas térmicas no DesignBuilder. Adaptado de [43].....	27
Figura 3-3: Alçado Sudeste da residência dos estudantes do IPV .....	28
Figura 3-4: Indicação da residência dos estudantes do Politécnico de Viseu [44] .....	28
Figura 3-5: Fachada Noroeste da residência dos estudantes do IPV .....	29
Figura 3-6: Interface do ficheiro climático editável para simulação energética [46] .....	30
Figura 3-7: Área e volume ocupados do modelo de simulação. ....	31
Figura 3-8: Vista 2D dos pavimentos: a) Piso 1; b) Piso 2; c) Piso 3; e d) Piso 4.....	32
Figura 3-9: Vistas 3D da modelação da Residência dos estudantes do IPV.....	32
Figura 3-10: Pormenores construtivos das paredes externas: a) Parede externa tipo E1; b) Parede externa tipo E2 .....	33

Figura 3-11: Pormenores construtivos das paredes internas: a) Parede interna tipo I1; b) Parede interna tipo I2.....	34
Figura 3-12: Pormenores construtivos dos pavimentos: a) Pavimento térreo P1; b) Pavimento intermediário P2 .....	35
Figura 3-13: Pormenor construtivos da cobertura C1 .....	36
Figura 3-14: Ocupação do modelo de simulação .....	37
Figura 3-15: Renovações horárias de ar no modelo de simulação .....	38
Figura 3-16: Proteção solar do modelo de simulação.....	39
Figura 3-17: Geração de energia solar no modelo de simulação.....	39
Figura 3-18: Armazenamento de energia no modelo simulado.....	40
Figura 3-19: Imagem renderizada piso 1: a) Sala de convívio b) quarto 1.1 .....	41
Figura 3-20: Ambientes internos: a) piso 2 – quarto face SE b) piso 3 – quarto face NO c) piso 3 – quarto faces SO e NO d) piso 4 – quarto faces SE e NE.....	42
Figura 4-1: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Sudeste. ....	45
Figura 4-2: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Noroeste. ....	47
Figura 4-3: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Noroeste .....	48
Figura 4-4: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Sudoeste .....	49
Figura 4-5: Temperatura interna do modelo simulado – Piso 1. ....	50
Figura 4-6: Temperatura interna do modelo simulado – Edifício inteiro.....	51
Figura 4-7: Gráfico da produção pelo consumo do modelo simulado. ....	52
Figura 4-8: Comportamento da bateria do modelo simulado, 100% – dia de inverno... 54	
Figura 4-9: Comportamento da bateria do modelo simulado, 75% – dia de inverno.... 55	
Figura 4-10: Comportamento da bateria do modelo simulado, 50% – dia de inverno... 55	
Figura 4-11: Comportamento da bateria do modelo simulado, 25% – dia de inverno... 56	
Figura 4-12: Ciclo anual da bateria de capacidade 2040 kWh.....	56
Figura 4-13: Ciclo anual da bateria de capacidade 680 kWh. ....	57
Figura 4-14:Ciclo anual da bateria de capacidade 150 kWh. ....	58
Figura 5-1: Períodos de referência, Anexo I do Regulamento Delegado (UE) N.º. 480/2014 [49] .....	62
Figura 5-2: Variação do preço da energia em Portugal [50] .....	64
Figura 5-3: Atualização de um valor ocasional [48].....	65

Figura 5-4: Atualização de um valor uniforme anual [48].....	65
Figura 5-5: Atualização de um valor não uniforme anual [48].....	66
Figura 5-6: tempo de retorno da alternativa escolhida.....	72



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1:Características dos pormenores das paredes externas.....	34
Tabela 3-2: Características dos pormenores das paredes internas .....	34
Tabela 3-3: Características dos pormenores dos pavimentos .....	35
Tabela 3-4: Características do pormenor da cobertura. ....	36
Tabela 3-5: Características dos envidraçados .....	36
Tabela 3-6: Resumo das simulações para geração de energia .....	43
Tabela 3-7: Período de cheia e vazio da rede elétrica.....	44
Tabela 3-8: Tarifário do período de cheia e do período de vazio .....	44
Tabela 4-1: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudeste.....	46
Tabela 4-2: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudeste.....	47
Tabela 4-3: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Noroeste.....	48
Tabela 4-4: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudoeste.....	49
Tabela 4-5: Indicadores de desconforto térmico – Piso 1 .....	50
Tabela 4-6: Indicadores de desconforto térmico – Edifício .....	51
Tabela 4-7: Relação da produção x consumo no edifício simulado .....	53
Tabela 4-8: Resumo das simulações de geração de eletricidade.....	58
Tabela 5-1: Resumo dos valores adotados na análise do LCC .....	69
Tabela 5-2: LCC para o cenário 100% acoplado a bateria de 150 kWh .....	69
Tabela 5-3: LCC para o cenário 75% acoplado a bateria de 150 kWh .....	70
Tabela 5-4: LCC para o cenário 50% acoplado a bateria de 150 kWh .....	70
Tabela 5-5: LCC para o cenário 25% acoplado a bateria de 150 kWh .....	71
Tabela 5-6: Resumo dos resultados do LCC.....	72



# 1. Introdução

## 1.1 Apresentação do tema

O setor de edifícios atualmente contribui para o consumo de 40% do uso da energia mundial, contabilizado desde a concepção dos materiais até ao fim da vida útil da construção. Toda essa cadeia é também responsável pela emissão de 38% de CO<sub>2</sub>, gás responsável pelo aumento da temperatura média do planeta.

Dentro de uma residência europeia, a principal parcela de consumo energético é destinada ao aquecimento dos ambientes, cerca de 60% do valor final anual, seguindo-se o: aquecimento da água, cozimento, iluminação, aparelhos domésticos e eletrônicos.

A União Europeia e grande parte dos governos mundiais correm contra o tempo na tentativa de reverter, ou pelo menos amenizar, os impactos gerados por esse setor. Para 2050 pretende-se atingir a descarbonização completa do planeta através de objetivos e metas a serem cumpridos. Um desses objetivos passa por aumentar o número de edifícios de balanço zero, ou seja, edifícios que consigam suprir suas baixas necessidades energéticas através da produção de energia renovável.

Portugal tem a vantagem de ter em seu território boas condições para o aproveitamento da luz solar, como forma de gerar energia. Nesse sentido, tem-se assistido a um crescente investimento nessa tecnologia. Além da produção em grande escala, tem sido facilitado o acesso a investimentos para utilizadores particulares terem disponível geradores de energia solar em suas residências.

Devido a isso, muito trabalho tem sido desenvolvido nessa área de pesquisa, unindo construções sustentáveis com tecnologia de produção de energia e, mais recentemente, com a inclusão de baterias para o armazenamento. Nessa dissertação, sintetizou-se o conhecimento

já existente nessa área e analisaram-se diferentes cenários para avaliar a viabilidade de incluir painéis fotovoltaicos num edifício das residências de estudantes do Instituto Politécnico de Viseu.

## 1.2 Objetivos do trabalho

Com este trabalho, pretende-se propor e discutir soluções de reabilitação, com vista à melhoria do desempenho térmico e energético do edifício da Residência do Estudantes do Politécnico de Viseu, avaliando-se a possibilidade de o tornar independente da rede elétrica no que se refere ao aquecimento dos espaços internos, utilizando-se, para tal, uma estratégia assente na combinação de painéis fotovoltaicos com baterias para acumulação da energia.

Para se atingir tal objetivo, foram estabelecidos alguns objetivos específicos, nomeadamente:

- Modelação da residência dos estudantes (caso de estudo) com a utilização do software DesignBuilder;
- Definição de um conjunto de cenários de reabilitação;
- Simulação computacional com as soluções adotadas para o edifício através dos softwares DesignBuilder e EnergyPlus.
- Interpretação e discussão dos resultados obtidos, tendo por base uma análise técnico-económica das diferentes alternativas.

## 1.3 Organização e estrutura do trabalho

Capítulo 1 é feita uma breve introdução sobre o assunto do trabalho e apresenta os principais objetivos que se pretende atingir.

Capítulo 2 nele é apresentado uma visão geral sobre energias sustentáveis aplicados em pequena escala, é explicado alguns conceitos sobre desempenho térmico e energético em edifícios. Além disso, é feita uma breve introdução sobre edifícios com balanço energético nulo, para ao fim do capítulo, apresentar alguns exemplos práticos sobre o assunto.

Capítulo 3 apresenta o programa utilizado na modelação do estudo de caso (DesignBuilder), bem como, o programa utilizado para fazer as simulações energéticas (energyPlus). Além disso, mostra os valores de entrada (*inputs*) adotados para realidade do edifício e a explicação das validações dos resultados.

Capítulo 4 mostra os resultados obtidos com as simulações: é feita a análise do conforto térmico do edifício para diferentes ambientes internos e como um todo, além, da análise de

energia solar que o edifício produz durante o ano. Por fim, é apresentada a análise económica de cada uma das reabilitações propostas.

Capítulo 5 finaliza o trabalho apresentando uma conclusão objetiva sobre a escolha do cenário adotado, além de considerações finais sobre todo o trabalho realizado e recomendações para trabalhos futuros.



## 2. Estado da arte

### 2.1 Perspectivas mundiais do uso de energias renováveis

Após a crise do petróleo na década de 70, as incertezas sobre o uso de combustíveis fósseis forçaram os países a adotarem novas estratégias de produção e consumo de energia. Questões como segurança energética, eficiência energética, e energia proveniente de fontes renováveis começaram a surgir nas discussões políticas.

Além desse fato, questões envolvendo o clima e o meio ambiente também começaram a ser questionadas. Aproximadamente  $2/3$  das emissões destes gases são atribuídos ao CO<sub>2</sub> liberado

pela combustão de combustíveis fósseis e por processos industriais, os quais, desde os períodos pré-industriais, 1850 – 1900, foram responsáveis pelo acréscimo de  $1,5^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$  da temperatura do globo [1].

A nível da União Europeia, a Diretiva 2018/2001 UE [2], relativa à promoção da utilização de energias renováveis, estabelece para 2030 o objetivo de alcançar a parcela de 32% de participação de energias renováveis na matriz energética do bloco. Com gastos próximos aos 350 mil milhões em importações de energia, a União Europeia é dependente de países como a Rússia, Argélia, e dos países exportadores de petróleo (OPEP), para conseguir suprir suas necessidades energéticas. As importações representam mais da metade da energia consumida pelo bloco [3].

Já a China, o oposto desse cenário, de 2019 a 2020 sozinha representou um acréscimo de 80% da adição da capacidade de energias renováveis, liderando o aumento de potência energética mundial instalada em renováveis, de pouco mais de 190GW em 2019 para 280GW em 2020, conforme a Figura 2-1, um aumento de 45%, o maior aumento anual desde 1999. Feitos

como esse melhoram as projeções para os próximos anos. Para 2021 e 2022 espera que energias renováveis respondam por 90% da nova expansão de capacidade energética mundial [4].

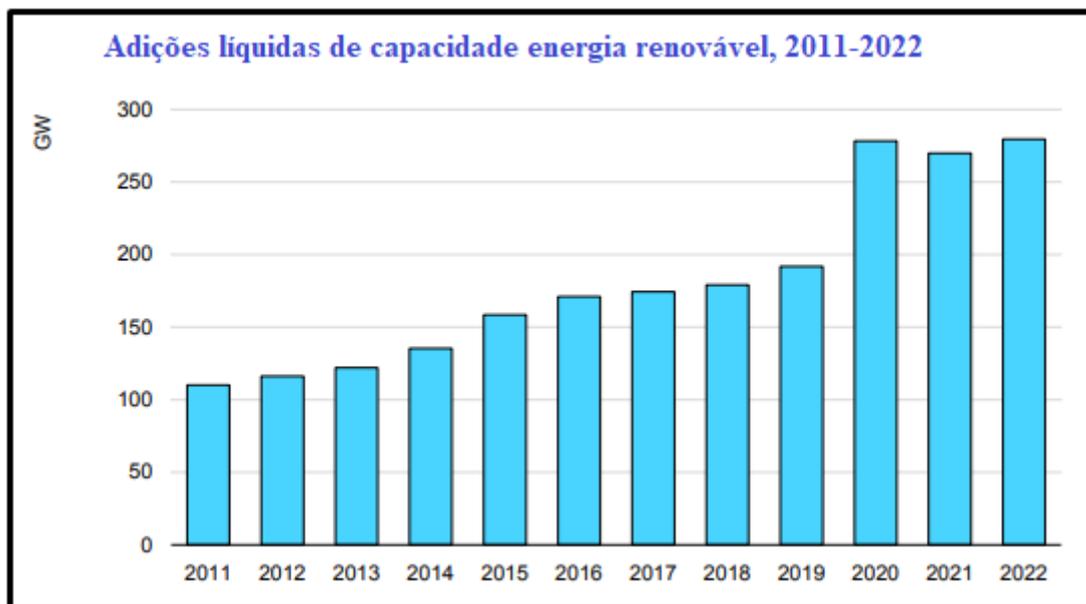


Figura 2-1: Adições líquidas de capacidade mundial de renováveis, 2011-2022, adaptado de [4]

Portugal, devido às suas condições climáticas, pode contribuir fortemente para o bloco alcançar a meta prevista para 2030. O país, em 2019, estava a 0,4 pontos percentuais (pp) de bater a meta nacional de 2020, e é uma das poucas nações com alta percentagem de energia consumida provinda de renováveis (54%), conforme a última atualização [5].

Se tratando das tecnologias empregadas na geração de energia renovável, a energia eólica e a solar são as mais importantes nesse cenário de crescimento. A popularização dessas tecnologias permite a redução dos custos de instalação e geração, tornando-as mais acessíveis. Painéis solares fotovoltaicos se tornaram a opção com menor custo de geração de energia elétrica, principalmente em países com ótima incidência solar e financiamento acessível. De fato, a Diretiva 2018/2001 UE apela para que os Estados-Membros reduzam o custo global de energias renováveis.

Se os investimentos em tecnologias renováveis se mantiverem, a produção de energia elétrica provinda de combustíveis fósseis deixará de ser a maior parcela de produção a nível mundial. Segundo a Agência Internacional de Energia, IEA [6], espera-se que para 2024 as tecnologias eólicas e solares, juntamente, ultrapassem o carvão e o gás natural em capacidade total de energia instalada.

De fato, projeções mostram que usinas eólicas e solares futuramente terão maior investimento na tentativa dos países aumentarem suas capacidades de geração de energia, dentre todas as renováveis.

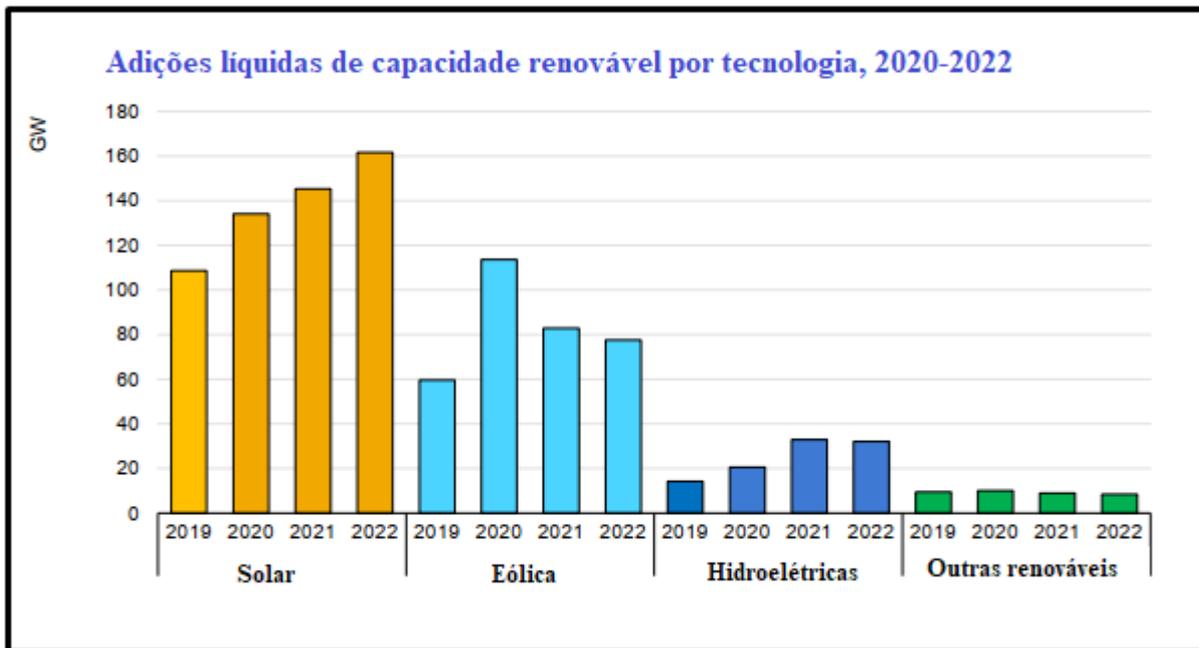


Figura 2-2: Adições líquidas de capacidade renovável por tecnologia, 2020-2022  
Adaptado de [4]

Embora a quantidade de adições anuais de capacidade eólica deva diminuir em 2021-2022, conforme a projeção da Figura 2-2, devido ao salto excepcional no ano passado na China, é previsto que a nível global aconteça um aumento de 35% relativo a 2019, algo em torno de 80 GW a mais que o ano anterior [4].

## 2.2 Uso de energias renováveis em edifícios

Ao redor do mundo, edifícios residenciais e comerciais são responsáveis por aproximadamente um terço da energia final consumida. Além disso, o setor contribui com 40% do total, diretamente ou indiretamente, de emissão de gás carbônico no planeta. Muito desse cenário deve-se ao fato da utilização de combustíveis fósseis para suprir as necessidades energéticas dos edifícios [7].

Em alternativa a esses combustíveis poluentes, existe a possibilidade de integrar a geração de energia limpa em edifícios através de fontes renováveis. Além das questões climáticas, a produção de energia por fontes renováveis permite reduzir a dependência da rede elétrica para suprir as necessidades dos edifícios, podendo gerar economia para os usuários.

Existem várias tecnologias disponíveis no mercado para geração de energia em edifícios através de fontes renováveis. É importante que a escolha das soluções se baseie na disponibilidade da fonte de energia nas proximidades dos edifícios. Outro fator é a duração da vida útil da tecnologia, o melhor é dar preferência para recursos renováveis que estão disponíveis ao longo da vida útil do edifício.

## 2.2.1 Soluções

### 2.2.1.1 Energia solar

A energia solar é considerada a fonte de energia renovável mais limpa e abundante disponível. A incidência solar no planeta Terra possui quantidades superiores às necessidades energéticas atuais e previstas, a nível mundial [8].

Dessa forma, as tecnologias energéticas disponíveis podem aproveitar essa abundância solar para usos variados, como por exemplo, geração de energia elétrica (painéis fotovoltaicos) e aquecimento de água (coletores solares).

- **Painéis fotovoltaicos**

Os painéis fotovoltaicos são compostos por células de materiais semicondutores. A geração de energia no interior dos painéis é feita de forma direta, convertendo radiação solar em eletricidade. Esse processo é chamado de efeito fotovoltaico [8].

Devido ao material semicondutor das células, quando os raios solares incidem sobre a superfície do painel, ocorre o surgimento de uma diferença de potencial nos extremos da estrutura. Isso é resultado do fluxo de corrente elétrica gerada por causa do desprendimento dos elétrons das suas ligações atômicas causados pela incidência solar [9].

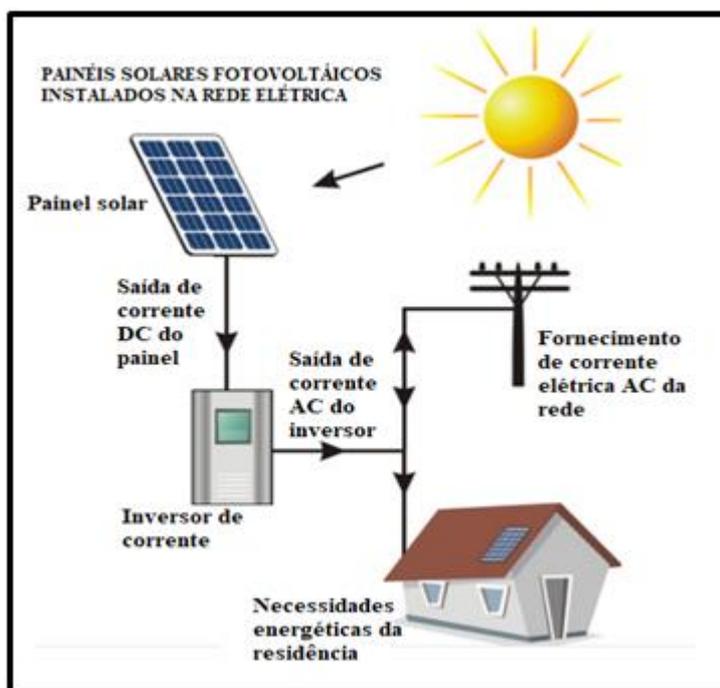


Figura 2-3: Conexão dos painéis solares a residência. Adaptado de [10]

O sistema de geração por fotovoltaicos é composto, além dos painéis, por estruturas de montagens que apontam para a direção com maior aproveitamento da luz solar e por inversores que recebem a corrente elétrica contínua e transformam-na em corrente elétrica alternada. O esquema envolvendo a geração por fotovoltaicos é mostrado na Figura 2-3.

A eficiência de conversão de radiação solar para eletricidade dos painéis depende da composição das células presentes, podendo variar entre 6% a 20% [11]. A conversão não ocorre completamente devido a certos comprimentos de ondas, dentro do espectro da luz solar, que não são absorvidos. Parte do espectro é composto de infravermelho, fraca para geração de eletricidade, e parte de ultravioleta, fração que produz calor ao invés de eletricidade [9].

- **Coletores solares**

A tecnologia dos coletores solares utiliza, diretamente, a energia solar para fazer o aquecimento de água. A radiação solar incide sobre a superfície, a qual absorve e transfere o calor para o líquido, que em seguida é armazenado em um tanque próprio. O sistema é composto pelos coletores e pelo sistema de transferência de calor: trocador de calor, bombas, tanque de armazenamento e controles.

Os tipos de sistemas de coletores solares são classificados conforme suas composições, e pela temperatura que conseguem atingir para o aquecimento da água: coletores não envidraçados, com baixa temperatura de alcance; coletores de placa plana, temperatura de alcance média; e coletores envidraçados, sistema com maior temperatura de alcance [11].

### **2.2.1.2 Energia eólica**

Quando os raios solares atingem a superfície terrestre, de forma irregular, o ar em contato também aquece e ascende. Dessa forma, surgem os fluxos de ar, movimentos esses chamados de vento, que quando incide sobre hélices ligadas a um gerador eletromagnético produzem eletricidade [12].

A produção de energia através do vento é dividida em duas categorias: *wind macro* onde nessa categoria estão os parques eólicos e produção de eletricidade em larga escala e *wind micro*, produção de eletricidade local, utilizado em instalações de edifícios [13].

Devido à alta variabilidade e inconstância das correntes de ar é necessário um estudo prévio da presença de vento na região de interesse. Para isso, existem mapas de ventos e bancos de dados históricos desse fenômeno. A consulta desse tipo de informação é fator decisivo para a instalação dessas tecnologias em edifícios para a geração de eletricidade [11].

A questão estética também se torna importante devido a adesão popular de geradores eólicos nos edifícios, projetados pensando além da arquitetura, eles devem ser eficientes. Os materiais utilizados prezam sempre pela aerodinâmica, aumentando assim a eficiência na hora da produção de energia [13].

Um problema encontrado nesse tipo de tecnologia de geração são os ruídos e as vibrações causadas pelo motor gerador. Para isso, a solução utilizada são hélices de baixo ruído e materiais que absorvam melhor a vibração, além de necessitar atenção a estrutura de suporte ser capaz de absorver essa carga adicional, o que pode aumentar os custos de instalação. A Figura 2-4 mostra um exemplo de geradores de energia eólica em edifícios.



Figura 2-4: Exemplo de geradores eólicos em edifícios [14]

### 2.2.1.3 Biomassa

Produzida a partir de matéria orgânica, a utilização de biomassa para a geração de eletricidade é uma forma tão antiga quanto a solar. A matéria orgânica pode ser provinda de plantas, resíduos da agricultura, componentes orgânicos de resíduos municipais e industriais, madeira, e devido essa variedade e flexibilidade de materiais, o uso da biomassa tem se tornado mais popular [11].

O poder calorífico da biomassa é resultante do processo de fotossíntese. De forma simplificada, os produtores primários fixam CO<sub>2</sub> da atmosfera utilizando a energia dos raios solares e produzem o material orgânico que compõe as plantas. Assim, pode-se dizer que a biomassa é a geração de energia proveniente do sol armazenado nas plantas [15].

O esquema do processo de produção de energia por biomassa é representado na Figura 2-5. A biomassa pode ser diretamente queimada para gerar calor ou eletricidade, ou convertida em produtos líquidos, sólidos e gasosos, tendo grande uso no setor dos transportes. Também, existem exemplos de edifícios que utilizam dessa tecnologia para aquecimento e geração de eletricidade, utilizando um sistema central para o abastecimento local.

Por fim, a biomassa é o único recurso energético com carbono que pode ser considerado um processo de emissão neutra de CO<sub>2</sub> [15].

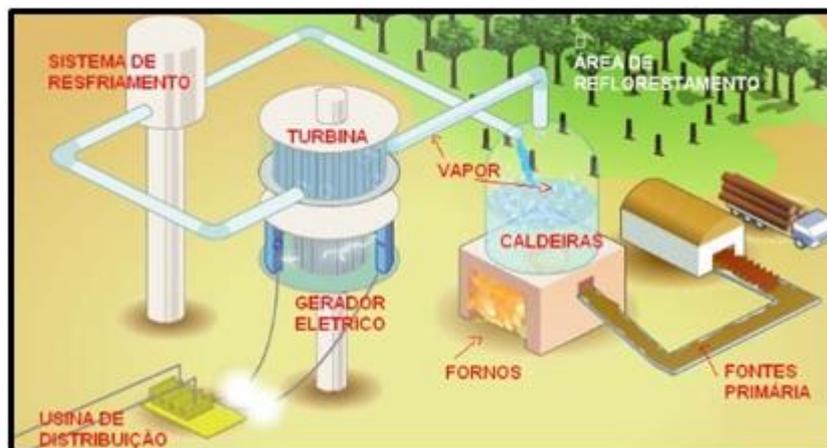


Figura 2-5: Geração de eletricidade em uma usina de biomassa [16]

#### 2.2.1.4 Energia Geotérmica

A energia geotérmica é a energia gerada através das trocas de calor entre as camadas do interior da superfície terrestre. Devido a baixa oscilação das temperaturas no interior do solo, é possível aproveitar o diferencial de calor para a climatização de ambientes e o aquecimento de águas.

O sistema geotérmico instalado em residências é composto pela bomba de calor, dutos enterrados no solo, e trocadores de calor. No inverno, o sistema retira o calor da terra e leva até o interior do edifício, através dos dutos. No verão o processo é o inverso: é retirado o ar quente dos cômodos do edifício e levado até o interior do solo [11].

#### 2.2.2 Armazenamento de energia

A produção de energia a partir de fontes renováveis pode vir a ser um problema considerando a imprevisibilidade da qual elas estão sujeitas. Questões como o clima, época do ano, e hora do dia tornam as energias renováveis dependentes de cenários favoráveis para a geração. No setor elétrico é importante manter o equilíbrio entre produção e consumo [17].

É nesse sentido que sistemas de armazenamento de energia elétrica podem contribuir para esse equilíbrio. E de fato, o benefício de tecnologias desse tipo está relacionado diretamente com o problema da intermitência das condições climáticas (o sol nem sempre brilha e o vento nem sempre sopra). Dessa forma, energias renováveis conseguem contribuir com maior penetração de energia elétrica na rede, acelerando o processo de transição para um mundo mais verde e descarbonizado.

Em um edifício, o uso da bateria é pensado para que seja possível evitar importar energia elétrica da rede em horários de pico. O armazenamento é feito fora da hora de pico e descarregado em horários de pico, onde o valor da energia elétrica é mais alto. Isso resulta em uma fatura de energia mais econômica [18].

O avanço tecnológico no mercado de veículos elétricos (VE) e a popularização da energia elétrica no setor dos transportes podem vir a gerar benefícios indiretos de inovação e redução de custos em aplicações de baterias em escala de rede elétrica. A mesma tecnologia de íon-lítio empregada em VE constitui a maior parte de toda a nova capacidade instalada para a utilização de energias renováveis [19].

No mercado de baterias para edifícios já existem tecnologias que detectam falhas elétricas ou entendem se a rede elétrica foi abaixo, e conseguem tornar rapidamente a fonte energética do edifício, garantindo o consumo normal das necessidades energéticas.

Segundo Teixeira G.P.L, 2021[20], é importante para a seleção da bateria uma análise cuidadosa, pois é o elemento que requer um maior investimento, e também está sujeito a uma ou mais substituições durante a vida útil do Sistema Solar fotovoltaico. Baterias íons-lítio possuem menos manutenção durante sua vida útil, tem longos ciclos de vida, mas possuem alto investimento inicial.

## **2.3 Desempenho térmico em edifícios**

### **2.3.1 Balanço energético**

Os edifícios podem ser caracterizados como sistemas térmicos, eles são capazes de armazenar e transmitir energia térmica ou calor. O processo do balanço energético em edifícios pode ser descrito pela primeira lei da termodinâmica, onde a soma das energias que entram em um volume, menos a quantidade das energias que dele sai, condiz com a energia interna do volume [21].

Para obter o balanço energético em edifícios, é necessário levar em conta nos cálculos todos os fenômenos de transferência de calor que ocorrem no sistema. Os principais fluxos de calor contabilizados em edifícios são: a entrada de raios solares pela envolvente e elementos envidraçados; ganhos internos de energia térmica pelos ocupantes; aparelhos eletrônicos e iluminação; perdas pela ventilação; e transferência de calor para o exterior e espaços adjacentes [22]. O esquema simplificado das contribuições para o balanço energético é mostrado na figura 2-6.

Os processos de transferência de calor que ocorrem dentro dos edifícios são os mesmos que acontecem na natureza: radiação, convecção e condução. O mais significativo em edifícios é o fluxo de calor por condução e depende das características dos materiais [23]. Todos esses processos são responsáveis pelos ganhos e perdas internas contabilizados no balanço energético.

Por fim, é possível fornecer ou retirar calor por sistemas de aquecimento e arrefecimento (AVAC's e ar condicionados). Entretanto, essa abordagem não é totalmente viável, demanda

excessivo custo operacional, além de causar desconforto aos ocupantes se utilizado em demasia.

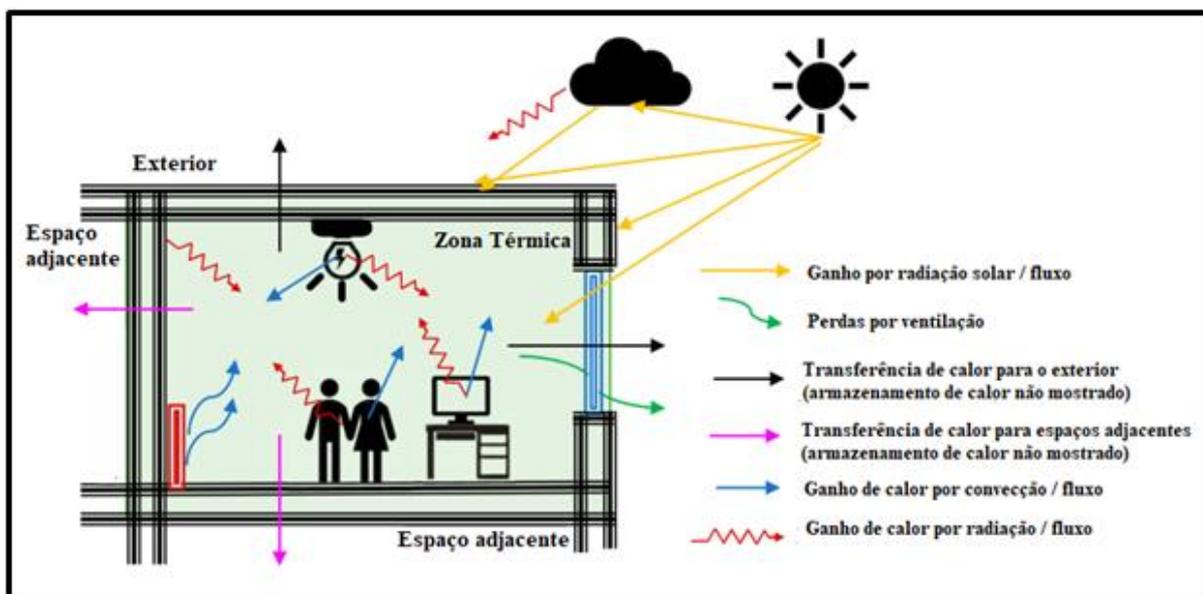


Figura 2-6: Esquema dos principais fluxos de energia que afetam o balanço energético do edifício. Adaptado de [22]

### 2.3.2 Conforto térmico

Os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humana. A sensação térmica está associada a um estado de neutralidade térmica, influenciada pelo balanço térmico das trocas de calor entre o corpo humano e o meio que o rodeia [24].

Entretanto, segundo a ASHRAE 55 [25], a avaliação do conforto térmico é subjetiva e depende de cada indivíduo. Sendo impossível medir a sensação de conforto térmico para todos os ocupantes do edifício, procura-se criar condições favoráveis nas quais a maior percentagem do grupo esteja de acordo.

Dos fatores que influenciam a sensação de conforto térmico aos ocupantes, o metabolismo humano e o uso de vestimentas são alguns deles. Na esfera dos edifícios, o conforto térmico dos ocupantes depende principalmente da temperatura do ar e da umidade. Ainda assim, os valores de referência variam conforme as estações do ano [25].

Além de toda a importância do conforto térmico, pensando na sensação dos ocupantes e produtividade das atividades humanas, o conforto térmico ainda pode ser importante para a economia de energia em edifícios [24]

Com o crescente uso de equipamentos climáticos e ambientes condicionados, os parâmetros relativos ao conforto térmico em edifícios ajudam na redução dos desperdícios com energia para aquecimento e arrefecimento de ambientes [24]. É nesse sentido que Portugal, desde de

1990 se preocupa com a térmica dos edifícios visando diminuir consumos residenciais de energia. Começou com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e hoje utiliza como base o Decreto-Lei n° 101/2020 para requisitos aplicáveis em edifícios portugueses para melhoria do desempenho energético [26].

O decreto impõe valores de referência para projetos de edifícios residenciais e não residenciais novos ou remodelados, com o intuito de satisfazer as condições de conforto térmico nesses edifícios, sem as necessidades excessivas de energia, tanto no verão como no inverno.

No Decreto-Lei n° 101/2020 e nos regulamentos anteriores, os requisitos mínimos de qualidade térmica e de referência para atingir o conforto térmico em edifícios levavam em consideração parâmetros relativos às características dos materiais. São eles: coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente, inércia térmica e proteção solar das coberturas e o fator solar para os vãos envidraçados.

O coeficiente de transmissão térmica ( $U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]) é definido como a quantidade de calor que atravessa  $1m^2$  do elemento por diferença de temperatura. Ele depende da resistência que cada camada de material da envolvente oferece a transmissão de calor [20].

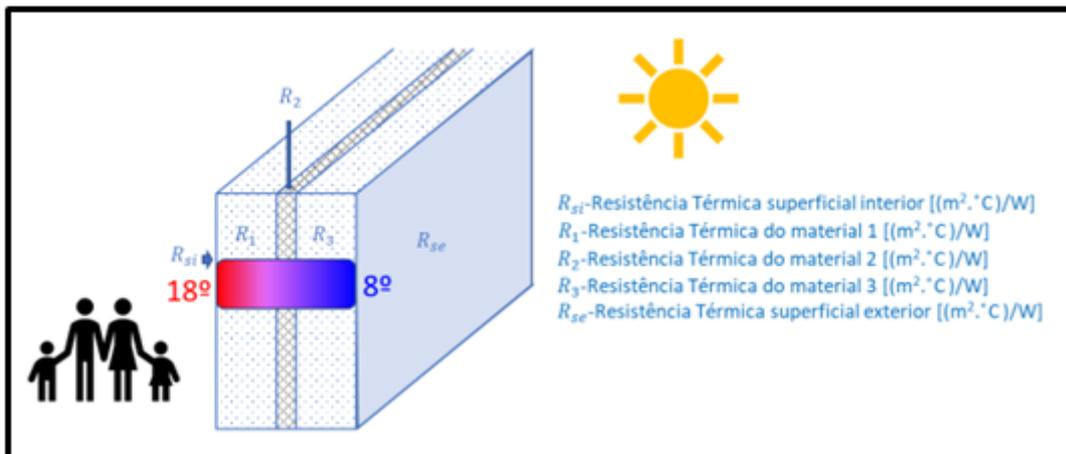


Figura 2-7: Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos [27]

Dessa forma o coeficiente  $U$  é inversamente proporcional a resistência térmica dos materiais. Valores baixos de  $U$  significa menor quantidade de calor perdido para o meio externo. Além disso, o coeficiente de transmissão térmica leva em consideração os fenómenos de transferência de calor por convecção e radiação os quais as superfícies dos elementos estão sujeitas, através das resistências térmicas superficiais interior e exterior, conforme a Figura 2-7 [21]. Ele é determinado através da Equação (2-1):

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

Outro parâmetro é a inércia térmica. Tal característica é descrita como a capacidade geral do edifício em armazenar calor ou liberar. Quanto maior a inércia térmica menor será a variação de temperatura durante o dia dentro do edifício [28].

Esse parâmetro pode ter duplo propósito. No inverno a massa térmica pode ajudar no armazenamento do calor, o qual pode ser usado posteriormente quando a temperatura externa cai. E no verão, a inércia térmica pode ser usada para diminuir o fluxo de calor para o interior, quando usada com ventilação natural [28].

Por fim, para os envidraçados, o fator solar é a razão entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia solar nele incidente. Em estações de aquecimento, quanto mais baixo o fator solar, menos significativos serão os ganhos solares, entretanto, em estações de arrefecimento, isso impedirá o sobreaquecimento dos ambientes internos.

## 2.4 Edifícios NetZero

### 2.4.1 Definição

Nos anos 70 e 80 começaram a surgir alguns artigos intitulados “uma casa de energia zero”, “uma casa autônoma de energia neutra”, “uma casa independente de energia”. Isso porque o mundo começava a sentir as consequências da crise do petróleo, e questões como fontes de combustíveis fósseis e o uso de energia passaram a ser discutidas [29].

Apesar da empolgação com a frase “energia-zero”, ainda falta uma definição comum, ou mesmo um entendimento comum do que isso significa. O significado da palavra “zero” pode ser referente a energia, as emissões de CO<sub>2</sub> ou o valor gasto com energia elétrica. Questões como essas ainda não tem um entendimento por completo [29], [30].

Uma boa definição para o conceito de edifícios Net Zero deve primeiro centrar-se em estratégias que reduzam as necessidades energéticas, e em seguida, usar fontes de energias renováveis para suprir tais necessidade. É sempre preferível fontes disponíveis no local ou nas proximidades[30]. A Figura 2-8 traduz essa definição.

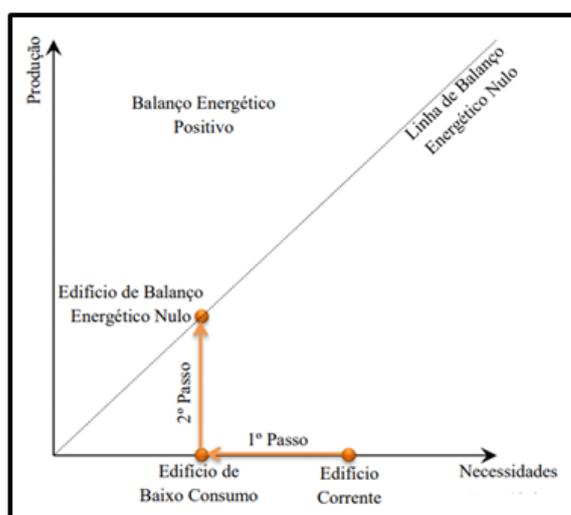


Figura 2-8: Abordagem edifícios de balanço zero [31]

Utilizando a Equação (2-2), podemos definir, segundo Aelenei, D *et al*, 2013[32], o balanço energético em torno de um edifício como:

$$\text{balanço energético} = \text{energia produzida} \times FC - \text{Energia consumida} \times FC \quad (2-2)$$

Onde FC é o fator de correção em que são utilizados para converter as unidades físicas em outras métricas, como a energia primária ou de emissão de carbono equivalente. O balanço energético pode ser ainda aplicado em um período de dias, meses ou o mais utilizado, em anos.

Dessa forma, a equação do balanço pode ocorrer em três cenários diferentes. Um balanço negativo (energia importada da rede elétrica), um balanço positivo (energia exportada para a

rede elétrica) ou um balanço igual a zero (energia produzida igual a energia consumida). E nesse último caso, conseguimos definir, em partes, um edifício com necessidades nulas de energia. Um esquema mais detalhado é apresentado na Figura 2-9.

Aelenei, D *et al*, 2013 cita que as primeiras tentativas de atingir um balanço igual a zero eram dotadas de coletores solares, e exemplos mais recentes utilizando também o armazenamento de água quente, na realidade apontavam como estratégias para balanço nulo do ponto de vista térmico e não energético. Tais tentativas criaram bases para a arquitetura solar passiva [32].

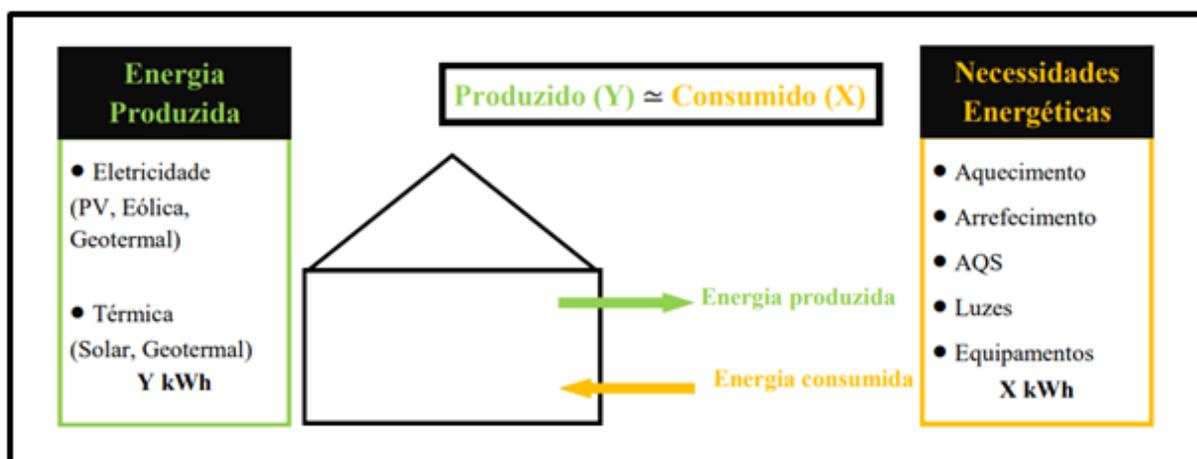


Figura 2-9: Necessidades energéticas vs. Produção de energia [31]

Dentro do conceito de edifícios de balanço energético zero pode ainda existir variações. Quatro definições comumente usadas são: *Net Zero Site Energy*, *Net Zero Source Energy*, *Net Zero Energy Costs*, e *Net Zero Energy Emissions*. A escolha para o edifício de referência vai depender dos objetivos do projeto, dos valores da equipe de projetos e do proprietário do edifício [30].

- **Net Zero Site Energy:** Para esse caso, o balanço energético é igual a zero, ou seja, a quantidade de energia fornecida à rede é igual a energia consumida da rede. Não existe a necessidade de consumir qualquer tipo de energia provinda de combustíveis fósseis para satisfazer as necessidades energéticas (iluminação, equipamentos, aquecimento, arrefecimento e AQS).
- **Net Zero Source Energy:** essa abordagem produz pelo menos tanta energia quanto usa em um ano, quando contabilizado na fonte. A energia da fonte refere-se à energia primária usada para gerar e entregar a energia ao local, incluindo a energia perdida em todo o processo de transmissão. Para cálculo da energia, é considerado os fatores de conversão, específico para cada situação e lugar.
- **Net Zero Energy Costs:** a quantidade de dinheiro que a concessionária paga ao proprietário do edifício para a energia que o edifício exporta para a rede é pelo menos igual ao valor que o proprietário paga à concessionária pelos serviços de energia e pela energia usada durante o ano.

- **Net Zero Energy Emissions:** o edifício com emissões líquidas zero produz pelo menos a mesma quantidade energia renovável livre de emissões, uma vez que é usada a partir de fontes de energia não poluentes. Levando em conta toda a cadeia de produção de materiais de construção, alcançar zero emissões dentro do setor dos edifícios é ainda uma tarefa difícil.

Por fim, alcançar edifícios Net Zero sem conexão com a rede elétrica pode ser difícil, visto que as tecnologias de armazenamento possuem custos elevados e muitas vezes não são acessíveis. Sem conexão na rede, em épocas de grande geração, como ocorre no verão, a energia excedente é desperdiçada [30].

#### **2.4.2 Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)**

A nível da União Europeia, a Diretiva 2010/31/UE [33] é a principal reguladora para os Estados Membros adotarem requisitos mínimos para uso eficiente de energia em edifícios. Com o compromisso de cumprir as diretrizes do Protocolo de Quioto, tratado entre países para mitigar os efeitos do aquecimento global, a *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) foi criada inicialmente em 2002, e para se ajustar com as novas tecnologias, foi reformulada em 2010.

É prioridade para o bloco garantir a segurança energética e o aprovisionamento de energia para os Estados Membros, juntamente com a mitigação das alterações climáticas. Para isso, os objetivos da EPBD são bem claros: promover a eficiência energética, definir requisitos mínimos para os elementos construtivos e estabelecer uma metodologia de cálculo para certificação energética para os edifícios novos ou existentes, com a preocupação de “alcançar níveis ótimos de rentabilidade”.

Em questões climáticas, o bloco econômico, em 2010, pretendia diminuir até 2020, até 20% da emissão de gases do efeito estufa face aos índices de 1990 e dessa forma manter o aumento da temperatura global abaixo dos 2°C. Atualmente, essa meta já foi alcançada em meados de 2018 [34].

Quanto a questões de segurança energética, é necessário diminuir a dependência da União Europeia de outros países no uso de energia primária, incentivando o aumento da parcela de fontes em energias renováveis nas matrizes energéticas dos Estados Membros.

Quando se trata de alcançar eficiência energética nos edifícios, a EPBD enfatiza a necessidade de alcançar “níveis ótimos de rentabilidade”, que segundo a mesma, é definido como “o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado” (Diretiva 2010/31/EU).

O desempenho energético com custo baixo pode ser atingido combinando medidas energéticas, mesmo que estas separadamente não sejam rentáveis, de forma que as interações

entre elas reduzam o gasto em energia primária do edifício, além de diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> – desde que o pacote global continue a proporcionar benefícios superiores aos custos durante o tempo de vida do edifício ou da componente do edifício [35]. Isso é exemplificado com o gráfico da Figura 2-10.

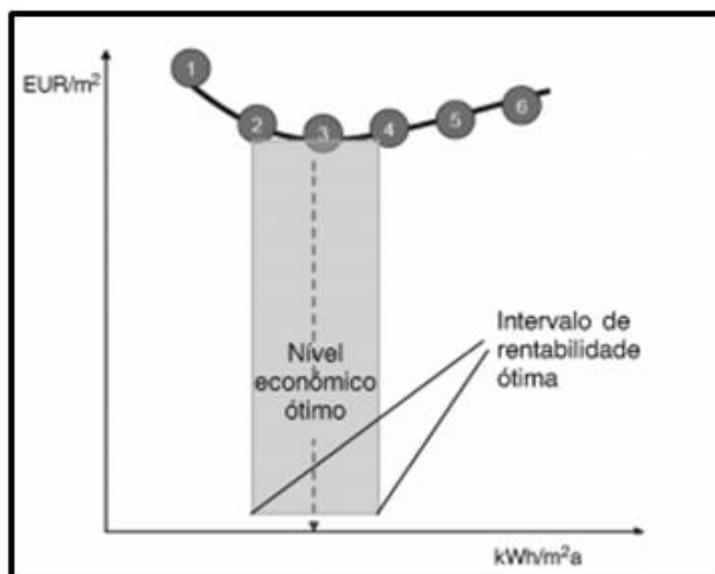


Figura 2-10: Diferentes variantes no gráfico e posição do intervalo de rentabilidade ótima [35]

Relacionando o cálculo do consumo de energia primária utilizada (kWh/m<sup>2</sup>ano, eixo x) com o dos custos globais (EURO/m<sup>2</sup> de área útil, eixo y) de um edifício de referência e interagindo as possíveis soluções construtivas para este edifício, é possível gerar a curva de custos. O que pode significar que, apenas adicionar materiais/elementos construtivos com as melhores características energéticas do mercado, não necessariamente trará benefícios econômicos, pelo contrário, pode gerar altos custos na edificação que não serão supridos na sua totalidade pela economia de energia.

Se aplicarmos, no gráfico acima, o conceito de edifícios NetZero, o intervalo das intervenções estaria mais à esquerda, apresentando baixo consumo de energia primeira, mas com um custo elevado por metro quadrado, isso devido a alta tecnologia para conceber edifícios dessa tipologia.

Foi a partir da revisão de 2010 que a EPDB passou a adicionar a definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Segundo a Diretiva, edifícios com necessidades quase nulas de energia são caracterizados por elevado desempenho energético e as necessidades de energia, essas muito pequenas, deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis.

Além disso, a mesma Diretiva pontua [33]:

“São necessárias medidas para aumentar o número de edifícios que não se limitem a cumprir os atuais requisitos mínimos de desempenho energético, mas que os ultrapassem, reduzindo assim tanto o consumo de energia como as emissões de dióxido de carbono. Para tal, os Estados Membros deverão elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia e comunicá-los regularmente à Comissão.”

Para que os Estados Membros da União Europeia estejam em concordância com a EPBD, os novos edifícios, a partir do dia 31 de dezembro de 2020, devem ser edifícios com necessidades energéticas quase nulas, e que os edifícios novos ocupados e/ou detidos por autoridades públicas tenham as mesmas características de balanço zero

### 2.4.3 Exemplos de edifícios NetZero

- **Edifício Solar XXI**



Figura 2-11: Fachada sul do edifício Solar XXI [36]

O edifício português da Figura 2-11, localizado em Lisboa, foi construído dentro do Campus do Laboratório de Energia e Geologia, em 2006. Ele conta com área total de 1500 m<sup>2</sup> e as instalações internas são utilizadas como escritórios e laboratórios. O projeto contou com o financiamento do Programa de incentivo às microempresas (PRIME) e faz parte de um projeto de investigação do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) [36].

Na perspectiva do conceito de edifícios autossuficientes, a concepção do edifício Solar XXI visou adotar estratégias passivas, juntamente com a adoção de tecnologias de energias

renováveis, transformando-o em um escritório 10 vezes mais eficiente energeticamente que qualquer outro escritório padrão em Portugal [36].

Gonçalves H, Aelenei L, Rodrigues C (2012) referem-se as estratégias adotadas no Solar XXI de forma apresentada a seguir:

- Isolamento da envolvente do edifício (paredes, pavimentos e cobertura) reduzindo os efeitos das pontes térmicas enquanto a inércia térmica do edifício é preservada.
- Orientação favorável, fachada principal direcionada para o sul juntamente com grande área de envidraçados, garantindo grande incidência de raios solares no interior, diminuindo as necessidades de aquecimento na estação do inverno.
- Venezianas ajustáveis, permitindo que os ocupantes definam a melhor posição para suas necessidades. Essa medida permite diminuir as necessidades energéticas de arrefecimento no verão.
- Tecnologia de arrefecimento utilizando a terra como fonte de ar fresco provinda da tubulação enterrada que chega no interior do edifício Solar XXI.
- Ventilação natural.

Juntamente com essas estratégias, combinou com a instalação de painéis fotovoltaicos e coletores solares para aquecimento das águas.

- **Edifício LUCIA**

O edifício, Figura 2-12, está localizado na Universidade de Valladolid, Espanha, suas instalações contam com laboratórios e com uma área de 7500 m<sup>2</sup>. Intitulado no próprio website [37] da universidade, LUCIA é um “edifício de energia nula, edifício zero emissão de CO<sub>2</sub>”.

Ele foi projetado pensando na economia de energia, no uso de água e no meio ambiente. Construído com materiais de baixo impacto ambiental, além de contar com a política de gestão de resíduos para sua utilização, focando em estratégias de reciclagem e reaproveitamento [37].

Na visão de eficiência energética, o edifício tem uma área de 46% de envidraçados permitindo o aproveitamento da incidência dos raios solares, além disso, o projeto inclui técnicas de ventilação passiva e uso de isolamento na sua envolvente. Isso permite uma economia em 60% das necessidades energéticas [37].

Na parte de produção de energia, sendo ela totalmente renovável, o edifício é alimentado por um sistema de tri geração de biomassa, juntamente com fotovoltaicos e bombas geotérmicas. A produção é destinada, principalmente, para aquecimento, arrefecimento e AQS.



Figura 2-12: Edifício LUCIA, Universidade de Valladolid [37]

- **Pixel Building**

O edifício da Figura 2-13 que possui quatro andares, localizado em Melbourne, Austrália, tem como uso espaços de escritório comercial. Com a utilização de energias renováveis, como eólica e solar, e medidas passivas, o edifício Pixel tem a classificação de ser um edifício de balanço zero em emissões.

Isso só é possível pela alta quantidade de energia gerada pelo edifício que é exportada para a rede elétrica. Esse balanço ainda conta com o reaproveitamento de água da chuva, coletada pelo telhado verde, que posteriormente é tratada e armazenada em tanques para a reutilização dos ocupantes.

Na porção de estratégias passivas, a iluminação artificial tem tecnologia LED. Além disso, possui sombreamento externo que diminui a carga solar incidente. Outra curiosidade do edifício no sentido de mitigar as emissões é a utilização de concreto com carbono incorporado [38].



Figura 2-13: Edifício Pixel e produção de energia *on site* no edifício [38]

- **Eco-village BedZED**

Localizado no subúrbio de Londres, esse complexo de apartamentos e escritórios foi projetado, em 2002, com o objetivo de ser livre da utilização de combustíveis fósseis, diminuir drasticamente as emissões dos gases estufa, e permitir conforto térmico para os ocupantes.

A localização do edifício e toda a estrutura em volta foi pensado para diminuir a dependência de veículos particulares, sendo próximo do comércio local e fácil acesso ao transporte público.

A utilização de materiais garante uma grande massa térmica, permitindo o devido conforto térmico nos apartamentos. Além disso, optou por materiais que estivessem a uma curta distância da construção, diminuindo emissões de carbono no transporte desses [39].

A eficiência energética é garantida com uma grande área de fotovoltaicos e produção provinda da utilização da tecnologia de biomassa, juntamente com estratégias passivas, como orientação privilegiando ganhos solares, grandes áreas de envidraçados, e outros [39].

Como mostra na Figura 2-14, a principal característica desse complexo são as saliências na cobertura dos apartamentos. Esse sistema promove a troca de ar viciado no interior das dependências de forma a não depender de calor para tal processo, isso acontece porque a entrada do sistema está sempre virado para a direção do vento.



Figura 2-14: Eco-village BedZED [39]



## 3. Metodologia

### 3.1 Simulação energética

A utilização de simulações computacionais permite entender como é o comportamento energético do edifício. Sendo uma ferramenta muito útil para engenheiros, arquitetos e pesquisadores, as simulações avaliam os efeitos de cada variável em análises (pormenores, sistemas HVAC, etc.) que compõem o objeto de estudo de forma isolada.

O uso das ferramentas computacionais pode ser realizado em edifícios na fase de projeto, durante a construção, ou até mesmo quando esses já estiverem construídos, fornecendo a vantagem de testar soluções mais eficientes sem necessitar intervir na edificação. Há hoje no mercado diversas opções de softwares que possibilitam a análise do comportamento energético do edifício através de simulações energéticas, pagos e gratuitos. Dessa forma, para a escolha do programa é necessário combinar com o que se pretende obter com a simulação, e com o que o programa oferece para o utilizador.

Para esse trabalho será utilizado o Energy Plus, programa gratuito, *open-source*, desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos da América. Com ele é possível analisar diferentes características dos edifícios, podendo obter resultados para o comportamento energético, abrangendo as necessidades de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e produção de energia por renováveis, entre outros.

A escolha do Energy Plus foi definida pelas vantagens que ele oferece, além da experiência que a universidade possui por tê-lo utilizado em trabalhos anteriores. O funcionamento do programa é feito através da leitura de variáveis de entrada (inputs) em arquivos de texto. Quando realizada a simulação do edifício, o programa gera os resultados (outputs), esses também em arquivos de texto [40].

As informações de entrada no programa, como mostra a Figura 3-1, envolvem o ficheiro climático, as características e pormenores construtivos do edifício e outros dados mais gerais. Cada informação dessa é entendida como um módulo dentro do programa, onde cada módulo tem sua própria informação.

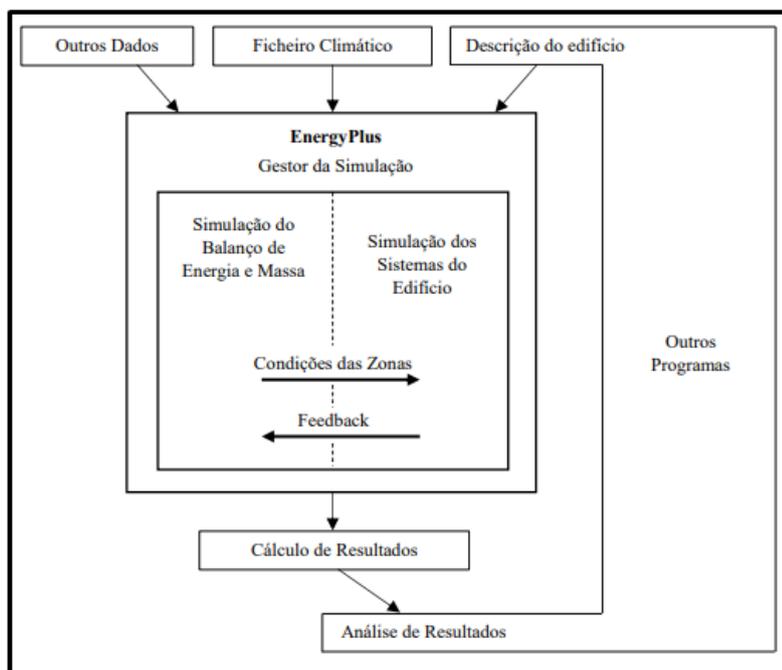


Figura 3-1: Processo de simulação através do software EnergyPlus [41]

O EnergyPlus não apresenta uma interface amigável para o utilizador realizar a modelação e inserção das características do edifício. Dessa forma, em conjunto com o programa foi utilizado outro software para a modelação do caso de estudo, o DesignBuilder.

A utilização do DesignBuilder permite visualização do modelo 3D através de uma interface gráfica amigável e intuitiva. Segundo o desenvolvedor, é possível ter maior produtividade em projetos devido a rapidez e agilidade na introdução de parâmetros do edifício [42].

O desenvolvedor também cita algumas outras vantagens do DesignBuilder:

- Importação de arquivos em projeto BIM e CAD existentes para vantagem inicial de entrada de dados;
- Geração de imagens 3D e renderizadas;
- Simplificação da simulação energética com o EnergyPlus, gerando uma variedade de resultados e relatórios para melhor compreensão do comportamento energético do edifício.

O reconhecimento do EnergyPlus com as informações geradas no DesignBuilder só é possível pois os arquivos são gerados em formato “.idf”, extensão compatível com o programa de simulação energética.

No âmbito da modelação do edifício, é possível adicionar os detalhes construtivos do projeto executado. A biblioteca do programa permite ao usuário adicionar diferentes composições de materiais utilizados em paredes, coberturas e pisos, entre outros elementos.

Cada material já vem configurado com suas características térmicas, entretanto, o utilizador tem liberdade para configurar conforme seus dados de referência. Executado os pormenores, o programa gera os valores térmicos e geométricos finais dos elementos, além de permitir a visualização do corte na transversal.

A Figura 3-2 mostra como o DesignBuilder entende cada cômodo do ambiente interno do edifício como uma zona térmica. A delimitação das zonas acontece através dos elementos construtivos, paredes, pavimentos e cobertura. Cada zona carrega as informações do modelo simulado de temperatura, umidade, radiação solar, ganhos internos entre outros.

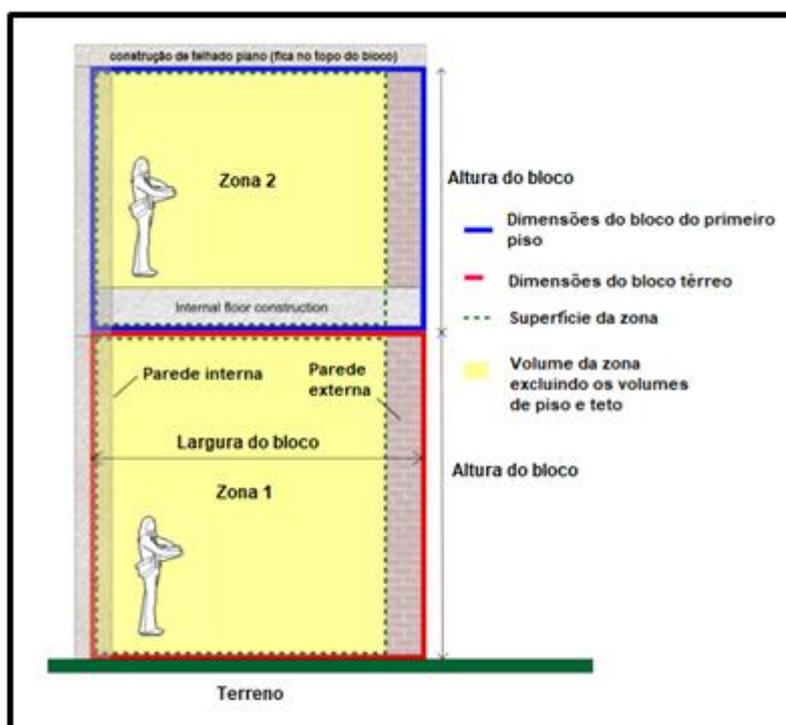


Figura 3-2: Geometria das zonas térmicas no DesignBuilder. Adaptado de [43]

## 3.2 Caso de estudo

### 3.2.1 Características gerais do edifício

O edifício em estudo dessa dissertação compreende uma das três residências dos estudantes do Instituto Politécnico de Viseu (IPV), como mostra a imagem de satélite na Figura 3-4. Localizado dentro do campus, no concelho de Viseu, região central de Portugal, o complexo das residências está localizado na Av. Cor. José Maria Vale de Andrade s/n, bairro Jugueiros.

O edifício habitacional é morada de diversos estudantes do Politécnico que se beneficiam da bolsa de estudo. O local é de responsabilidade dos Serviços Sociais do IPV, o mesmo que disponibilizou o projeto das plantas de pavimentos, cortes e alçados em DWG, além da memória descritiva.



Figura 3-3: Alçado Sudeste da residência dos estudantes do IPV

A residência conta com 64 quartos divididos entre quartos individuais e quartos duplos. Além disso, o espaço conta com área de convivência, sala de estudos, copas equipadas em cada andar e instalações sanitárias.



Figura 3-4: Indicação da residência dos estudantes do Politécnico de Viseu [44]

A orientação dos ambientes internos está condicionada pela posição que o edifício foi construído. Dessa maneira, os quartos apontados para a face sudeste têm maior incidência da luz solar pela parte da manhã, enquanto que os quartos com orientação para o noroeste (Figura 3-4) têm maior aproveitamento da luz solar no horário da tarde.



Figura 3-5: Fachada Noroeste da residência dos estudantes do IPV

### **3.2.2 Dados Climáticos**

O concelho de Viseu está localizado, em Portugal, numa zona de transição entre a região do centro e a região do norte. A cidade tem como clima do tipo mediterrâneo, caracterizado por invernos úmidos com temperaturas médias entre 5°C e 7°C e verões secos com temperaturas médias entre 15°C e 20°C [45].

Viseu apresenta superfícies irregulares, variando a altitude em relação ao nível do mar, entre 400 m e 700 metros. Além disso, a cidade está próxima da Serra da Estrela (ponto mais alto de Portugal continental) e a Serra do Caramulo, sendo o clima influenciado por esses conjuntos montanhosos.

Os meses de verão são concentrados na metade do ano, enquanto que os dias de inverno são no começo e fim do ano, como é característico de países do hemisfério norte. É no mês de janeiro que as menores temperaturas médias são registradas, e o oposto ocorre para o mês de julho.

## **3.3 Modelo de Simulação**

### **3.3.1 Ficheiro climático**

O primeiro passo para a simulação energética é a configuração da região de estudo. É necessário adicionar as informações climáticas de onde se pretende fazer a análise. O acervo do DesignBuilder contém diversas cidades e regiões já com os dados necessários para a simulação. Além disso o usuário pode configurar manualmente com seus próprios valores de referência.

Outra opção é escolher um ficheiro climático que possui uma base de dados climáticos necessários para a simulação energética no EnergyPlus, sendo necessário o formato do ficheiro ser compatível com o programa (EnergyPlus Weather).

No website da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) é disponibilizado uma folha de cálculo (formato Excel), Figura 3-6, contendo as informações climáticas das zonas de Portugal, ajustados para a altitude de cada uma delas. O ficheiro pode ser salvo em formato epw (EnergyPlus Weather), dessa forma, o Energy Plus consegue fazer a leitura do arquivo para a simulação energética.

Algumas das informações relevantes para os resultados desse trabalho serão as temperaturas médias da região, a incidência solar que Viseu recebe, e sua localização no globo (latitude e longitude). O ficheiro ainda conta com médias de irradiação solar e intensidade dos ventos durante o ano, informações importantes para o cálculo de produção de energia por renováveis (solar e eólica).

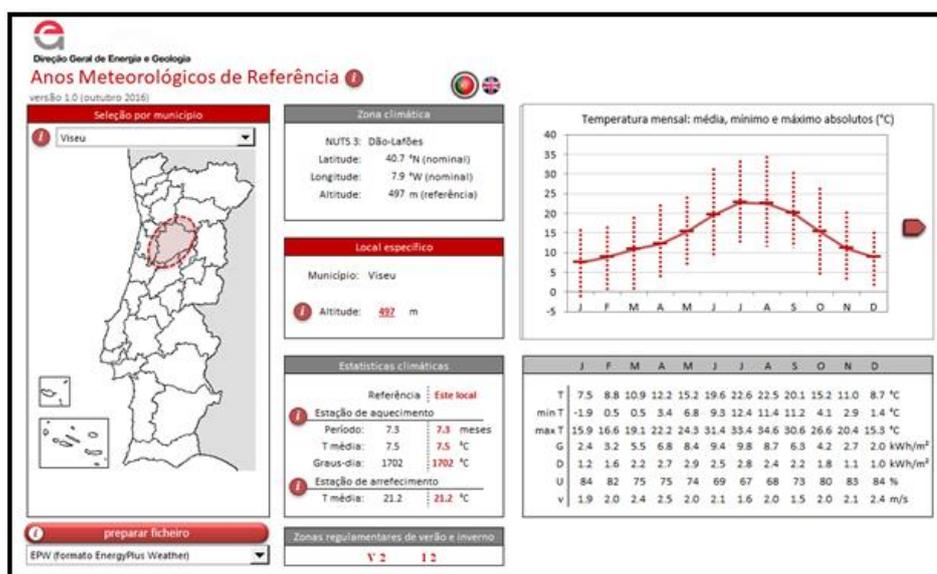


Figura 3-6: Interface do ficheiro climático editável para simulação energética [46]

### 3.3.2 Geometria

Feito as configurações climáticas, o próximo passo é a modelação do edifício. As dimensões do modelo geométrico da residência dos estudantes foram retiradas dos arquivos em DWG, disponibilizados pelo Politécnico. Assim, dentro do Design Builder foi modelado todas as zonas térmicas que dentro do edifício existem.

O projeto possui área ocupada (*Occupied floor área (m<sup>2</sup>)*) de aproximadamente 1575 m<sup>2</sup> e volume ocupado (*Occupied volume (m<sup>3</sup>)*) de quase 4260 m<sup>3</sup>, como mostra a Figura 3-7. O programa, depois de modelado o projeto, calcula esses valores e apresenta, na aba “Atividade” (*Activity*), no menu “Áreas de chão e Volumes” (*Floor Areas and Volumes*).

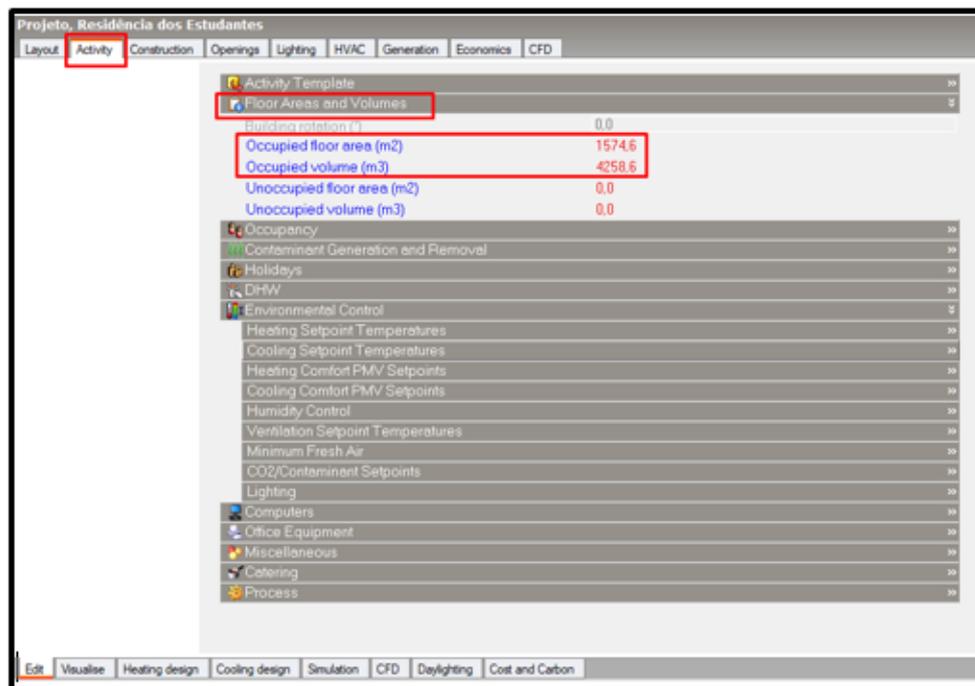


Figura 3-7: Área e volume ocupados do modelo de simulação.

O edifício é separado em 4 pavimentos, o quais estão representados na Figura 3-8, sendo o primeiro destinado, principalmente, para ambientes de convívio entre os estudantes, como sala de estudos, lavanderia e sala de televisão, e nos outros pavimentos estão os quartos, cozinhas e instalações sanitárias destinado para cada piso:

- **Piso 1:** Sala de convívio, salas técnicas, lavandeira, cisternas, sala de estudos, 2 quartos e instalações sanitárias
- **Piso 2:** 20 quartos, 5 instalações sanitárias, 2 cozinhas;
- **Piso 3:** 20 quartos, 5 instalações sanitárias, 2 cozinhas;
- **Piso 4:** 20 quartos, 5 instalações sanitárias, 2 cozinhas;



Figura 3-8: Vista 2D dos pavimentos: a) Piso 1; b) Piso 2; c) Piso 3; e d) Piso 4.

Os quartos foram modelados com as dimensões 4,00 m x 3,25 m (13 m<sup>2</sup>), as instalações sanitárias com 4,00 m x 1,67 m (6,68 m<sup>2</sup>) e a sala de convívio/portaria com 15,00 m x 5,50 m (82,5 m<sup>2</sup>). As zonas térmicas do primeiro pavimento contem pé direito de 3,10 m e os demais pavimentos altura com 2,80 m, sendo assim temos os respectivos volumes de 36,40 m<sup>3</sup>, 18,70 m<sup>3</sup> e 255,75 m<sup>3</sup>. O edifício modelo ao final está representado na Figura 3-9.

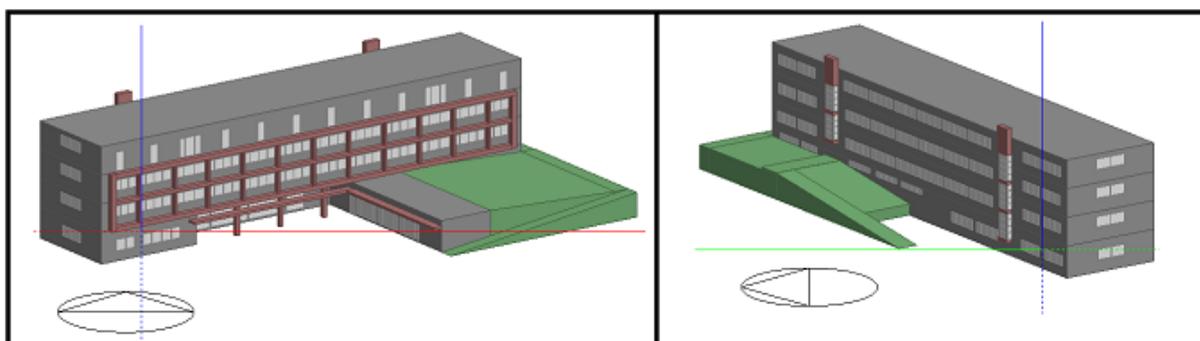


Figura 3-9: Vistas 3D da modelação da Residência dos estudantes do IPV.

A cobertura do projeto modelado tem área total igual a 470 m<sup>2</sup>, área essa que o edifício terá disponível para a disposição dos painéis solares, com as devidas distâncias mínimas entre as fileiras, mesmo que na realidade, o edifício não possui toda sua cobertura disponível para a instalação dessa tecnologia para a produção de energia.

### 3.3.3 Pormenores construtivos

O edifício recentemente passou por reformas no que tange a sua envolvente opaca. Paredes e pavimentos externos e a cobertura tiveram a manutenção necessária com o intuito de prolongar a vida útil desses elementos. Mas mesmo com a reforma, o edifício desde sua construção conta com materiais isolantes que garante que os isolamentos estão dentro dos valores de referência nacional.

Dessa forma, foi utilizado a concepção original da Residência dos Estudantes do IPV para criar, dentro do DesignBuilder, os pormenores construtivos do edifício. Para isso, foi consultada a memória descritiva original, disponibilizada pelo IPV.

O próprio programa de modelação possui em sua biblioteca diversos materiais e suas características físicas e térmicas necessárias para os cálculos energéticos. Entretanto, para esse trabalho foi consultado os valores de referência contidos no manual ITE50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios [47].

Nesse capítulo são apresentados os pormenores construtivos gerados pelo DesignBuilder e a representação do corte transversal, a localização deles no edifício e os valores calculados do coeficiente de transmissão térmica ( $U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]).

### 3.3.3.1 Paredes externas

Existem dois tipos de configurações de paredes externas no edifício. Os dois tipos contam com isolamento em “poliestireno extrudido (EPS)”, o que os diferem são suas espessuras finais e o revestimento externo.

A parede externa do tipo E2, simples, possui revestimento na face externa em “Painéis de Fibrocimento”, enquanto a parede do tipo E1, dupla, é revestida com “Reboco hidráulico pronto” nas faces, além de ser dotada de camada de ar entre os blocos cerâmicos.

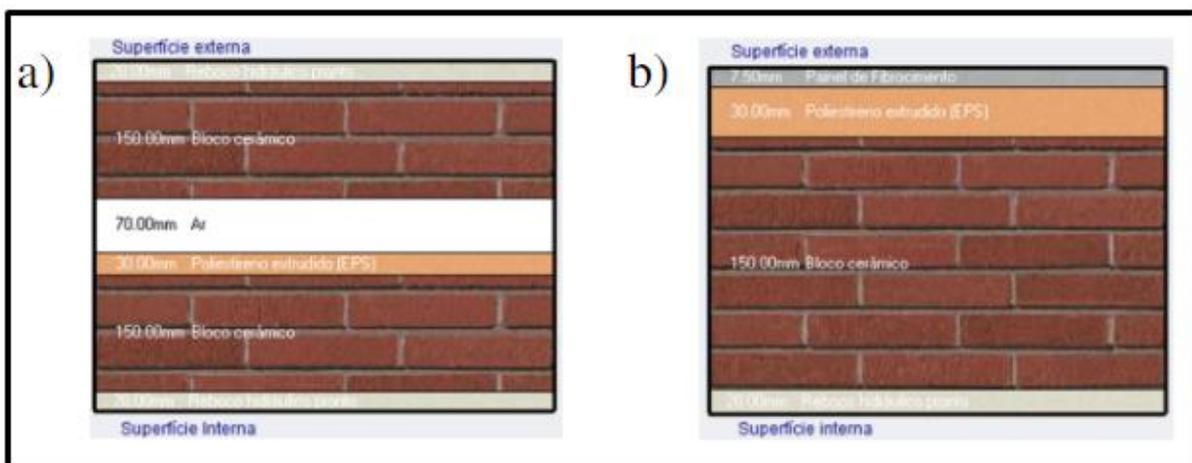


Figura 3-10: Pormenores construtivos das paredes externas: a) Parede externa tipo E1; b) Parede externa tipo E2

Tabela 3-1: Características dos pormenores das paredes externas

Tipo	Localização	Propriedades
Parede E1	Todas as faces exceto na face SE dos pisos 2 e 3	e = 44 cm
		U = 0,655 (W/m <sup>2</sup> .°C).
Parede E2	Face SE	e = 20,75 cm
		U = 0,866 (W/m <sup>2</sup> .°C).

### 3.3.3.2 Paredes Internas

A utilização das paredes internas serve, no edifício de estudo, para delimitar os quartos um dos outros e das instalações sanitárias. Conforme a Figura 3-11, podemos ver as diferentes topologias empregadas na construção.

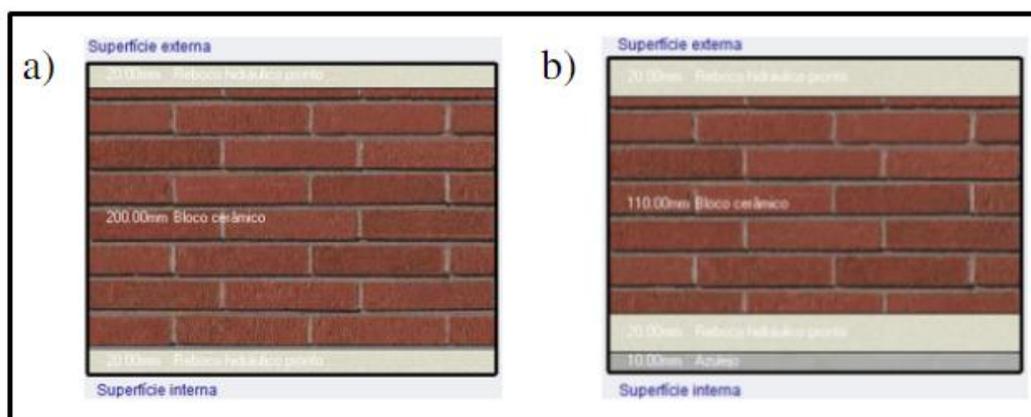


Figura 3-11: Pormenores construtivos das paredes internas: a) Parede interna tipo I1; b) Parede interna tipo I2

Na tabela 3-2 os parâmetros de projeto e de cálculo são sintetizados conforme sua aplicação no edifício.

Tabela 3-2: Características dos pormenores das paredes internas

Tipo	Localização	Propriedades
Parede I1	Divisão das áreas internas secas/secas	e = 24 cm
		U = 2,054 (W/m <sup>2</sup> .°C).
Parede I2	Divisão das áreas internas secas/húmidas	e = 16 cm
		U = 2,648 (W/m <sup>2</sup> .°C).

### 3.3.3.3 Pavimentos

O revestimento do pavimento pode mudar se utilizado em áreas molhadas. Nesse caso, o revestimento é em porcelana, ao invés de linóleo. Outro detalhe a ser observado é o teto falso, no edifício inteiro é utilizado gesso acartonado, exceto em áreas molhadas, que para esse caso não tem.

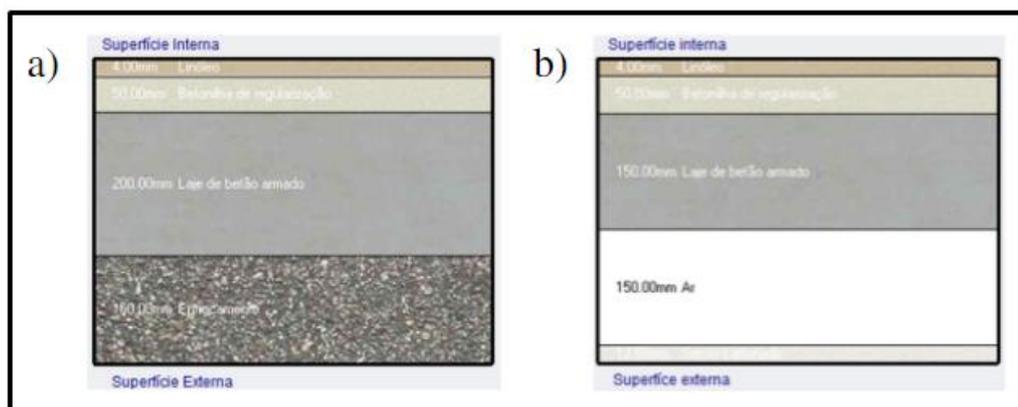


Figura 3-12: Pormenores construtivos dos pavimentos: a) Pavimento térreo P1; b) Pavimento intermediário P2

Tabela 3-3: Características dos pormenores dos pavimentos

Tipo	Localização	Propriedades
Pavimento P1	Térreo	$e = 40,40 \text{ cm}$
		$U = 2,304 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C)}$
Pavimento P2	Entre pisos	$e = 36,65 \text{ cm}$
		$U = 1,647 \text{ (W/m}^2\cdot\text{°C)}$

### 3.3.3.4 Cobertura

A mesma lógica utilizada para os pavimentos intermediários onde existe área molhada, para a cobertura também é retirado o gesso acartonado e deixado apenas reboco hidráulico abaixo da laje.

A cobertura na face mais externa é dotada de seixo rolado com espessura de 50,00 mm, como mostra a Figura 3-13, seguida do revestimento em EPS, camada de forma e mais interno, a laje em betão armado.

A representação do corte transversal fica de difícil visualização e observação das camadas, devido a textura utilizada pelo DesignBuilder para representar os materiais utilizados.



Figura 3-13: Pormenor construtivo da cobertura C1

Tabela 3-4: Características do pormenor da cobertura.

Tipo	Localização	Propriedades
Cobertura C1	Fases externas superiores	$e = 46,25 \text{ cm}$
		$U = 0,639 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$

### 3.3.3.5 Envidraçados

Segundo a memória descritiva da residência dos estudantes, os vãos envidraçados têm espessura total de 16 milímetros, compostos por duas chapas de 6 milímetros e 4 milímetros, separados por uma caixa de ar de 6 milímetros.

Para esse pormenor é importante, além do coeficiente de transmissão térmica, o fator solar final ( $g$ ). Os valores são apresentados na Tabela 3-5.

Tabela 3-5: Características dos envidraçados

Tipo	Localização	Propriedades
Envidraçados	Vidros externos	$g = 0,712$
		$U = 3,121 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$

## 3.3.4 Variáveis de entrada no Energy Plus – Conforto térmico

### 3.3.4.1 Ocupação

Ao todo, dentro da Residência dos estudantes, existem 62 quartos, dos quais 42 são quartos duplos e 20 são quartos individuais. Sendo assim, vivem ao menos 104 pessoas durante o ano. Além dos estudantes, foram também contabilizadas as pessoas da parte de operação do edifício (portaria, pessoal da limpeza e da segurança).

Com uma área total de aproximadamente 1575 m<sup>2</sup>, o valor de pessoas por metro quadrado (people/m<sup>2</sup>) foi de 0,075, como mostra a Figura 3-14. Esse seria o valor para todo o ano se a ocupação no edifício fosse constante. Como existe período de férias, provas, finais de semana e diferença nos turnos das aulas, é necessário ajustar a ocupação para essas variações.

Para definir as datas durante o ano letivo do Politécnico de Viseu, foi utilizado o calendário escolar do Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação 2021/2022, disponibilizado para os alunos do curso. Dessa forma, dentro do DesignBuilder, foi programado as frações da ocupação, definindo os períodos entre o máximo 1 e o mínimo 0.

Por exemplo, durante os dias do “período letivo” o horário 00:00 até as 08:00 a fração da ocupação tem valor 1 (0,075 pessoas/metro quadrado). Das 08:00 até 12:00 a fração da ocupação tem valor 0,5, pois entende que metade dos alunos que moram no edifício foram assistir as aulas da manhã. Depois eles voltam, almoçam até as 14:00, então a ocupação atinge valor máximo novamente. Das 14:00 até as 18:00, a ocupação volta a ser metade, pois metade dos alunos vão assistir as aulas da tarde. Por fim, os alunos retornam e a ocupação volta a ter valor máximo.

Em períodos de férias a ocupação não chega atingir valor máximo de 0,075 pessoas/m<sup>2</sup>, pois foi definido que alguns alunos retornam para suas cidades. Aos finais de semana, quando em época do “período letivo”, foi definido que a ocupação aos sábados e domingos tem valor de 0,5. Nos feriados e férias esse valor é menor, nesses dias da semana.

Na aba “Atividade” (Activity), no sub menu “Ocupação” (Occupancy) é definido o valor da ocupação total no edifício. E é em “Agenda” (Schedule) que as frações são definidas. Isso só foi possível devido ao DesignBuilder ser capaz de programar as frações conforme o ano. Foi utilizado a função agenda compacta.

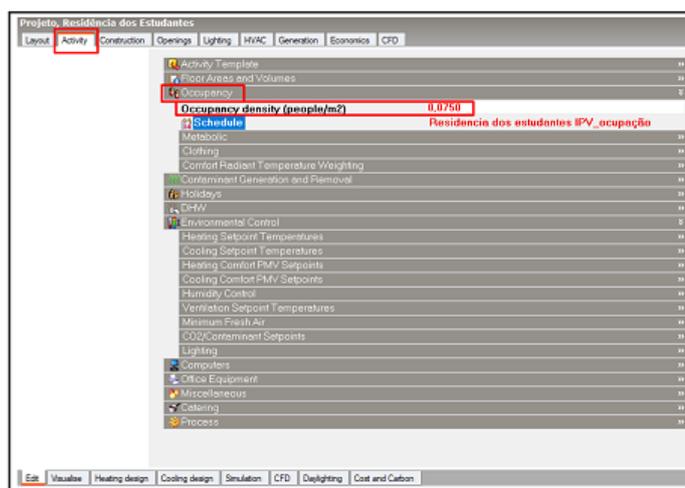


Figura 3-14: Ocupação do modelo de simulação

### 3.3.4.2 Ventilação

A introdução dos valores de ventilação é mostrada na Figura 3-15.

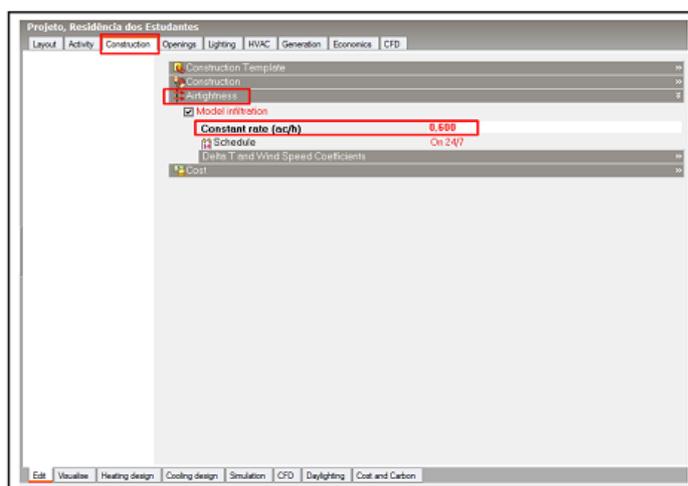


Figura 3-15: Renovações horárias de ar no modelo de simulação

Em linha com as normas e os regulamentos atualmente em vigor, a taxa de referência para a renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior é definida como sendo 0,6 renovações por hora, independente se o edifício é dotado ou não de sistemas mecânicos de ventilação.

Dentro do DesignBuilder, na aba “Construção” (Construction), no sub menu “Infiltração” (Airtightness), existe o campo “Taxa constante” (Constant rate (ac/h)) onde é definido a ventilação/renovação do ar por hora (ac/h) dentro do edifício. Esse valor, constante ao longo do ano, foi definido na agenda desse parâmetro para estar ligada 24 horas por dia, durante toda a semana (On 24/7).

#### 3.3.4.3 Proteção solar

A proteção solar ou o sombreamento do edifício é definido no DesignBuilder na aba “Aberturas” (Openings), no sub menu “Sombreamento” (Shading). Para o modelo simulado, foi definido um valor em que a proteção solar é acionada. O caminho é mostrado na Figura 3-16.

Com valor de  $120 \text{ W/m}^2$  entrando pela janela, os alunos, como é entendido pelo programa, acionam esse mecanismo de proteção contra os raios solares. Além disso, no DesignBuilder é possível definir a “Posição” da proteção. Nesse trabalho foi configurado para estar “Dentro” (Inside) do edifício.

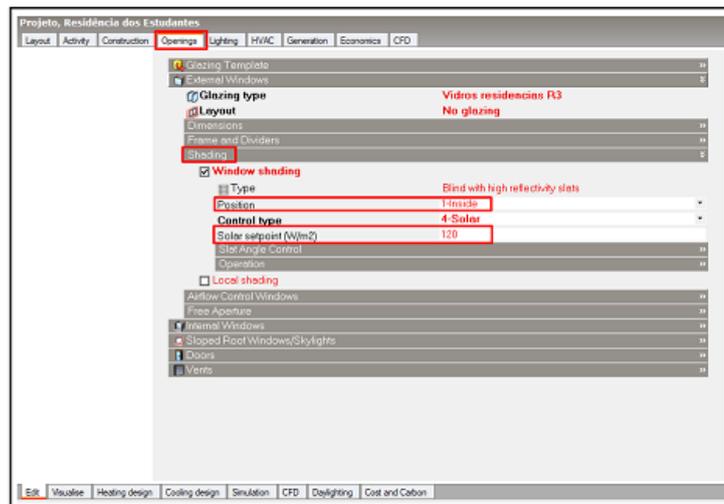


Figura 3-16: Proteção solar do modelo de simulação

### 3.3.5 Geração de energia

Utilizando a funcionalidade de geração de energia no DesignBuilder, optou por utilizar painéis “Fotovoltaicos” (*Photovoltaic*) para a produção energética do edifício. Além dessa opção, o programa ainda permite aproveitar a irradiação solar para aquecimento de águas e utilização do vento para a geração de eletricidade.

Para o modelo de simulação utilizou o modelo de desempenho do tipo circuito “Simple” (*Simple*), com 20 % de eficiência da célula (*PV Constant Efficiency = 0,20*), área ativa de 1,62m<sup>2</sup> (250 Wp). Os dados são mostrados na Figura 3-17. A inclinação utilizada foi a mesma da latitude do local do edifício, e os painéis estavam sempre orientados para sul.

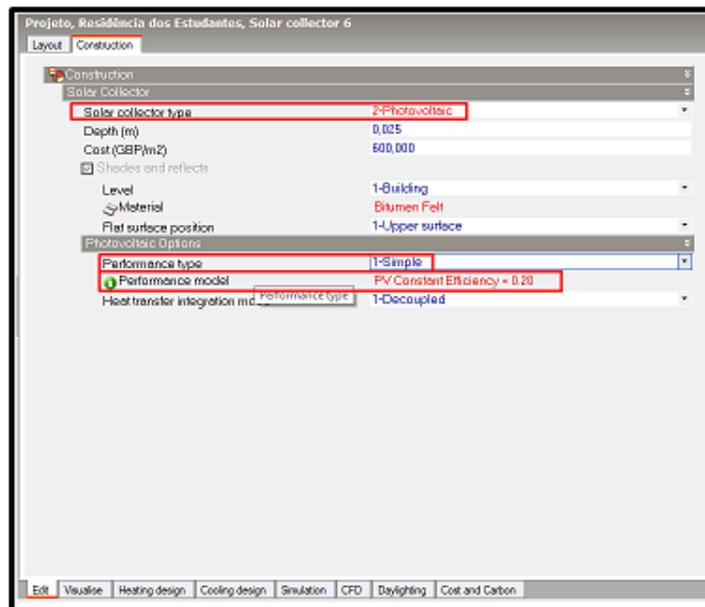


Figura 3-17: Geração de energia solar no modelo de simulação

### 3.3.6 Armazenamento de energia

Para o sistema de armazenamento de energia optou por utilizar a opção do tipo “Armazenamento simples”. Com isso, pretende-se ter uma análise simplificada do funcionamento da bateria quando utilizada em edifícios.

Abrindo as configurações dos “Centros de carga” (*Lead center*) na aba “Geração” (*Generation*), essa opção é acessada selecionando a categoria “Armazenamento simples” (*Simple storage*) na caixa de diálogo “Armazenamento” (*Stores*). A Figura 3-18 mostra o passo a passo realizado para essa funcionalidade.

A capacidade da bateria foi dimensionada para o pior dia do modelo simulado em questão de consumo energético. A partir desse dado foi escolhido uma com essa capacidade (680 kWh), uma com capacidade inferior (150 kWh) e outra com capacidade superior (2040 kWh), para as simulações. Cada uma delas iniciou as simulações carregadas nas porcentagens de 50% (340 kWh), 70% (110 kWh) e 15% (340 kWh), respectivamente.

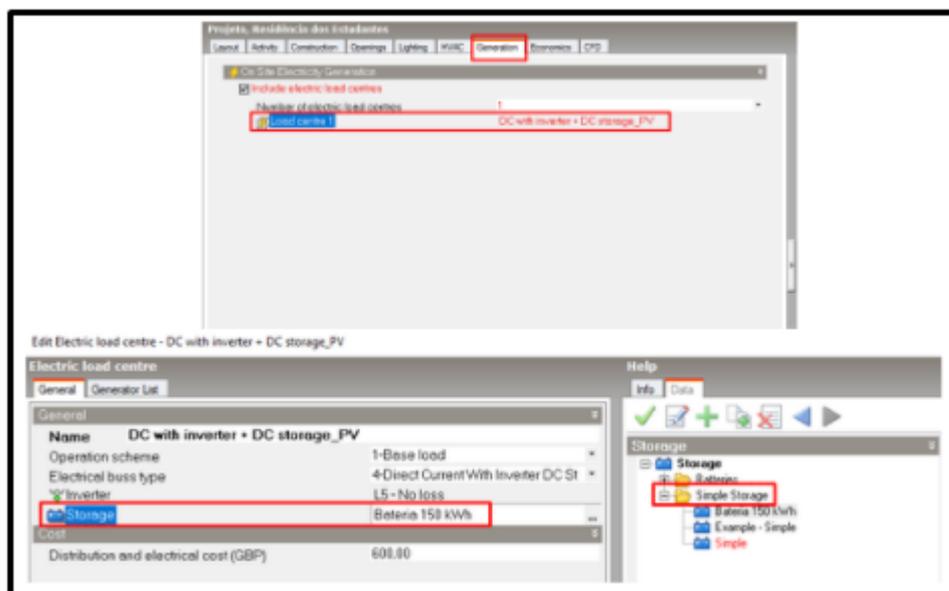


Figura 3-18: Armazenamento de energia no modelo simulado

Para que os painéis solares possam trabalhar juntamente com o sistema de armazenamento de energia, definiu no DesignBuilder, os “Centros de carga” (*Load center*) trabalhando em sistema “DC com inversor” (Painéis fotovoltaicos) + “DC armazenamento” (Baterias) (*DC with inverter + DC storage*).

## 3.4 Avaliação do conforto térmico do modelo de simulação

### 3.4.1 Considerações iniciais

O conforto analisado do modelo de simulação foi efetuado no período de um ano, do dia 1 de janeiro até 31 de dezembro. O objetivo desse primeiro cenário de simulação serve para justificar as necessidades de um sistema de climatização no edifício.

Com os resultados pretende-se apresentar gráficos que mostram as variações de temperatura ao longo do ano, dentro da residência. Para essa análise, foi definido um intervalo de temperaturas, intervalo esse considerado dentro dos padrões de conforto térmico. Esse intervalo, em conformidade com o Decreto-Lei nº 101/2020 e os regulamentos em vigor para conforto térmico, é definido entre 20°C e 25°C. Com essas temperaturas pretende-se atingir maior quantidade de pessoas com a “sensação” de conforto térmico dentro da Residência dos Estudantes.

A análise do conforto térmico não ficará restrito apenas a temperatura média do edifício, será analisado diferentes ambientes internos, com diferentes orientações, para serem feitas as devidas comparações. Optou-se por essa abordagem para uma análise mais criteriosa.

Para o piso 1 definiu a sala de convívio e o quarto 1.1 (Figura 3-19) para a análise do conforto térmico, com alçados a sudoeste e noroeste, respectivamente.

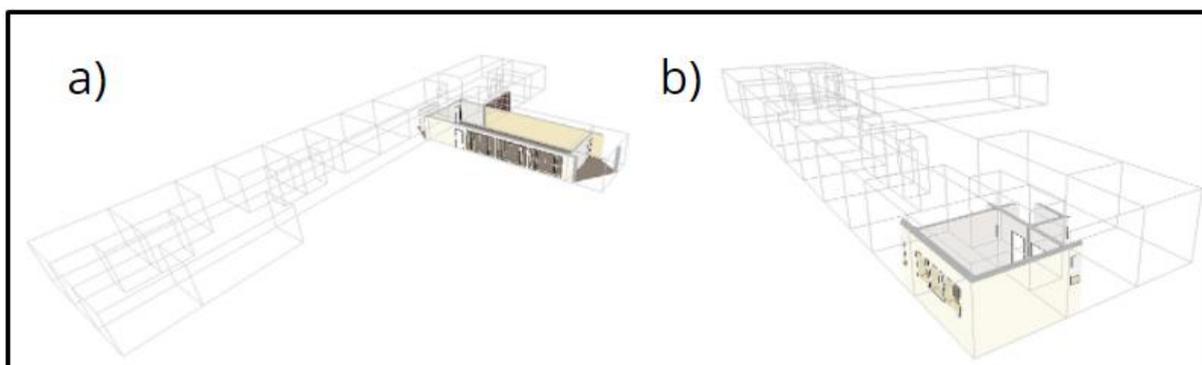


Figura 3-19: Imagem renderizada piso 1: a) Sala de convívio b) quarto 1.1

Para o restante dos pisos será simulado um quarto para cada face do edifício (Figura 3-20). Apesar da similaridade entre os pisos 2, 3 e 4, existe diferenças de exposição solar entre eles, além disso, o piso 4 por ser cobertura, está mais sujeito a variações de temperatura que os pavimentos abaixo dele.

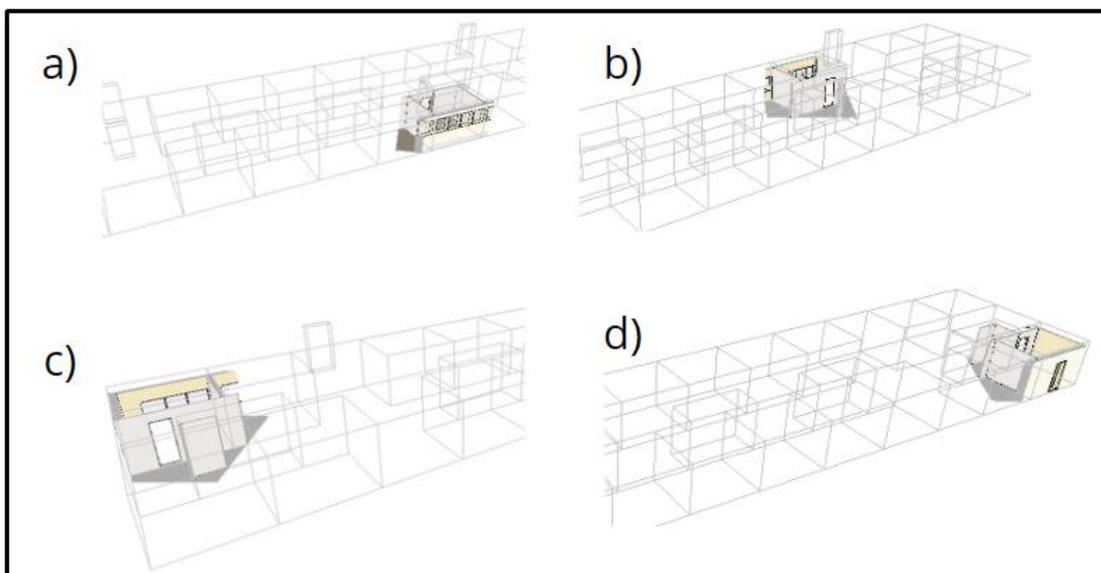


Figura 3-20: Ambientes internos: a) piso 2 – quarto face SE b) piso 3 – quarto face NO c) piso 3 – quarto faces SO e NO d) piso 4 – quarto faces SE e NE

### 3.4.2 Validação do desconforto térmico

Com base nas temperaturas internas, será usado dois indicadores de desconforto térmico para analisar as temperaturas que estão fora do limite, 20°C a 25°C. Os dois indicadores levam em consideração as variações de temperatura que estão acima do limite e abaixo do limite.

O indicador 1, para cada hora que a temperatura interna, durante um ano, está fora do limite ele computa o valor de 1. Ao contrário, ele computa o valor de 0. A somatória de todas as horas em desconforto térmico é somada. Tendo o somatório para os valores a cima de 25°C e abaixo de 20°C é dividido, cada um dos somatórios, por 8760 horas (quantidade de horas no ano). A equação que descreve os dois indicadores são a Equação 3-1 e 3-2.

Esse primeiro indicador representa a porcentagem de tempo, durante um ano, que o edifício passou em desconforto.

$$\text{Indicador } 1_{20^{\circ}\text{C}}(\%) = \frac{\sum \text{n}^{\circ} \text{ horas em desconforto abaixo de } 20^{\circ}\text{C}}{8670} \times 100 \quad (3-1)$$

$$\text{Indicador } 1_{25^{\circ}\text{C}}(\%) = \frac{\sum \text{n}^{\circ} \text{ horas em desconforto a cima de } 25^{\circ}\text{C}}{8670} \times 100 \quad (3-2)$$

O indicador 2, Equações 3-3 e 3-4, representa a temperatura média das temperaturas que estão fora dos limites. Para esse indicador, primeiro é feita a diferença entre a temperatura de cada dia durante o ano com o limite, superior ou inferior. Nesse caso não existem valores negativos, ou seja, se a temperatura de um dado dia está dentro do limite, o valor da diferença é 0.

Depois desse passo, são somadas todas as diferenças, e dividido pelos dias de desconforto térmico. A fórmula que representa o indicador 2 é a seguinte:

$$\text{Indicador } 2_{20^{\circ}\text{C}}(^{\circ}\text{C}) = 20 - \frac{\Sigma(20^{\circ}\text{C} - T_{\text{interna}})}{\Sigma \text{n}^{\circ} \text{ horas em desconforto abaixo de } 20^{\circ}\text{C}}, \text{ se } T_{\text{interna}} < 20 \quad (3-3)$$

$$\text{Indicador } 2_{20^{\circ}\text{C}}(^{\circ}\text{C}) = \frac{\Sigma(T_{\text{interna}} - 25^{\circ}\text{C})}{\Sigma \text{n}^{\circ} \text{ horas em desconforto abaixo de } 20^{\circ}\text{C}} - 25, \text{ se } T_{\text{interna}} > 25 \quad (3-4)$$

### 3.5 Geração de energia do modelo de simulação

Após a verificação do conforto térmico, os resultados nessa parte do trabalho serão com foco nas necessidades energéticas necessárias para o sistema de climatização manter a temperatura do ambiente nos limites de 20°C – 25°C, durante o ano.

Com o objetivo de suprir essa demanda energética através da geração em sítio por painéis fotovoltaicos e baterias com diferentes capacidades, as simulações focaram na quantidade necessária dessas tecnologias para obter o balanço zero para a climatização do ambiente.

Será simulado a quantidade de geradores de eletricidade na quantidade de 100%, 75%, 50% e 25% da cobertura disponível para a instalação deles. Combinado a isso, será feito para cada uma desses cenários, a simulação com baterias com capacidade de 150 kWh, 680 kWh e 2040 kWh. O Resumo dessas simulações é apresentado na Tabela 3-6:

Tabela 3-6: Resumo das simulações para geração de energia

<b>% Painéis fotovoltaicos</b>	<b>Baterias</b>
100%	150 kWh
	680 kWh
	2040 kWh
75%	150 kWh
	680 kWh
	2040 kWh
50%	150 kWh
	680 kWh
	2040 kWh
25%	150 kWh
	680 kWh
	2040 kWh

- 100 % corresponde a 470 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos
- 75% corresponde a 352,5 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos
- 50% corresponde a 235 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos
- 25% corresponde a 117,5 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos

Tal construção é apenas teórica a fim de dar foco na produção de fotovoltaicos juntamente com sistemas de armazenamento de energia. Isso porque, na realidade, o edifício apresenta algumas saliências na sua cobertura que impedem a utilização completa da superfície para a instalação de painéis solares.

### 3.5.1 Horas de cheia e horas de vazio

Ao comparar as capacidades dos sistemas de armazenamento do edifício, será analisado os períodos de injeção de energia elétrica durante o uso das necessidades energéticas do edifício.

O cálculo do tarifário energético é baseado nas horas de consumo do edifício. Nos momentos que a rede elétrica é mais solicitada (horas de cheia) pelos usuários o quilowatt hora é mais caro, e nos momentos que ela é menos solicitada (horas de vazio) o quilowatt hora é mais barato. Para a análise dos resultados será levado em consideração os períodos apresentados na Tabela 3-7:

Tabela 3-7: Período de cheia e vazio da rede elétrica

<b>Período de horas de cheia</b>	<b>Período de horas de vazio</b>
08:00 – 22:00	22:00 – 08:00

Cada período desse possui um tarifário diferente. Isso porque nos períodos mais solicitados da rede elétrica, maior o valor de operação do sistema, enquanto que os custos operacionais são menores no período de vazio, onde a rede elétrica é menos solicitada. Os tarifários utilizados para os resultados são apresentados na Tabela 3-8:

Tabela 3-8: Tarifário do período de cheia e do período de vazio

<b>Horário</b>	<b>€/kWh</b>
<b>Hora de Cheia</b>	0,24
<b>Hora de Vazio</b>	0,18

## 4. Apresentação e discussão dos resultados

### 4.1 Conforto térmico do modelo simulado

#### 4.1.1 Orientação Sudeste (SE)

O quarto com essa orientação tem maior incidência solar. Devido a esse fato, esses apresentam temperaturas levemente maiores que os outros ambientes dentro do edifício. Isso causa um desconforto ameno nos meses de aquecimento, entretanto, para os meses de arrefecimento o desconforto é maior. Isso é mostrado na Figura 4-1. O edifício está orientado a 35°, em relação ao norte.

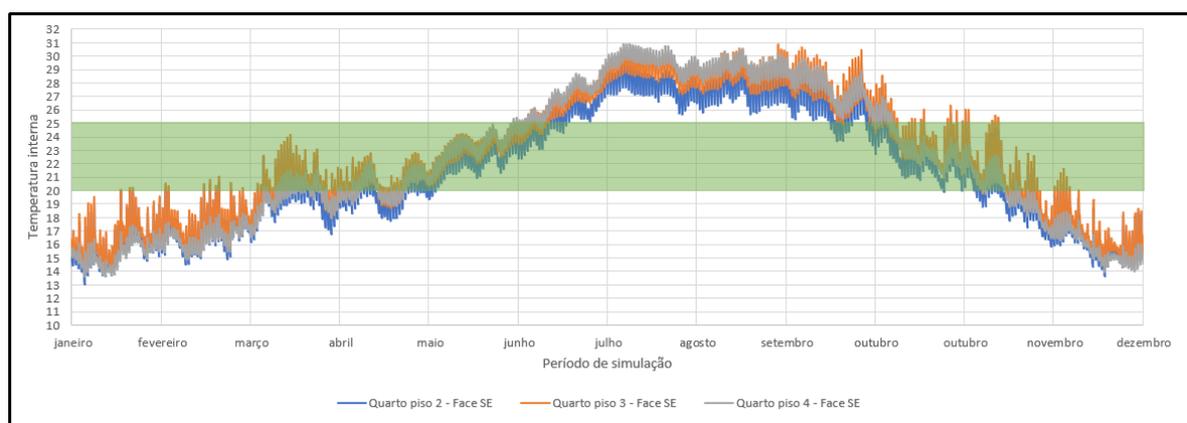


Figura 4-1: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Sudeste.

Para os meses de inverno o “Piso 4” e o “Piso 2” apresentam temperaturas semelhantes. Enquanto que o primeiro tem uma superfície maior de trocas de calor com o meio externo, considerando a cobertura, o segundo, tem uma grande área de envidraçados, o que também

facilita as trocas de calor. Entretanto, nos meses de verão essa lógica é mais desfavorável para o “Piso 4” que registra as maiores temperaturas.

São nesses meses que o “Piso 4” apresenta um sobreaquecimento a mais que os outros pisos, para essa orientação, além disso, o sol incide diretamente na cobertura. O que não acontece com o “Piso 2” e o “Piso 3”, que além de terem menor superfície de troca de calor, ainda apresentam maior superfície de proteção solar, devido a grande quantidade de envidraçados que essa fachada possui. As diferenças do desconforto térmico em cada um dos pisos são apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudeste.

	<b>Indicador 1 (%)</b>		<b>Indicador 2 (°C)</b>	
	<b>Abaixo do limite</b>	<b>Acima do limite</b>	<b>Abaixo do limite</b>	<b>Acima do limite</b>
<b>Quarto Piso 2</b>	40,71%	29,30%	2,81°C	2,23°C
<b>Quarto Piso 3</b>	33,70%	33,56%	2,65°C	3,04°C
<b>Quarto Piso 4</b>	39,01%	33,52%	3,12°C	3,27°C

Através do indicador 1, é possível ter uma noção do tempo que os quartos ficam em desconforto térmico durante o ano. O “Piso 4” fica 72,53% das horas, durante um ano, em desconforto térmico, o que significa que, menos de 1/3 das horas do ano as temperaturas internas estão dentro do limite.

Quanto ao indicador 2, a menor média, inferior ao limite, é do “Piso 3”, isso também é de fácil visualização pela Figura 4-1, onde mostra o piso com temperaturas maiores nos meses de inverno. E a menor média, superior ao limite, é do “Piso 2”.

### 4.1.2 Orientação Noroeste (NO)

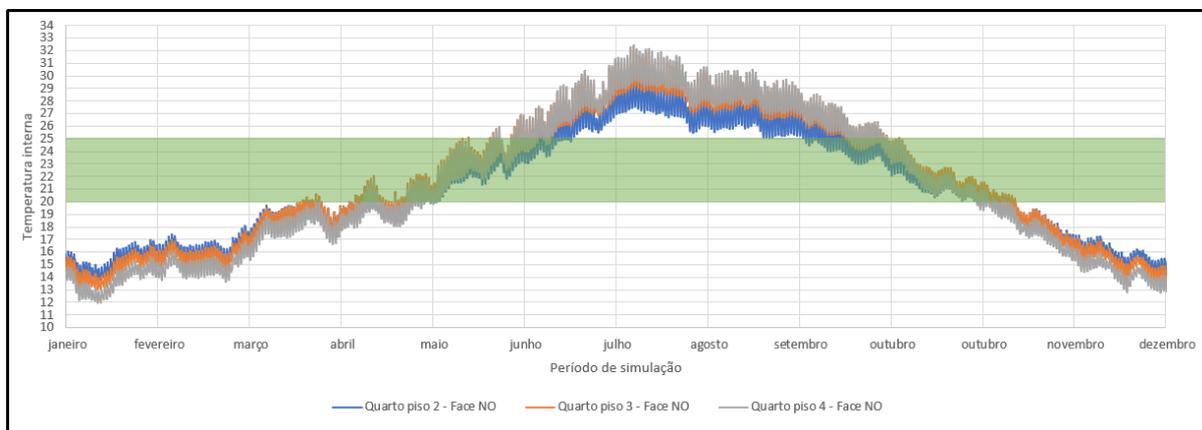


Figura 4-2: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Noroeste.

Ao contrário dos quartos com orientação a sudeste, o quarto com orientação a noroeste tem o menor tempo direto de exposição à luz solar. Isso tem relação direta com as temperaturas internas dos ambientes, conforme a Figura 4-2.

E de fato, se observar para as temperaturas máximas e mínimas das duas orientações, por menor que seja a diferença, a fachada a noroeste registrou os menores valores.

Além disso, é nessa orientação que a maior área de troca de calor com o meio externo do “Piso 4” teve influência sobre a temperatura interna desse piso. Comparado com o “Piso 2” e o “Piso 3”, o quarto do quarto piso foi o mais gelado na estação de aquecimento, e o quarto mais quente na estação de arrefecimento.

Tabela 4-2: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudeste.

	Indicador 1 (%)		Indicador 2 (°C)	
	Abaixo do limite	Acima do limite	Abaixo do limite	Acima do limite
<b>Quarto Piso 2</b>	46,21%	25,63%	2,99°C	1,82°C
<b>Quarto Piso 3</b>	44,84%	30,81%	3,36°C	2,80°C
<b>Quarto Piso 4</b>	48,00%	30,96%	3,87°C	3,07°C

Os indicadores de desconforto térmico na Tabela 4-2 confirmam que para o verão e o inverno o “Piso 4” apresentou as maiores médias de temperatura fora dos limites. Unido a isso, quase 80% das horas do ano o quarto nesse piso passou em desconforto.

A falta da luz direta do sol em muitos momentos do dia também trouxe prejuízo para os outros quartos. O indicador 1 do “Piso 2” teve uma diferença significativa, mostrando que é

nos meses de aquecimento que os ocupantes mais sofrem no interior do ambiente. Para o “Piso 3”, o indicador 2, “Abaixo do limite”, foi o mais significativo.

### 4.1.3 Orientação Noroeste (NE)

Os quartos com essa orientação estão localizados entre a transição de duas faces do edifício, ao extremo norte. Metade das paredes externas estão orientadas para noroeste, onde tem a presença das aberturas, e a outra metade, com face para nordeste. Devido a esse fato, os resultados se assemelham com os resultados dos quartos da orientação anterior. Apesar de receberem ainda menos luz solar direta. E isso é mostrado com os indicadores de desconforto térmico. Como mostra a Figura 4-3.

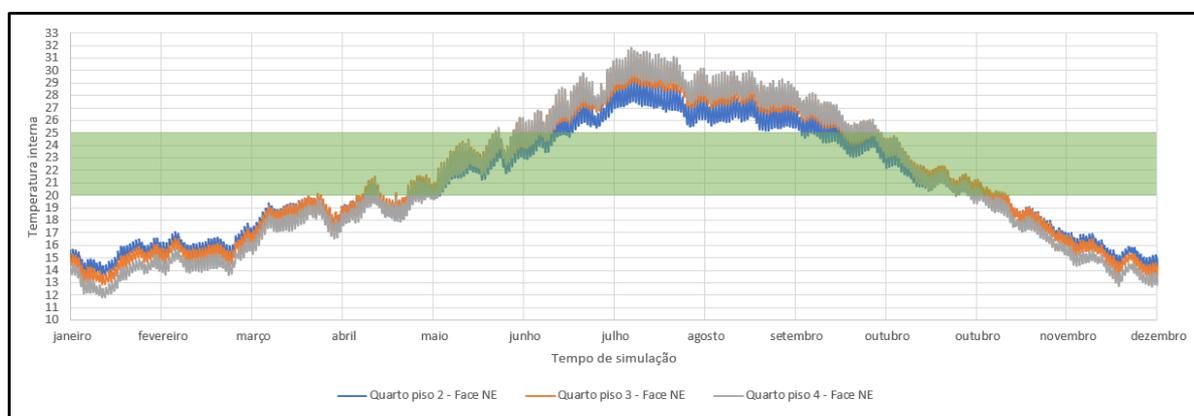


Figura 4-3: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Noroeste

Tabela 4-3: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Noroeste

	<b>Indicador 1 (%)</b>		<b>Indicador 2 (°C)</b>	
	<b>Abaixo do limite</b>	<b>Acima do limite</b>	<b>Abaixo do limite</b>	<b>Acima do limite</b>
<b>Quarto Piso 2</b>	47,81%	24,92%	3,08°C	1,68°C
<b>Quarto Piso 3</b>	46,50%	29,78%	3,46°C	2,64°C
<b>Quarto Piso 4</b>	49,14%	30,07%	3,98°C	2,94°C

De fato, “Abaixo do limite”, do indicador 1, como mostra a Tabela 4-3, para os quartos com orientação a nordeste, todos os valores são maiores que os quartos com orientação a noroeste, ou seja, passam mais tempo em desconforto térmico na estação de aquecimento. Isso tem grande influência da luz direta do sol.

#### 4.1.4 Orientação Sudoeste (SO)

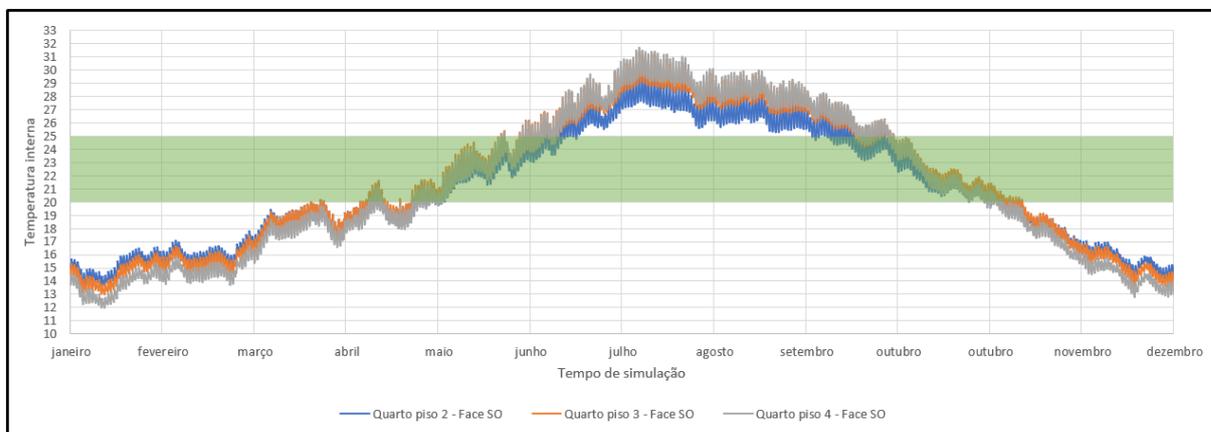


Figura 4-4: Temperatura interna do modelo simulado – Orientação Sudoeste

Da mesma forma que os resultados dos quartos a noroeste são similares aos quartos a nordeste, nesse caso, o quarto a sudoeste tem similaridade de resultados com os quartos a sudeste como mostra a Figura 4-4. Eles também estão localizados na transição de duas faces do edifício: metade das paredes externas estão orientadas a sudeste (localização das aberturas), e a outra metade a sudoeste.

A diferença dos resultados dessa orientação para a orientação a sudeste está no fato das temperaturas internas do “Piso 4” estarem nos extremos, tanto na estação de aquecimento, quanto na estação de arrefecimento, o que não acontecia, durante todo o ano, para as temperaturas dos quartos com orientação a sudeste.

Apesar das temperaturas máximas e mínimas serem parecidas com a orientação a sudeste, o indicador de desconforto térmico tem diferença significativa, como mostra a Tabela 4-4. O “Piso 4” para essa orientação registrou quase 80% das horas do ano em desconforto térmico. Além disso, o “Piso 3” nessa orientação apresentou mais de 10 pontos percentuais (p.p) de diferença que o “Piso 3” com orientação a sudeste.

Tabela 4-4: Indicadores de desconforto térmico - Orientação Sudoeste

	Indicador 1 (%)		Indicador 2 (°C)	
	Abaixo do limite	Acima do limite	Abaixo do limite	Acima do limite
<b>Quarto Piso 2</b>	47,26%	25,57%	3,08°C	1,74°C
<b>Quarto Piso 3</b>	45,83%	30,21%	3,42°C	2,65°C
<b>Quarto Piso 4</b>	48,62%	30,45%	3,91°C	2,92°C

Algo que pode justificar essa diferença é o mecanismo de sombreamento que o próprio edifício tem, com os elementos de betão. Devido ao quarto com a orientação a sudoeste está no canto do edifício ele tem mais influencia do sombreamento que os quartos localizados no meio do piso.

#### 4.1.5 Piso 1

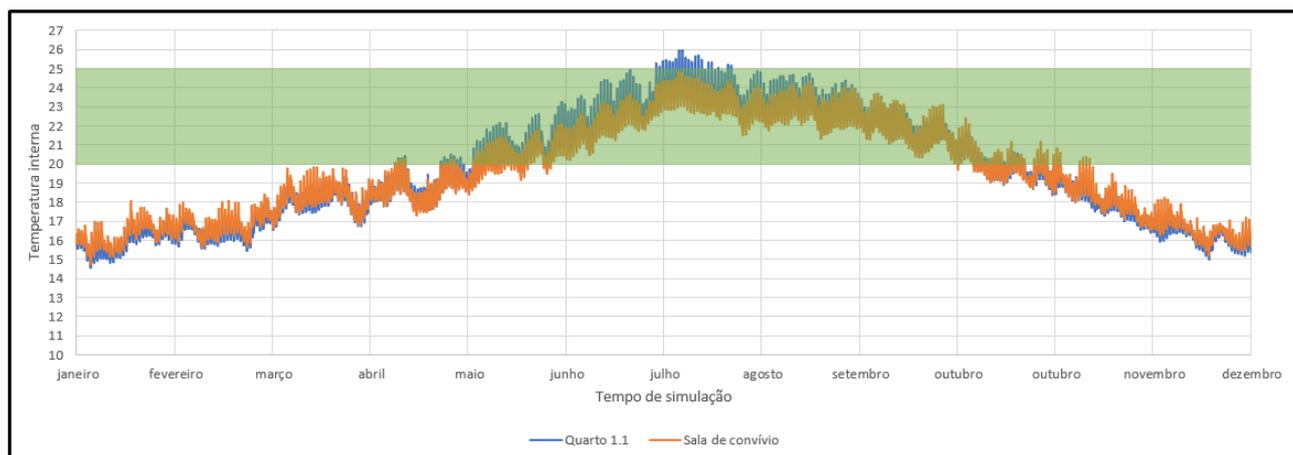


Figura 4-5: Temperatura interna do modelo simulado – Piso 1.

Pela observação da Figura 4-5, referente aos resultados do “Piso 1”, vemos que, na estação de arrefecimento, os ambientes internos registraram as menores temperaturas. Algo que não tinha sido observado ainda, era o fato das temperaturas, nessa época do ano, estarem dentro do limite de conforto térmico.

Tabela 4-5: Indicadores de desconforto térmico – Piso 1

	Indicador 1 (%)		Indicador 2 (%)	
	Abaixo do limite	Acima do limite	Abaixo do limite	Acima do limite
<b>Quarto 1.1</b>	56,86%	0,70%	2,55°C	0,34°C
<b>Sala de convívio</b>	57,09%	0,00%	2,31°C	-

Devido ao solo possuir temperatura constante durante o ano, esse fato pode ajudar no arrefecimento do ambiente, mesmo que apenas em contato, sem a presença de bombas de calor, como é o caso do “Piso 1”. Entretanto, esse fato pode ter resultados indesejáveis durante a estação de aquecimento. Foi nesse piso que registrou os maiores valores “Abaixo do limite”, do indicador 1, se comparado com as simulações anteriores.

### 4.1.6 Edifício completo

Por fim, os valores médios do edifício como um todo são apresentados na Figura 4-6. Os resultados das temperaturas internas e dos indicadores de desconforto térmico (Tabela 4-6) para essa parte são a média de todas as zonas térmicas do edifício, por isso, é importante uma análise detalhada delas, antes de mostrar os resultados do edifício inteiro, pois elas representam melhor o comportamento dentro do modelo simulado.

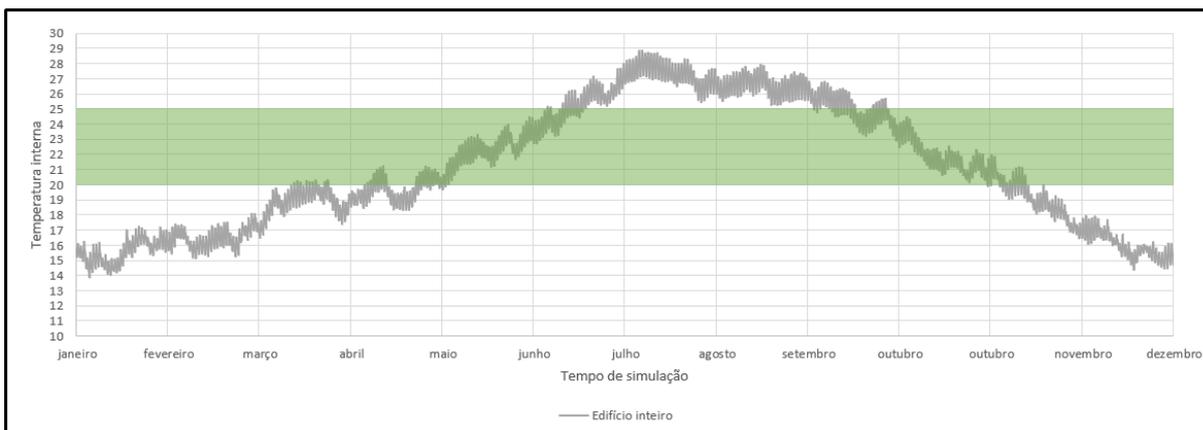


Figura 4-6: Temperatura interna do modelo simulado – Edifício inteiro.

Como é observado, a temperatura média interna do edifício, na estação de arrefecimento, não atinge valores a cima dos 30°C, entretanto, os resultados anteriores mostram que, dependendo da orientação dos quartos, esses valores ultrapassam essa marca. Muito disso, como observado anteriormente, é devido ao “Piso 1” o qual leva as médias para baixo nessa época do ano.

Tabela 4-6: Indicadores de desconforto térmico – Edifício

	Indicador 1		Indicador 2	
	Abaixo do limite	Acima do limite	Abaixo do limite	Acima do limite
<b>Edifício inteiro</b>	45,38%	25,46%	2,79°C	1,55°C

Pelo indicador 1, o edifício, em média, passa pouco mais de 70% das horas durante o ano em desconforto térmico, e as médias das temperaturas internas, fora dos limites de conforto térmico, são 2,79°C, “Abaixo do limite”, e 1,55°C, “Acima do limite”, segundo o indicador 2.

## 4.2 Geração de energia no modelo simulado

### 4.2.1 Considerações iniciais

Devido os resultados anteriores mostrarem que durante um ano, o edifício esteve em desconforto térmico, optou-se então por instalar um sistema de aquecimento e arrefecimento, na tentativa de manter as temperaturas internas do modelo dentro dos limites, que, anteriormente definidos foram 20°C a 25°C.

Para o sistema, escolheu um que apenas utilizasse energia elétrica para a funções de aquecimento e arrefecimento. Dessa forma, foi aproveitada toda a energia gerada pelos fotovoltaicos para alimentação do sistema de climatização, quando não era, o excedente era vendido para a rede.

Outro ponto importante a mencionar é que, devido a quantidade de simulações nessa fase do trabalho (12), e entendendo que os comportamentos das baterias são parecidos, o que muda é a geração, será mostrado apenas algumas simulações. Entretanto, no final será feito um breve resumo dos balanços energéticos de todas as simulações.

### 4.2.2 Produção x Consumo

Os maiores consumos de eletricidade do edifício são concentrados nos meses de aquecimento. São nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro que, nem mesmo a maior configuração de painéis fotovoltaicos, em cada um desses meses, consegue suprimir a demanda. E são nos meses da estação de arrefecimento, que a produção consegue exceder o consumo. A Figura 4-7 mostra a relação de consumo e produção de eletricidade no modelo simulado.

Isso de fato foi visto nos indicadores de desconforto térmico, em que, os maiores valores sempre foram registrados na categoria “Abaixo do limite”. Acontece que, a região é demasiadamente fria nessa época do ano, sendo necessário grande quantidade energética para manter os níveis de conforto térmicos ideais.

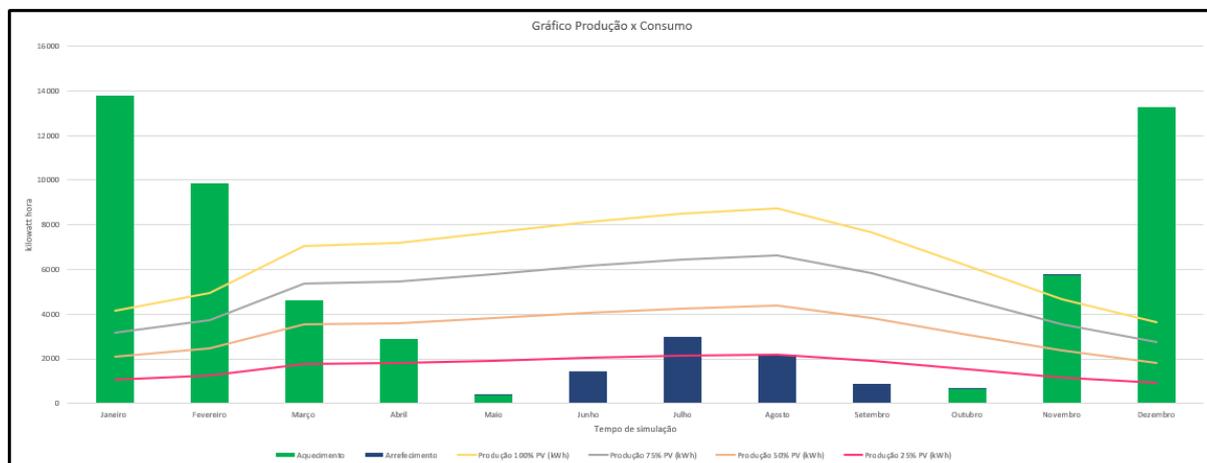


Figura 4-7: Gráfico da produção pelo consumo do modelo simulado.

Isso não seria problema se a produção acompanhasse esses níveis de necessidades energéticas nesses meses, entretanto, o número de horas disponíveis de luz solar no inverno é menor. Além disso, é principalmente, nas horas durante a noite que o edifício tem grandes necessidades energéticas.

É durante os meses de verão, com grande exposição da luz solar, metade dos cenários simulados, apenas com os fotovoltaicos, sem as baterias, (100% e 75%) conseguem suprir essa demanda na forma de venda de eletricidade a rede, como mostra a Tabela 4-7.

Tabela 4-7: Relação da produção x consumo no edifício simulado

Meses	Consumo de eletricidade (kWh)	Produção de eletricidade (kWh)							
		100%		75%		50%		25%	
		Produção	Venda/Compra de eletricidade	Produção	Venda/Compra de eletricidade	Produção	Venda/Compra de eletricidade	Produção	Venda/Compra de eletricidade
Janeiro	13861,08	4155,66	-9705,41	3157,63	-10703,44	2098,49	-11762,59	1052,76	-12808,32
Fevereiro	9888,84	4949,56	-4939,28	3752,50	-6136,34	2482,86	-7405,98	1242,43	-8646,41
Março	4642,97	7067,70	2424,74	5356,09	713,12	3540,26	-1102,70	1770,86	-2872,11
Abril	2922,32	7213,63	4291,32	5467,34	2545,02	3614,57	692,26	1808,15	-1114,17
Mai	389,92	7640,99	7251,07	5791,34	5401,42	3828,90	3438,98	1915,36	1525,44
Junho	1505,75	8139,93	6634,17	6169,08	4663,33	4078,11	2572,36	2039,90	534,15
Julho	3068,57	8496,15	5427,58	6439,06	3370,49	4256,59	1188,02	2129,18	-939,39
Agosto	2249,75	8742,34	6492,59	6625,07	4375,32	4378,85	2129,10	2190,23	-59,52
Setembro	913,73	7671,92	6758,19	5813,95	4900,22	3842,82	2929,09	1922,16	1008,43
Outubro	698,41	6163,36	5464,95	4671,72	3973,31	3089,39	2390,98	1545,54	847,13
Novembro	5794,35	4681,66	-1112,68	3554,06	-2240,29	2357,59	-3436,75	1181,27	-4613,07
Dezembro	13327,17	3619,38	-9707,79	2753,96	-10573,21	1834,90	-11492,27	922,61	-12404,57
Balanco energético		19279,44		288,95		-19859,51		-39542,40	

Em todos os cenários é necessário a compra de energia da rede elétrica, mesmo os cenários que tiveram balanço positivo, 100% e 75%. Isso porque, nos meses de grandes necessidades energéticas, os fotovoltaicos não foram capazes de produzir a mesma quantidade que o sistema de aquecimento e arrefecimento consumiram.

O que acontece com os cenários de 75% e 100% é que, ao final do ano, em números absolutos, a quantidade que eles produziram foi maior que a quantidade que foi consumido. Entretanto, esse excedente não esteve disponível ao longo do ano todo. Em resumo, a conta do balanço é feita com o que produziu menos o que consumiu, mas ela só não é suficiente para traduzir o comportamento dos fluxos de energia que ocorrem no edifício.

Dessa forma, é importante analisar o comportamento das baterias com cada um dos cenários simulados. Ela tem um papel importante quando não se tem luz solar para produzir energia, e isso ocorre, principalmente, durante a noite.

#### 4.2.3 Comportamento da bateria – Cenário 100% + bateria de 680 kWh

Ao analisar um dia de inverno com grande necessidade energética é preciso o entendimento que dificilmente a bateria estará cheia completamente, por dois motivos: pouca quantidade de

luz solar para o carregamento da mesma e, lógico, pela grande necessidade que o sistema exige em horários noturnos.

Esse ciclo é muito comum durante os meses de aquecimento, a bateria começa o dia com capacidade zero, e ao longo dele ela é recarregada pelos fotovoltaicos, conforme a Figura 4-8. Nessa situação, a configuração dos painéis permite que a compra de eletricidade da rede aconteça somente ao final da noite até a manhã do dia seguinte. Isso é, evita os períodos de pico da rede (08:00h – 20:00h), período onde a o valor da energia é mais cara.

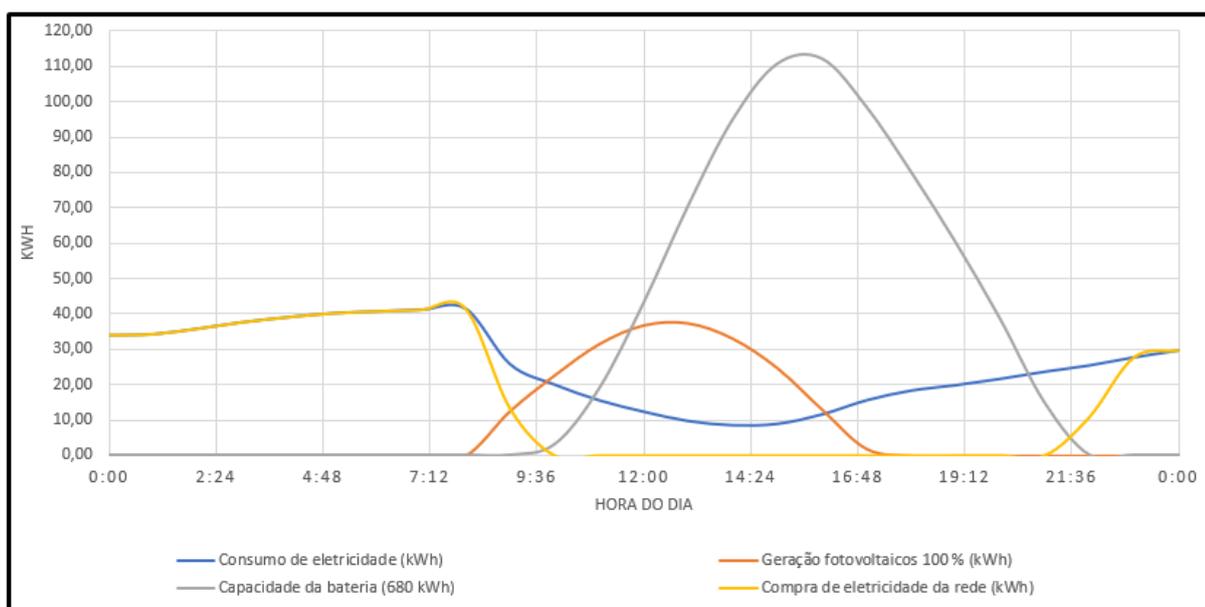


Figura 4-8: Comportamento da bateria do modelo simulado, 100% – dia de inverno.

Aqui é importante entender que, a capacidade da bateria (150, 680 ou 2040 kWh), para esse ciclo, não tem muita importância. O máximo de produção que os fotovoltaicos atingem é pouco mais de 110 kWh, com a máxima configuração dos fotovoltaicos, abaixo das capacidades máximas das baterias. Seria importante para a análise se ela começasse o dia carregada, mas dificilmente isso ocorre nessa época do ano.

#### 4.2.4 Comportamento da bateria – Cenário 75% + bateria de 680 kWh

Usando do mesmo dia da simulação anterior, o gráfico de início parece ser o mesmo, mas ainda sim é possível enxergar as diferenças entre as configurações dos fotovoltaicos. O consumo de eletricidade, em qualquer que for a configuração ou a escolha das baterias será o mesmo durante o ano. Entretanto, quando se tem menos fotovoltaicos a bateria é carregada em níveis menores, e conseqüentemente, a quantidade de energia importada da rede é maior, conforme a Figura 4-9.

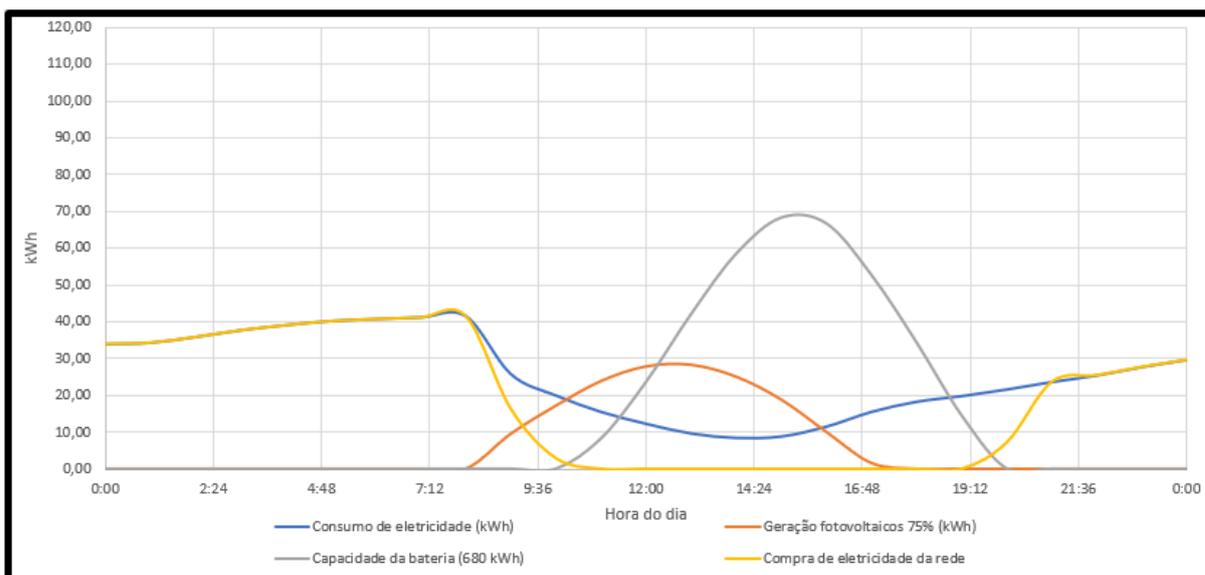


Figura 4-9: Comportamento da bateria do modelo simulado, 75% – dia de inverno.

O início do ciclo (início do dia) é igual a configuração dos fotovoltaicos quando presentes 100% na cobertura. Entretanto, com 75% o início da compra de energia elétrica da rede começa mais cedo. Dessa forma, essa configuração não consegue evitar que seja comprada, mesmo que uma parcela, energia elétrica no horário de pico.

#### 4.2.5 Comportamento da bateria – Cenários 50% e 25% + bateria de 680 kWh

Evitando que o trabalho fique repetitivo, os resultados para as configurações de 50% e 25% serão apresentados em um capítulo só. As Figuras 4-10 e 4-11 representam os resultados desses dois cenários.

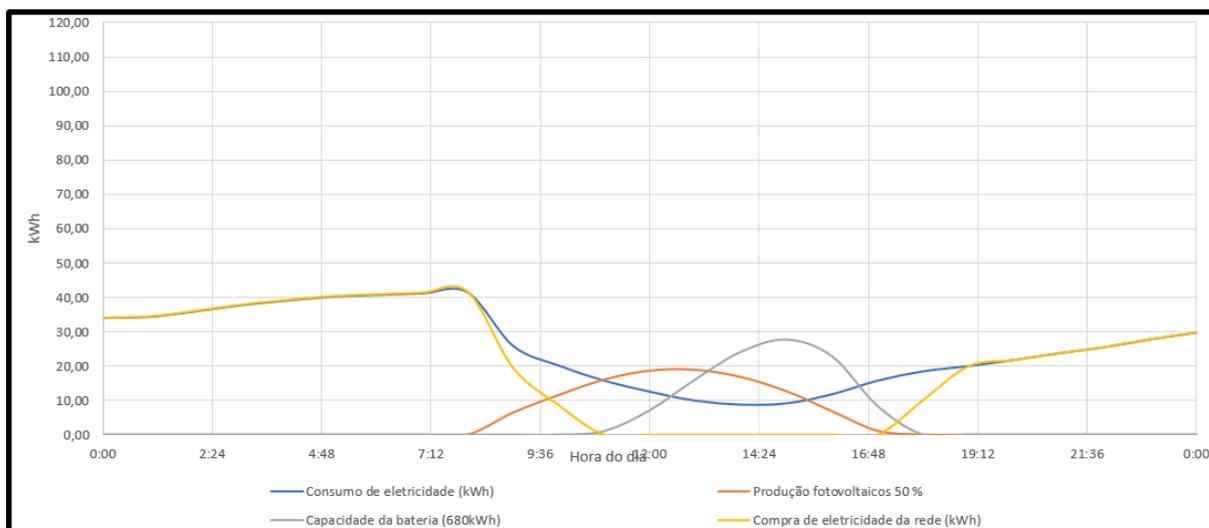


Figura 4-10: Comportamento da bateria do modelo simulado, 50% – dia de inverno.

Se com a configuração de 75% a importação de energia elétrica aconteceu mais cedo, com 50% não foi diferente. E para essa configuração, a parcela comprada de eletricidade da rede elétrica no horário de pico foi maior. A energia armazenada durou alguns minutos a mais que o horário de produção pelos fotovoltaicos.

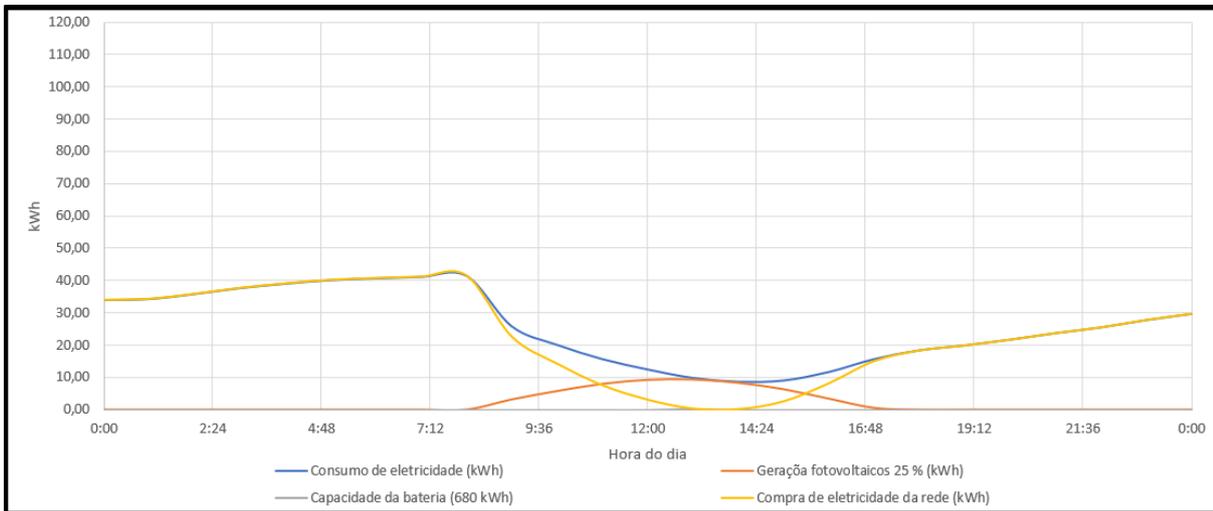


Figura 4-11: Comportamento da bateria do modelo simulado, 25% – dia de inverno.

Por fim, o pior cenário é quando os fotovoltaicos estão dispostos em apenas 25% da cobertura. Nessa configuração nem mesmo a produção consegue suprir a demanda, sendo necessário quase que na totalidade do ciclo a compra de eletricidade da rede. Nesse caso, a bateria não tem participação nenhuma, nem mesmo é acionada.

#### 4.2.6 Armazenamento de energia – Capacidade das baterias.

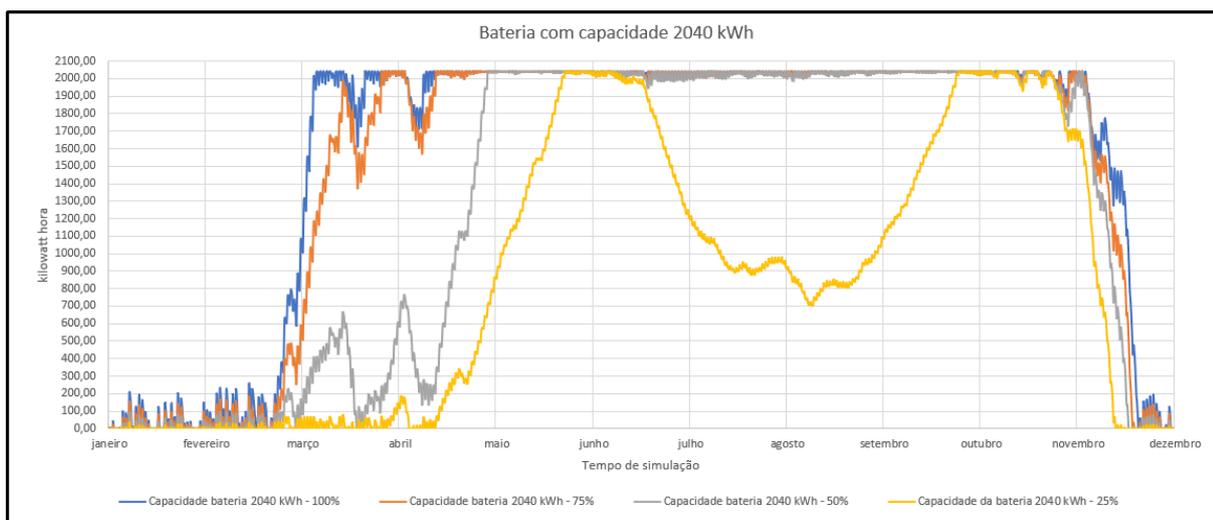


Figura 4-12: Ciclo anual da bateria de capacidade 2040 kWh

Como citado anteriormente, durante os meses de aquecimento, onde existe grande demanda energética do sistema, a bateria, principalmente com grande capacidade, dificilmente atinge

sua capacidade máxima, nem mesmo com grande produção de eletricidade, como é nos cenários de 100% e 75%, como é mostrado na Figura 4-12.

É durante os meses de arrefecimento, pouca demanda energética e grande exposição de luz solar, que os painéis fotovoltaicos conseguem fazer o papel de carregar ela totalmente. Para a configuração de 100%, a bateria atinge o valor máximo em meados de março.

Já para o pior cenário, 25%, a bateria vai alcançar o valor limite só ao final de maio. Além disso, para esse cenário, devido à grande capacidade da bateria, unido a pouca produção de eletricidade, ocorre uma descarga acentuada na metade do ano, enquanto os outros cenários conseguem manter os níveis na capacidade máxima.

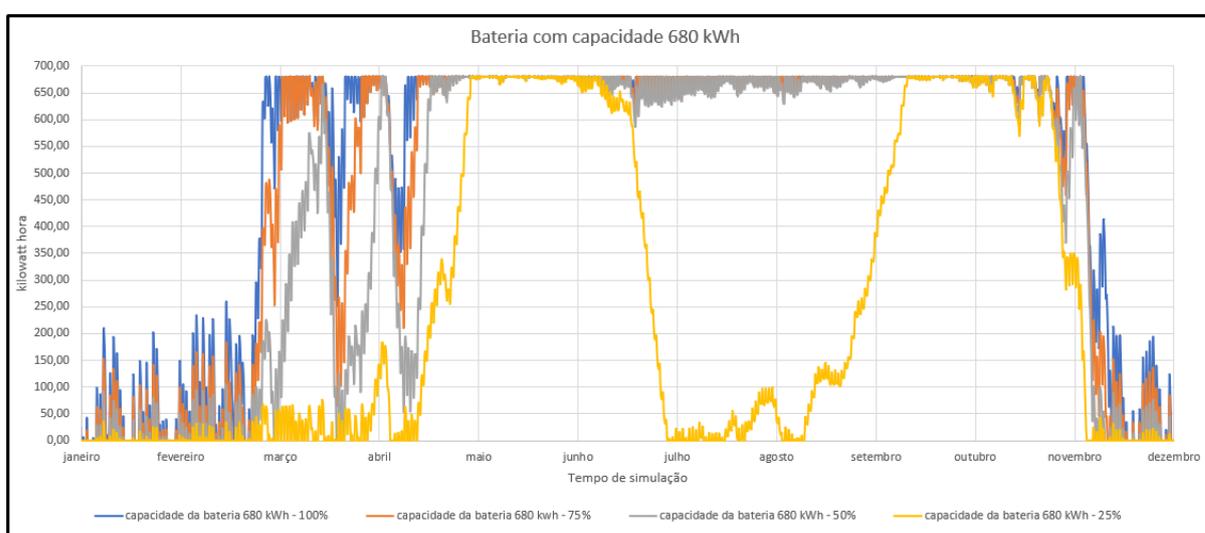


Figura 4-13: Ciclo anual da bateria de capacidade 680 kWh.

Essa mesma descarga acontece com as baterias de menor capacidade também para a configuração de 25% dos fotovoltaicos disponíveis na cobertura. Outra similaridade com a bateria de 680 kWh é a ausência de valores máximo no início e final do ano., conforme a Figura 4-13.

O que não acontece com a bateria de baixa capacidade, 150 kWh. Devido à baixa energia necessária para seu carregamento, durante os meses de aquecimento, com as configurações de grande produção de eletricidade, a bateria atinge valores máximos com mais facilidade, a Figura 4-14 mostra o comportamento da bateria de 150 kWh. Só que esse estado não é constante, ela é carregada, existe grande demanda de energia, e ela é descarregada. Fica nesse ciclo até o momento onde há baixa necessidade energética unido a grande exposição solar

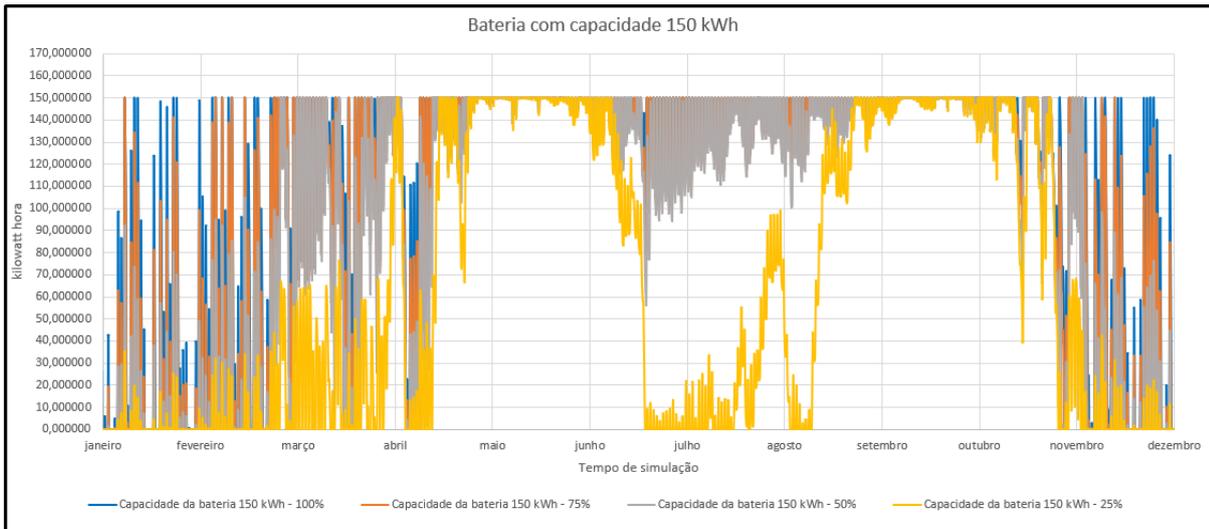


Figura 4-14: Ciclo anual da bateria de capacidade 150 kWh.

### 4.2.7 Resumo das simulações

Os resultados finais das simulações com os painéis fotovoltaicos e as baterias são apresentados na tabela 4-8.

Tabela 4-8: Resumo das simulações de geração de eletricidade

Painel fotovoltaico	Capacidades (kWh)	Compra Hora de vazio (kWh)	Compra Hora de cheia (kWh)	Venda (kWh)	Utilização PV + Bateria (kWh)
100%	150	18574,11	10226,52	47995,69	30383,64
	680	16735,03	9614,91	45787,05	32834,34
	2040	15942,47	9047,47	44427,56	34194,48
75%	150	20132,70	11887,60	32306,14	27163,97
	680	18857,11	11333,88	30705,92	28993,28
	2040	17940,74	10892,48	29345,92	30351,04
50%	150	22165,74	14443,82	16806,67	22574,71
	680	20811,63	13809,25	15048,29	24563,39
	2040	19884,41	13376,94	13688,29	25922,92
25%	150	24781,62	18969,59	4335,11	15433,06
	680	24123,36	18306,61	3243,05	16754,30
	2040	23036,26	17381,01	1229,62	18767,00

Segundo a tabela 4-8, quanto maior a capacidade da bateria maior energia é utilizada pelo sistema dos fotovoltaicos e baterias. Isso porque, ao armazenar maiores quantidades de energia elétrica, a curva da capacidade da bateria é achatada, prolongando o tempo de

descarregamento do sistema. Dessa forma, o sistema consegue importar menores quantidades de energia elétrica da rede, principalmente em horários que o tarifário é mais caro.

Além disso, se considerar que a energia “vendida” é desperdiçada e não tem retorno financeiro para o usuário, a utilização de baterias com capacidades maiores permite que esse valor seja menor, e da mesma forma, o sistema aproveita com mais eficiência a energia gerada.



## 5. Custo do ciclo de vida

As simulações das configurações dos painéis fotovoltaicos deram resultados referente ao fluxo, produção e uso de energia no edifício. Agora é necessário a decisão a se tomar de qual é a melhor opção para ser implantada no edifício, levando em consideração os custos que cada cenário tem ao longo da sua vida útil.

O Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost*) é uma metodologia desenvolvida pelo departamento de Energia do Governo dos Estados Unidos (DOE). A proposta do LCC foi inicialmente pensada para projetos de conservação de água e de energia, além da sua aplicação para projetos envolvendo energias renováveis.

O método avalia todos os custos considerados importantes para a decisão final da escolha que estão envolvidos durante a vida útil do projeto. Esses custos geralmente estão associados com a manutenção dos sistemas, gastos de energia consumida, troca de acessórios, e o valor do investimento inicial também é levado para a discussão.

Os valores de cada um desses custos, são computados em valores presentes, ou seja, os custos ao longo do ciclo de vida dos sistemas são transformados para o valor à data de início de implantação do projeto. Isso é feito através de uma taxa mínima aceitável de investimento, intitulada taxa de atualização [48].

Os fluxos de caixa (*cash flows*) anuais do projeto são somados ao final da análise para obter o valor final do LCC. O investidor, pela taxa de atualização, consegue prever os valores anuais que terá ao optar pela alternativa escolhida.

A definição de outros conceitos além da taxa de atualização, e as fórmulas empregadas para os valores dos custos, facilitam o entendimento por trás da metodologia do Custo do Ciclo de Vida (LCC).

## 5.1 Definições

### 5.1.1 Período de análise

O período de análise é o tempo que todos os custos e benefícios relatados são considerados para a análise do LCC. Esse período geralmente é levado em consideração o ciclo de vida dos projetos analisados.

Definido em anos, durante o período de análise é onde são contabilizados os fluxos de caixa de cada custo previamente é fixado. Ele deve ser, necessariamente, o mesmo período de análise para as alternativas que estão sendo analisadas.

Através do Regulamento Delegado (UE) N°. 480/2014 da Comissão europeia[49], o período de análise leva em consideração a finalidade das alternativas. Conforme o setor que o projeto se enquadra é definido um período, em anos, que a análise dos custos é feita.

No Anexo I do Regulamento N°. 480/2014, são definidos os períodos de análise a serem utilizados para a comparação entre as alternativas, como mostra a Figura 5-1.

Sector	Período de referência (anos)
Transporte ferroviário	30
Abastecimento de água/saneamento	30
Transporte rodoviário	25-30
Gestão de resíduos	25-30
Portos e aeroportos	25
Transporte urbano	25-30
Energia	15-25
Investigação e inovação	15-25
Banda larga	15-20
Infraestrutura empresarial	10-15
Outros setores	10-15

Figura 5-1: Períodos de referência, Anexo I do Regulamento Delegado (UE) N°. 480/2014 [49]

### 5.1.2 Fluxos de Caixa

A análise do método LCC requer que todos os custos definidos sejam identificados pelo período de ocorrências e pelo montante em valores monetários [48]. Por exemplo, o custo com a energia tem fluxos de caixas anuais, enquanto que, a reposição de acessórios pode vir a ter fluxos de caixas com um intervalo entre anos.

Por convenção do método, é definido que todos os fluxos de caixas se concentram aos finais de cada ano do período de análise, mesmo que na realidade eles ocorrem durante os meses.

### 5.1.3 Valor Presente

Como visto anteriormente, os custos relatados possuem ocorrência em períodos diferentes durante o período de análise, entretanto, esses valores precisam ser contabilizados através do seu valor presente a data de início do período que inicia a análise do LCC. Na conversão dos custos para valores presentes é contabilizado a taxa de atualização (ou taxa de desconto).

Não é possível combinar os valores dos custos relatados diretamente nos cálculos do LCC, isso porque, valores monetários gastos em diferentes períodos possuem diferentes valores na ótica de investimentos [48]. Somente depois de transformados para valores presentes, é que os custos podem ser contabilizados no valor final do LCC.

### 5.1.4 Taxa de desconto ou taxa de atualização (d)

É com a taxa de atualização que os valores futuros são transformados para valores presentes. Ela permite que os investidores fiquem indiferentes a quantias de dinheiro recebidas em tempos diferentes[48].

O entendimento dessa taxa pode ser explicado da seguinte forma: Um custo (energia, OM&S, reposição de acessórios) anual tem o valor de 1000 €. Considerando uma taxa de atualização de 5%, ao final do terceiro ano 1000 € são equivalentes ao valor de 863,80 €, ao começo do primeiro ano. Pela lógica inversa, 863,80 € na data atual valeriam 1000€ ao final do terceiro ano, aplicando uma taxa de atualização de 5%. Essa comparação não leva em conta a inflação.

Em território europeu, essa taxa é definida pelo Regulamento Delegado (UE) N°. 480/2014 da Comissão europeia[49]. Com isso, consegue-se padronizar essa taxa para dentro do bloco para o financiamento de projetos pelo fundo de investimento europeu.

No Artigo 19° do Regulamento N°. 480/2014 é citado[49]:

“Os fluxos de caixa devem ser atualizados para o valor corrente, utilizando uma taxa de desconto de 4 %, em termos reais, como um valor de referência indicativo das operações de investimento público cofinanciadas pelos FEIE.”

Os estados membros podem conferir valores diferentes de 4% para suas análises, desde que tenha justificção para tal alteração.

### 5.1.5 Inflação

Inflação reduz o poder de compra dos montantes monetários ao longo do tempo, enquanto a deflação aumenta o poder de compra. Valores futuros que estão atrelados a inflação, são definidos como valores correntes, ao contrário, valores futuros não atrelados a inflação são

considerados valores constantes. Em regra, valores constantes indica que o mesmo serviço ou bem não é alterado ao longo do tempo.

Os valores presentes, para as duas definições são iguais, independentemente se o custo está atrelado ou não a inflação. Dessa forma, na metodologia do LCC, recomenda-se utilizar valores constantes, pois dessa maneira, não é necessário estimar a taxa de inflação de ano a ano [48].

A grande parte dos bens de consumo em edifícios, historicamente, tem seus preços variando próximos a taxa da inflação. Custos com manutenção, reparos e materiais de construção, por exemplo, variam conforme essa regra [48].

Entretanto, ainda assim é possível encontrar bens que tem seus valores variando distantes da taxa de inflação, como é o exemplo de combustíveis.

Dessa forma, ao considerar os custos com energia para cada cenário é considerado uma taxa de variação de energia. Ela representa a oscilação do preço desse bem que ao longo do ano difere da taxa de inflação.

Anualmente, em Portugal, a comunicação da variação dos preços de eletricidade são de responsabilidade da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) [50]. Para o ano de análise 2021/2022 a variação desse bem foi de 0,2%, conforme a Figura 5-2.

Tarifas de Venda a Clientes Finais	Varição anual 2022 / 2021	Varição Jan 2022/Dez 2021
Baixa Tensão Normal	0,2%	-3,4%

Figura 5-2: Variação do preço da energia em Portugal [50]

## 5.2 Fórmulas do LCC

### 1. Fórmula geral do LCC

$$LCC = I + Repl - Res + E + W + OM\&R \quad (5-1)$$

Onde:

- I: Custo de investimento inicial;
- Repl: custo de substituição de capital;
- E: Custos com energia;
- W: custos com água;
- M: Custos com manutenção e reparação;
- Res: Valor Residual.

A fórmula geral, Equação 5-1, do LCC requer que todos os valores e custos sejam identificados por ano e por quantia. É necessário que os valores sejam trazidos para os valores presentes de cada custo.

**2. Fórmula do Valor Presente (PV) para montantes únicos.**

$$PV = Ft \times SPV = \frac{Ft}{(1+d)^t} \quad (5-2)$$

Onde:

- PV: Valor Presente;
- Ft: Valor Futuro;
- d: Taxa de atualização;
- SPV: Fator *Single Present Value*;
- t: Período de análise ou período de ocorrência do custo.

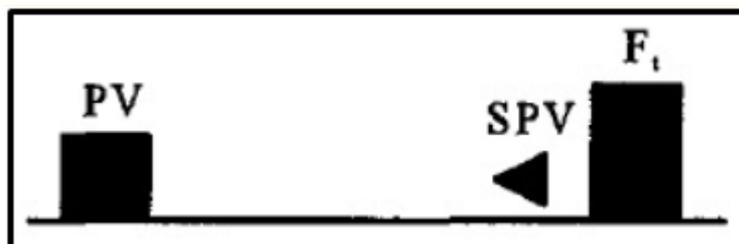


Figura 5-3: Atualização de um valor ocasional [48]

**3. Fórmula do Valor Presente (PV) para gastos anuais uniformes**

$$PV = A_0 \times UPV = A_0 \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+d)^t} = A_0 \times \frac{(1+d)^n - 1}{d \times (1+d)^n} \quad (5-3)$$

Onde:

- A0: Valores anuais;
- d: Taxa de atualização;
- UPV: Fator do valor presente uniforme;
- t: Período de análise.

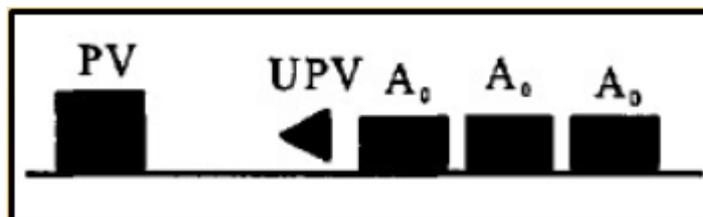


Figura 5-4: Atualização de um valor uniforme anual [48]

#### 4. Fórmula do valor presente (PV) para gastos anuais não uniforme

$$PV = A_0 \times UPV^* = A_0 \times \sum_{t=1}^n \left( \frac{1+e}{1+d} \right)^t = A_0 \times \frac{(1+e)}{(d-e)} \times \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+d} \right)^n \right] \quad (5-4)$$

Onde:

- A0: Valores anuais;
- d: Taxa de atualização;
- e: variação do preço do serviço/produto;
- UPV\*: Fator do valor presente não uniforme;
- t e n: Período de análise.

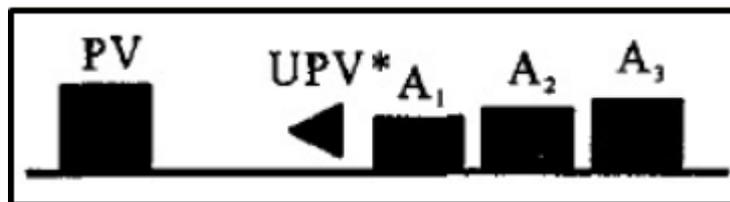


Figura 5-5: Atualização de um valor não uniforme anual [48]

#### 5. Pay Back

O *pay back* é um indicativo, auxiliar na análise econômica do LCC, que mensura o tempo de retorno do valor inicial investido. O indicativo é expresso como o número de anos decorridos entre o início do período de serviço e o momento em que a economia cumulativa é suficiente para compensar o custo de investimento inicial incremental do projeto [48]. A Equação 5-5 traduz o cálculo do período de retorno.

$$\sum_{t=1}^n \frac{(S_t - \Delta I_t)}{(1+d)^t} \geq \Delta I_0 \quad (5-5)$$

Onde:

- n: Período mínimo de tempo (geralmente anos) durante o qual os fluxos de caixa líquidos futuros devem ser acumulados para compensar o custo de investimento inicial;
- St: Economia dos custos operacionais em anos t associados com a alternativa em análise;
- $\Delta I_0$ : Investimento inicial associado com a alternativa em análise;
- $\Delta I_t$ : custo adicional relacionado ao investimento no ano t, diferente do custo do investimento inicial;
- d: taxa de atualização.

É importante salientar que a análise do tempo de retorno é utilizada apenas para aceitar ou rejeitar o projeto e não é recomendado como um critério para selecionar entre as alternativas [48].

## 5.3 Custos relatados

### 5.3.1 Investimento inicial

Segundo S. K. Fuller e S. R. Petersen (1996), a estimativa do investimento inicial é a parte da metodologia mais fácil de estimar, isso porque, esses valores acontecem relativamente perto da data presente. Além disso, é recomendado que se utilize dos mesmos dados para análise das alternativas, a fim de ser consistente e comparável entre si [48].

Para a presente dissertação, o investimento inicial das alternativas para comparação, serão os custos relacionados com a aquisição de painéis fotovoltaicos e de sistemas de armazenamento com três diferentes capacidades.

Os custos relacionados com os fotovoltaicos são custos de *hardware* (módulos, inversores, componentes eletrônicos, ligação a rede, e outros.), custos de instalação e os *soft* custos (Custos de financiamento, projeto do sistema, aquisição de clientes, e outros.) [51].

Ao redor do mundo, existe uma diferença regional entre os preços aplicados na instalação de geração de energia solar em pequena escala. Em 2020, na Espanha, o valor, no setor residencial, em média foi de 1230 €/kW instalado, enquanto que, para o mesmo setor, na Alemanha esse valor foi de 1415 €/kW[51]. Será utilizado o valor da Espanha para a análise.

Devido a popularização dos sistemas de armazenamento de energia acoplados com painéis fotovoltaicos em residências, os preços dessa tecnologia tiveram uma queda significativa. Combinado a isso, a disseminação e incentivos para a aquisição de carros elétricos, contribui para a queda dos preços para baterias do tipo Íon-lítio [51], [52].

Na Alemanha, em valores médios para 2020, essa tecnologia estava precificada por 683 €/kWh. Para o mesmo ano, na Itália, França e Reino Unidos os valores eram de 941 €/kWh, 840 €/kWh e 662 €/kWh, respectivamente [51]. Pela falta de informação a respeito dos preços aplicado em Portugal, o valor do kilowatt hora adotado para o sistema de armazenamento será a média dos valores desses países citados, 782 €/kWh.

### 5.3.2 Manutenção

A manutenção dos sistemas de geração de energia (fotovoltaicos) está associada com a limpeza dos módulos, manutenção preventiva, reposição de componentes, e em alguns casos, manutenção não programa [51].

Esses custos também acompanham a queda dos preços ao longo dos anos. Esse fato está associado, além da popularização dos sistemas de fotovoltaicos, com a melhora na eficiência dos módulos, demandando menor área para a geração de eletricidade [51].

O custo da manutenção dos painéis fotovoltaicos está atrelado com o tipo de tecnologia, como por exemplo, se o sistema é fixo na sua base ou se ele é programável para acompanhar o caminho do sol, por exemplo. Considerando que para o presente trabalho utilizou-se o modelo fixo, esse valor corresponde a 1% do investimento inicial, conforme Lugo-Laguna *et al* (2021) [53].

### **5.3.3 Eletricidade**

O custo do quilowatt hora da energia elétrica está contabilizando todo o acúmulo de valores aplicados durante a cadeia produtiva do combustível usado como matéria prima. Os valores finais para o consumidor podem envolver custos relacionados com a refinação, transporte, mão de obra, geração e outros.

Na análise das alternativas para o edifício de estudo o tarifário cobrado será com valores apresentados na tabela 3-8. Eles diferenciam conforme o horário de uso da energia elétrica importada da rede, horas de cheia possuem valor maior do tarifário, e as horas vazias possuem valores menor.

Para o custo do consumo energético de cada cenário simulado será utilizado os valores apresentados na tabela 4-8. As parcelas em excesso dos cenários 100% e 75% não serão utilizadas no edifício, ou seja, será entendido como desperdício do sistema, mas tais cenários terão o custo de eletricidade zerado.

## **5.4 Análise econômica**

### **5.4.1 Considerações iniciais**

Os valores adotados para os custos dos cenários juntamente com as variáveis adotadas para a transformação em valores presentes são apresentados na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Resumo dos valores adotados na análise do LCC

<b>Residência dos estudantes do Instituto Politécnico de Viseu</b>	
<b>Investimento Inicial</b>	
Painéis fotovoltaicos	1230 €/kWh instalado
Baterias	782 €/kWh
<b>Energia</b>	
Horário de cheia	0,24 €/kWh
Horário de vazio	0,18 €/kWh
<b>OM&amp;S</b>	1% do valor investido em painéis fotovoltaicos
<b>Período de análise</b>	25 anos (Setor de Energia)
<b>Taxa de atualização (d)</b>	4,00%
<b>Variação da energia elétrica (e)</b>	0,20%

Será apresentado os fluxos de caixas em valores presentes apenas para os cenários com a capacidade de 150 kWh da bateria. Optou-se por esta abordagem para não tornar a apresentação dos resultados da análise económica demasiado repetitiva. O resumo dos resultados do LCC para todas as configurações será apresentado no capítulo adiante, e o restante dos fluxos de caixas serão apresentados no anexo 1 da dissertação.

#### 5.4.2 Fluxos de caixa

Tabela 5-2: LCC para o cenário 100% acoplado a bateria de 150 kWh

100% acoplado a bateria de 150 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor à data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 89.175,00	€ 89.175,00	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 117.210,00	€ 117.210,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 891,75	€ 857,45	€ 824,47	€ 792,76	€ 11.121,79	€ 334,51
<b>LCC = € 427.592,74</b>						

A tabela 5-2 apresenta os fluxos de caixa em valores presentes para os custos do cenário com 100%. Com a maior quantidade de fotovoltaicos para esse cenário, os custos de investimento inicial e de manutenção são os maiores nas comparações das alternativas.

A vantagem desse sistema está no custo zerado para a energia, o qual não acrescenta valor nenhum no resultado final do LCC. Entretanto, o sistema possui a desvantagem de ter demasiada energia elétrica não aproveitada.

Tabela 5-3: LCC para o cenário 75% acoplado a bateria de 150 kWh

75% acoplado a bateria de 150 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor à data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 66.727,50	€ 66.727,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 117.210,00	€ 117.210,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 667,28	€ 641,61	€ 616,93	€ 593,21	€ 8.322,17	€ 250,31
<b>LCC = € 378.966,50</b>						

Com o valor final do LCC de 378.966,50 euros, o cenário utilizando 75% da cobertura para geração acoplado a bateria de 150 kWh, conforme a Tabela 5-3, foi a alternativa mais rentável entre as opções analisadas.

A vantagem desse cenário em relação a utilização de 100% da cobertura, está no fato que para 75% o valor do investimento inicial em painéis fotovoltaicos é menor e produz eletricidade suficiente para zerar a conta de energia anual, sendo uma parcela menor que é desperdiçada. Isso significa que a configuração de 100% está sobredimensionada para o sistema de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Tabela 5-4: LCC para o cenário 50% acoplado a bateria de 150 kWh

50% acoplado a bateria de 150 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor à data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€44.587,50	€44.587,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€117.210,00	€117.210,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 7.456,35	€ 7.183,90	€ 6.921,41	€ 6.668,52	€ 95.368,05	€ 2.940,26
OM&R	€ 445,88	€ 428,73	€ 412,24	€ 396,38	€ 5.560,90	€ 167,26
<b>LCC = € 457.544,87</b>						

Diferente dos dois cenários anteriores, para a configuração de 50%, existe o custo anual de energia, conforme a tabela 5-4. Mesmo com um investimento inicial em painéis fotovoltaicos menor, o sistema ainda necessitou comprar energia elétrica da rede. Para 50% o custo de energia, ao longo do período de análise, foi até mesmo superior a diferença de investimento inicial entre a configuração de 100%.

A tabela 5-5 representa o fluxo de caixa do cenário com 25% da utilização da cobertura para a geração de eletricidade. Com um LCC de 435.342,53 euros para 25%, o cenário 50% apresentou o maior custo ao longo do período de análise, entre os sistemas com bateria de 150 kWh.

Tabela 5-5: LCC para o cenário 25% acoplado a bateria de 150 kWh

25% acoplado a bateria de 150 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	1	2	3	4-24	
<b>Investimento Inicial</b>		<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>				
Painel fotovoltaico	EUR	€ 22.140,00	€ 22.140,00	-	-	-
Bateria 150 kWh	EUR	€ 117.210,00	€ 117.210,00	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	EUR	€ 9.013,393	€ 8.684,057	€ 8.366,755	€ 8.061,047	€ 115.282,895
OM&R	EUR	€ 221,40	€ 212,88	€ 204,70	€ 196,82	€ 2.761,27
<b>€ 435.342,53</b>						

O custo de energia anual para o cenário de 25% é o maior entre as alternativas devido a grande quantidade importada da rede elétrica. O que faz essa alternativa, com a bateria de 150 kWh de capacidade, ter valor menor do LCC, em comparação com o cenário de 50%, é o investimento inicial em painéis fotovoltaicos. Ao fim do período de análise, o investimento inicial do cenário 50% não foi suficiente para economizar com o custo de energia, quando analisado os cenários de 25% e 50%.

As diferenças entre os LCC's também representam as diferenças que os custos em manutenção têm para cada sistema. Sendo ele atrelado ao investimento em painéis fotovoltaicos, os cenários com maior quantidade unitária dessa tecnologia apresentam os maiores custos com OM&S, ao longo do período de análise.

### 5.4.3 Resumo da análise econômica

Os valores finais do LCC são apresentados na tabela 5-6. Os cenários com a maior capacidade do sistema de armazenamento tiveram investimentos iniciais altos que elevaram seus valores de Custo do Ciclo de Vida.

Tabela 5-6: Resumo dos resultados do LCC

Painel solar + Bateria	LCC
100% + 150 kWh	€ 427.592,74
100% + 680 kWh	€ 1.255.876,74
100% + 2040 kWh	€ 3.381.284,74
<b>75% + 150 kWh</b>	<b>€ 378.966,50</b>
75% + 680 kWh	€ 1.207.250,50
75% + 2040 kWh	€ 3.332.658,50
50% + 150 kWh	€ 457.544,87
50% + 680 kWh	€ 1.279.107,91
50% + 2040 kWh	€ 3.399.922,73
25% + 150 kWh	€ 435.342,53
25% + 680 kWh	€ 1.258.915,46
25% + 2040 kWh	€ 3.377.232,78

Conforme relatado anteriormente, o cenário que teve custos menores ao longo do período de vida útil foi o sistema com 75% da cobertura utilizado para a geração de eletricidade conectado ao sistema de armazenamento de energia com capacidade de 150 kWh.

#### 5.4.4 Tempo de retorno

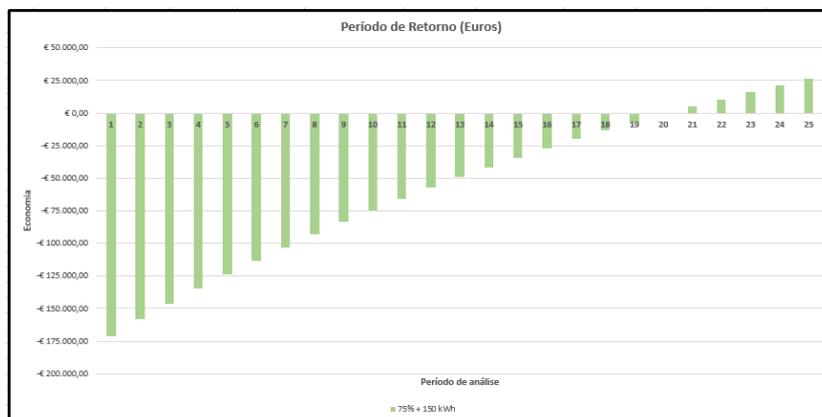


Figura 5-6: tempo de retorno da alternativa escolhida.

O tempo de retorno para o cenário escolhido (75% + 150 kWh) foi obtido subtraindo do investimento inicial, as economias de energia que o sistema produziu ao longo de cada ano, desconsiderando o excedente de energia e considerando uma taxa de atualização de 4%, conforme a Figura 5-6.

O retorno do investimento foi obtido no vigésimo primeiro ano, com valor acumulado de 26.343,20 euros ao final do período de análise.

## 6. Conclusão

A presente dissertação tinha como objetivo aplicar o conceito de edifício com balanço zero (*NET ZERO buildings*). Para isso foi simulado cenários de produção de energia elétrica através da radiação solar, tecnologia de painéis fotovoltaicos. Juntamente com isso, foi pensado em sistemas de armazenamento de energia, através de baterias para serem utilizados em momentos de pico.

Esse conceito foi aplicado no sistema de aquecimento e arrefecimento do edifício, na tentativa de ser autônomo, sem a necessidade de importar energia da rede elétrica. A escolha do melhor cenário só foi possível através de uma análise econômica baseado no custo do ciclo de vida de cada uma das alternativas. Dessa forma, no contexto geral do trabalho pode-se discutir as conclusões obtidas com os resultados apresentados:

- O conceito de edifícios com balanço zero é muito abrangente, mas possível de ser aplicado quando é definido o objetivo que se quer alcançar. Para os cenários de 100% e 75% o balanço energético anual foi positivo para o sistema de climatização da residência dos estudantes do IPV, ou seja, além da produção de eletricidade ter superado o consumo, o edifício foi capaz de exportar energia para a rede elétrica que segundo as definições de P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley [30], o edifício pode ser considerado *Net Zero Source Energy*.
- Para esse trabalho, o cenário de 100% da cobertura completa para a produção de eletricidade gerou um excedente que foi considerado desperdiçado, o qual é um montante de energia significativo. Entretanto, essa parcela de energia a mais pode ser utilizada para outros sistemas internos do edifício, como por exemplo a iluminação do prédio.
- Um obstáculo para transformar o edifício inteiramente autônomo da rede elétrica é o custo que o sistema de armazenamento de energia tem para sua implantação. Os cenários analisados poderiam ter um custo muito maior se fosse pensado na

substituição das baterias a cada 10 anos, tal alternativa, inviabilizaria qualquer escolha entre as alternativas.

- Os pontos positivos do sistema de armazenamento de energia estão no fato delas permitirem que os usuários não comprem da rede energia com tarifários maiores. Se bem dimensionado o sistema, ela tem papel importante na intermitência da luz solar, aproveitamento melhor a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos ou qualquer sistema de geração por renováveis.
- A total aplicação do conceito de edifício com balanço zero necessita a utilização de intervenções passivas na redução do consumo energético. Nesse trabalho a orientação do edifício tem papel fundamental para reduzir as necessidades de aquecimento, e também no aproveitamento da luz solar, principalmente os alçados com maior exposição da luz solar.
- Quanto a simulação computacional, ela permitiu um estudo prévio da implantação de sistemas de geração de energia sem necessitar a intervenção direta no edifício. Tal ferramenta tem essa vantagem e permite pesquisadores, engenheiros e arquitetos conhecerem de antemão os benefícios e desvantagens das soluções propostas

## 6.1 Trabalhos Futuros

- Simulação energética da Residência dos Estudantes realizando levantamento presencial dos consumos energéticos do edifício e aplicação da produção de energia para outros sistemas internos ou em conjunto com o sistema de aquecimento e arrefecimento (Iluminação, equipamentos eletrônicos, águas quentes, outros);
- Análise econômica e tempo de retorno para cenários utilizando apenas as combinações de painéis fotovoltaicos ou outro sistema de geração de energia *on-site*.
- Levantamento dos pormenores construtivos adotados após a reforma da Residência do Estudantes do IPV e verificação das melhorias energéticas de consumo combinado com sistemas de produção de energia.
- Aplicação total do conceito de edifícios independentes da rede elétrica utilizando baterias e produção *on-site* de energia.
- Comparativo das diferentes tecnologias de produção de energia em edifícios, realizando uma análise energética e também econômica.



## REFERÊNCIAS

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Organization*. Consultado em 07/2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf).
- [2] Directiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018. Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia.
- [3] Comissão Europeia (2015). *Compreender as políticas da União Europeia: Energia*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://poseur.portugal2020.pt/media/38219/energia.pdf>.
- [4] International Energy Agency, IEA (2021). *Renewable Energy Market Update - Outlook for 2021 and 2022*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/18a6041d-bf13-4667-a4c2-8fc008974008/RenewableEnergyMarketUpdate-Outlookfor2021and2022.pdf>.
- [5] EUROSTAT (2020). *Renewable energy statistics - Statistics Explained*. Consultado em 07/2021. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable energy statistics#Share of renewable energy more than doubled between 2004 and 2019](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2019).
- [6] International Energy Agency, IEA (2020). *Renewable electricity – Renewables 2020 – Analysis*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/renewable-electricity-2>.
- [7] Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2019). *2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Consultado em 07/2021. disponível em: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2019%20Global%20Status%20Report%20for%20Buildings%20and%20Construction.pdf>.
- [8] DGEG (2019). *Energia Solar*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt>
- [9] Solar Energy Industries Association, SEIA (2018). *Photovoltaics*. Consultado em 06/2021. Disponível em: <https://www.seia.org/initiatives/photovoltaics>.
- [10] <https://www.indiamart.com/proddetail/on-grid-connected-pv-system-18671435597.html>. Consultado em 08/2021.

- [11] S. J. Hayter, A. Kandt, e F.-A. Kandt, (2011). *Renewable Energy Applications for Existing Buildings*. 48th AiCARR International Conference Baveno-Lago Maggiore, Itália. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52172.pdf>.
- [12] DGEG (2019). *Energia Eólica*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt>.
- [13] Climate Technology Centre & Network, CTCN (2016). *Building-integrated wind turbines*. Consultado em 08/2021. Disponível em: <https://www.ctc-n.org/technologies/building-integrated-wind-turbines>.
- [14] Wilson, A. *The Folly of Building-Integrated Wind*. Consultado em 08/2021. Disponível em: <https://www.buildinggreen.com/feature/folly-building-integrated-wind>.
- [15] DGEG (2019). *Biomassa*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt>.
- [16] <https://museuweg.net/blog/energia-renovavel-como-e-produzida-a-energia-a-partir-da-biomassa/#content>. Consultado em 08/2021.
- [17] F. Pereira (2013). *Energy Storage Systems: (Sistemas De Armazenamento de Energia)*, neutroaterra, no. 12, Jun. 2013.
- [18] Meyer, MC Kintner, et al, *The Role of Energy Storage in Commercial Buildings - A Preliminary Report*, September 2010, U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington.
- [19] International Energy Agency, IEA. *Energy Storage – Analysis*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-storage>.
- [20] G. Patrícia and L. Teixeira. *Energy autonomous buildings: Housing Project*. Dissertação para obtenção do título em Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Porto. 2021.
- [21] P. M. E. Nunes. “*Comportamento térmico de diferentes soluções de envoltante opaca vertical em edifícios*”. Dissertação para obtenção do título em Mestre em Engenharia Civil. Técnico de Lisboa. Outubro de 2014.
- [22] P. Conti, C. Bartoli, A. Franco, e D. Testi. *Experimental Analysis of an Air Heat Pump for Heating Service Using a ‘Hardware-In-The-Loop’ System*. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 4498, vol. 13, no. 17, p. 4498, Sep. 2020, doi: 10.3390/EN13174498.
- [23] P. C. P. da Silva. *Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE*. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Minho. Jan. 2006.

- [24] R. Lamberts, e A. Augusto de Paula Xavier. *Conforto Térmico e Strees Térmico*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Mar. 2002.
- [25] American Society of Heating, R.a.E.A.-C., *Thermal environmental conditions for human occupancy - ANSI/ASHRAE 55: 2013*. 2013: Atlanta. p. 4.
- [26] Decreto-Lei nº. 101-D/2020 de 7 de dezembro. Diário da República, Série I de 2020-12-07, páginas 21-45.
- [27] DGEG. *Guia SCE-Parâmetros de Cálculo*. Adene. Consultado em 07/2021. Disponível em: [https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/3.0-Guia-SCE-Par%C3%A2metros-de-C%C3%A1lculo\\_V1.pdf](https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/3.0-Guia-SCE-Par%C3%A2metros-de-C%C3%A1lculo_V1.pdf).
- [28] S. V. G. Goulart. *Thermal Inertia and Natural Ventilation-Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. Dissertação para obtenção do título em PhD. Open University. 2004.
- [29] Marszal, A. J., and P. Heiselberg. 2009. *Zero Energy Building ( ZEB ) Definitions –A Literature Review*. AalborgUniversity. Consultado em 08/2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/266234856\\_Zero\\_Energy\\_Building\\_ZEB\\_definitions\\_-\\_A\\_literature\\_review](https://www.researchgate.net/publication/266234856_Zero_Energy_Building_ZEB_definitions_-_A_literature_review).
- [30] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley, *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [31] A. R. C. dos S. Ferreira, “Estudo de soluções de otimização para edifícios de balanço energético nulo,” 2012. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. Setembro, 2012.
- [32] D. Aelenei, L. Aelenei, and H. Gonçalves. *Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais*. Revista Edifícios e Energia, pp. 70–74, 2013.
- [33] EPBD. (2010). *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Estrasburgo, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- [34] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>. Consultado em 06/2021.
- [35] Parlamento Europeu e do Conselho. *Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) n.o 244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de*

- 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das componentes de edifícios.
- [36] Gonçalves, H. (2010). *Solar XXI – Em direcção à energia zero*. LNEG.
- [37] Universidad de Valladolid.(2014). Edificio LUCIA - Universidad de Valladolid.  
Consultado em 07/2021. Disponível em <http://edificio-lucia.blogspot.com.es/>.
- [38] <https://cdn.archilovers.com/projects/4b28f524-bfac-47eb-93db-cc44f16bd2e4.pdf>. Consultado em 07/2021.
- [39] [https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-Story\\_Bioregional\\_2017.pdf](https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-Story_Bioregional_2017.pdf). Consultado em 07/2021.
- [40] EnergyPlus™. Guetting Started with EnergyPlus. In *EnergyPlus Documentation*,1- 6, 2013.
- [41] J. M. Nunes and M. Colaço. *Estudo do sistema energético para adega autossuficiente*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Lisboa. 2018.
- [42] <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>. Consultado em 07/2021.
- [43] “DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide Simulation and CFD Training Guide.”
- [44] <https://www.google.com/maps>. Consultado em 07/2021
- [45] <http://portaldoclima.pt/pt/>. Consultado em 07/2021
- [46] DGEG (2019). *SCE.ER, Energias Renováveis e Sustentabilidade*. Consultado em 07/2021. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt>.
- [47] Santos, C.A. Pina dos, Matias, L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, Informação Técnica Edifícios ITE 50, Lisboa, 2006.
- [48] S. K. Fuller e S. R. Petersen. *Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*. U.S Department of Energy. Fevereiro de 1996.
- [49] Regulamento Delegado (UE) n.o 480/2014 da Comissão, de 3 de março de 2014, que completa o Regulamento (UE) n.o 1303/2013.
- [50] Entidade Regulamentadora dos Serviços Energéticos, ERSE. *Comunicado: Proposta de tarifa e preços para energia elétrica em 2022*. 2021.

- 
- [51] International Renewable Energy Agency, IRENA (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-348-9.
- [52] Henze, V. (2020). *Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh*. Consultado em 10/2020, disponível em: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>.
- [53] D. Lugo-laguna, A. Arcos-Vargas, and F. Nuñez-hernandez. *A European Assessment of the Solar Energy Cost: Key Factors and Optimal Technology Sustainability*. 2021, Vol. 13, Page 3238, vol. 13, no. 6, p. 3238, Mar. 2021, doi: 10.3390/SU13063238.
- [54] Entidade Regulamentadora dos Serviços Energéticos, ERSE. *Comparação preços eletricidade Eurostat*. Setembro de 2020.
- [55] Direção Geral de Energia e Geologia. Despacho n° 46/2019. 31 de dezembro de 2019.
- [56] Diário da República. Decreto de Lei n°162/2019, 25 de outubro de 2019.



**ANEXO 1 – RESULTADOS DA ANÁLISE ECONOMICA  
 APLICANDO A METODOLOGIA DO CUSTO DO CICLO DE VIDA  
 (LCC) – FLUXOS DE CAIXA**

**1. 100%**

100% acoplado a bateria de 680 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>		<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>				
Painel fotovoltaico	€ 89.175,00	€ 89.175,00	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 531.352,00	€ 531.352,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 891,75	€ 857,45	€ 824,47	€ 792,76	€ 11.121,79	€ 334,51

**LCC = € 1.255.876,74**

100% acoplado a bateria de 2040 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>		<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>				
Painel fotovoltaico	€ 89.175,00	€ 89.175,00	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 1.594.056,00	€ 1.594.056,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 891,75	€ 857,45	€ 824,47	€ 792,76	€ 11.121,79	€ 334,51

**LCC = € 3.381.284,74**

## 2. 75%

75% acoplado a bateria de 680 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 66.727,50	€ 66.727,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 531.352,00	€ 531.352,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 667,28	€ 641,61	€ 616,93	€ 593,21	€ 8.322,17	€ 250,31

**LCC = € 1.207.250,50**

75% acoplado a bateria de 2040 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 66.727,50	€ 66.727,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 1.594.056,00	€ 1.594.056,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000	€ 0,000
OM&R	€ 667,28	€ 641,61	€ 616,93	€ 593,21	€ 8.322,17	€ 250,31

**LCC = € 3.332.658,50**

## 3. 50%

50% acoplado a bateria de 680 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 44.587,50	€ 44.587,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 531.352,00	€ 531.352,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>						
Energia	€ 7.060,314	€ 6.802,341	€ 6.553,794	€ 6.314,328	€ 90.302,669	€ 2.784,092
OM&R	€ 445,88	€ 428,73	€ 412,24	€ 396,38	€ 5.560,90	€ 167,26

**LCC = € 1.279.107,91**

50% acoplado a bateria de 2040 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 44.587,50	€ 44.587,50	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	1.594.056,00	€ 1.594.056,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>			€	€	€	€
Energia	€ 6.789,658	€ 6.541,575	6.302,556	6.072,270	86.840,937	2.677,364
OM&R	€ 445,88	€ 428,73	€ 412,24	€ 396,38	€ 5.560,90	€ 167,26

**LCC = € 3.399.922,73**

#### 4. 25%

25% acoplado a bateria de 680 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 22.140,00	€ 22.140,00	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	€ 531.352,00	€ 531.352,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>			€	€	€	€
Energia	€ 8.735,791	€ 8.416,599	8.109,069	7.812,776	111.732,318	3.444,782
OM&R	€ 221,40	€ 212,88	€ 204,70	€ 196,82	€ 2.761,27	€ 83,05

**LCC = € 1.258.915,46**

25% acoplado a bateria de 2040 kWh	PERÍODO DE ANÁLISE (ANOS)					
	Valor a data	0-1	2	3	4-24	25
<b>Investimento Inicial</b>	<b>Fluxos de caixa em Valores Presentes (PV)</b>					
Painel fotovoltaico	€ 22.140,00	€ 22.140,00	-	-	-	-
Bateria 150 kWh	1.594.056,00	€ 1.594.056,00	-	-	-	-
<b>Custo associados</b>			€	€	€	€
Energia	€ 8.317,969	€ 8.014,043	7.721,222	7.439,100	106.388,294	3.280,023
OM&R	€ 221,40	€ 212,88	€ 204,70	€ 196,82	€ 2.761,27	€ 83,05

**LCC = € 3.377.232,78**

