



Contributo para a Implementação de Edifícios com Balanço Energético Quase Nulo em Cabo Verde

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Eurídice José Mendes Afonso

Leiria, setembro de 2022



Contributo para a Implementação de Edifícios com Balanço Energético Quase Nulo em Cabo Verde

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Eurídice José Mendes Afonso

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Hermano Joaquim dos Santos Bernardo
e do Professor João António Esteves Ramos.

Leiria, setembro de 2022

Originalidade e Direitos de Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionada a Autora e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Dedicatória

Dedico este trabalho a pessoas especiais que me acompanharam ao longo desta jornada, começando pela minha família, meus pais Ana Maria Teixeira e Euclides Tavares a quem dedico todas as minhas conquistas, às minhas irmãs, sobrinhos, cunhados e amigos.

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio dos meus orientadores, a quem gostaria de agradecer por toda a dedicação e suporte, excelência e qualidade técnica. Da mesma forma quero agradecer a todos os colegas e professores que tive e me acompanharam ao longo destes dois anos.

Resumo

Desenvolver soluções eficientes para resolução do problema de acesso a energia de forma segura e acessível a todos os cabo-verdianos é uma responsabilidade do governo, mas que exige ações coletivas de todos os cidadãos. O principal objetivo desta dissertação é apresentar alternativas que contribuem para alcançar a meta, através da análise de um caso de estudo, visando trazer contributos para a implementação dos edifícios com balanço energético quase nulo e estudar também a viabilidade da construção de tais edifícios em Cabo Verde.

Os edifícios com balanço energético quase nulo têm na natureza e no seu meio envolvente a sua principal fonte de energia, quer através de sistemas construtivos, sistemas de aquecimento e ventilação natural eficientes, quer através de abastecimento de energia através de fontes renováveis, sempre visando a eficiência energética.

Palavras-chave: Energias renováveis, eficiência energética em edifícios, simulação dinâmica, edifícios com balanço energético quase nulo.

Abstract

Developing efficient solutions to provide affordable and clean energy for all Cape Verdeans is a government responsibility, but it requires collective action of every citizen. The main objective of this dissertation is to present alternatives that contribute to the implementation net zero energy buildings, through the evaluation of national measures and policies for the building construction sector and simulations. The study aims to contribute for the implementation of net zero energy buildings and study also the feasibility of such buildings in Cabo Verde.

Nearly zero energy buildings are buildings that has in nature and their surroundings their main source of energy, either through natural ventilation and colling, or from the supply of renewable energy. But always bearing in mind that the first step is the energy efficiency.

Keywords: renewable energy; energy efficiency in buildings; dynamic simulation; nearly-zero energy buildings.

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	I
Dedicatória	II
Agradecimentos.....	IV
Resumo	V
Abstract	VII
Índice	VIII
Lista de Figuras.....	XI
Lista de tabelas.....	XIII
Lista de siglas e acrónimos.....	XIV
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura do trabalho.....	2
2. Revisão bibliográfica	4
2.1. Cabo Verde: geografia e clima.....	4
2.2. Vulnerabilidades climáticas do país.....	5
2.3. Caracterização socioeconómica	6
2.4. Sector habitacional em Cabo Verde.....	7
2.4.1. Estratégia para a melhoria do sector	7
2.5. Setor da energia em Cabo Verde	8
2.5.1. Consumo de energia por sector.....	9
2.6. Legislação sobre as energias renováveis em Cabo Verde.....	10
2.6.1. Plano nacional de energias renováveis.....	10

2.6.2.	Política nacional de energias renováveis.....	11
2.7.	Política fiscal.....	13
2.8.	Contribuição dos edifícios para a emissão de GEE.....	13
2.9.	Edifícios com balanço energético quase nulo.....	16
2.10.	Estratégias para a construção de NZEB.....	21
2.10.1.	Medidas passivas.....	21
2.10.2.	Medidas ativas.....	31
3.	Apresentação do caso de estudo.....	38
3.1.	Dados climáticos.....	39
3.1.1.	Recurso solar.....	40
3.1.2.	Recurso eólico.....	40
3.2.	Arquitetura do edifício.....	41
3.2.1.	Materiais de construção.....	43
3.2.2.	Consumo de energia.....	45
3.3.	Dados de entrada no modelo.....	47
3.3.1.	Atividade.....	47
3.3.2.	Elementos construtivos.....	49
3.3.3.	Vãos envidraçados.....	50
4.	Análise de resultados.....	53
4.1.	Consumo de energia simulado.....	53
4.2.	Calibração do modelo.....	54
4.3.	Soluções passivas para melhoria de desempenho energético do edifício.....	56
4.3.1.	Orientação do edifício.....	56
4.3.2.	Otimização da envolvente.....	57

4.3.3. Áreas envidraçadas e sombreamento.....	58
4.3.4. Conforto térmico	59
4.3.5. Ventilação natural	60
4.4. Produção de energia	61
4.4.1. Análise através do <i>software</i> Homer	61
4.4.2. Características do sistema fotovoltaico.....	65
5. Considerações finais	71
Bibliografia.....	73

Anexos

Anexo I: Áreas e volumes dos compartimentos do rés do chão

Anexo II: Áreas e volumes dos compartimentos do primeiro piso

Anexo III: Horários de ocupação e utilização dos equipamentos -Designbuilder

Anexo IV: Dados da simulação – *Software* Homer

Lista de Figuras

Figura 1 Praia ilha da Boavista (Morreira, 2015).....	4
Figura 2 Relevo montanhoso ilha de Santiago (Morreira, 2015).....	5
Figura 3 Cartografia de perigosidade/sobreposição de classes altas por ilhas (Ministério da Agricultura e do Ambiente, 2021).....	6
Figura 4 Venda de eletricidade por sector (ARME, 2020).....	9
Figura 5 Total consumo de energia por setor 2020 -Adaptado de (UN environment program, 2021).....	14
Figura 6 Total de emissão do sector por sector no ano de 2020 -Adaptado de (UN environment program, 2021)	15
Figura 7 Relação entre a produção de energia e as necessidades energéticas do edifício (Gonçalves, Aelenei, & Aelenei, 2012).....	16
Figura 8 Fronteiras locais para a transferência de energia em NZEB (Santos & Matias, 2006).....	18
Figura 9 Ângulos de corte ideais para Cabo Verde de acordo com a orientação da fachada (Governo de Cabo Verde, 2020)	23
Figura 10 Comutação da luz natural e artificial ao longo do dia	25
Figura 11 Tipos de ventilação natural (Slouhi, 2021).....	26
Figura 12 Efeito chaminé (Silva, 2013).....	26
Figura 13 Edifícios de blocos de cimento e betão armado Cabo Verde (Jornal O País , 2020).....	29
Figura 14- Esquemas sistemas de arrefecimento evaporativo (Tecniclíma, 2020).....	30
Figura 15 Paredes de tubos cerâmicos para arrefecimento evaporativo (He & Hogano, 2009).....	31
Figura 16 Eficiência confirmada em laboratório de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas (National Renewable Energy Laboratory , 2022)	32
Figura 17 Montagem painéis fotovoltaicos em edifícios – Adaptado de (Energy Market authority)	33
Figura 18 Principais componentes de sistemas fotovoltaicos (SecPower, 2021).....	34
Figura 19 Aero geradores de eixo vertical (Marin, 2016).....	37
Figura 20 Aero geradores de eixo horizontal (Marin, 2016).....	37
Figura 21 Localização do edifício – Google earth.....	38
Figura 22 Média mensal da radiação solar incidente do arquipélago	40
Figura 23 Média mensal de velocidade do Vento.....	41
Figura 24 Plantas do edifício, rés- do – chão e primeiro piso	42
Figura 25 Tarifa de eletricidade - ARME	46

Figura 26 Modelo do edifício <i>Designbuilder</i>	47
Figura 27 Dados inseridos no software- atividades	48
Figura 28 Representação dos elementos construtivos, a) cobertura, b) paredes e c) pavimento.....	50
Figura 29 Entrada de dados <i>Designbuilder</i> - elementos construtivos	50
Figura 30 Entrada de dados no software- vãos envidraçados.....	51
Figura 31 entrada de dados no software.....	52
Figura 32 Desagregação do consumo de energia	53
Figura 33 Diagrama de carga elétrica.....	54
Figura 34 Consumo de eletricidade real e estimado	54
Figura 35 Comparação da simulação do consumo real do gás	55
Figura 36 Trajetória do sol em relação ao edifício	56
Figura 37 Ganhos solares de acordo com a orientação da fachada.....	57
Figura 38 Gráfico de avaliação do conforto térmico	59
Figura 39 Ventilação natural.....	60
Figura 40 Estrutura do sistema de produção de energia.....	61
Figura 41 Solução ótima apresentado pelo <i>software</i> Homer	62
Figura 42 Produção mensal de energia	62
Figura 43 Produção FV e consumo de energia.....	63
Figura 44 Relação entre a compra e venda de energia à rede pública.....	64
Figura 45 Balanço entre produção e consumo de energia.....	64
Figura 46 Período de retorno do investimento	69

Lista de tabelas

Tabela 1 Legislação do sector energético em Cabo Verde.....	10
Tabela 2 Hierarquia das fontes de energia para NZEB - Adaptado de (Pless & Torcelli, 2010).....	20
Tabela 3 escala de sete pontos do PMV - adaptado de (ISO7730, 2005).....	27
Tabela 4 Categorias de conforto térmico – adaptado de (ISO7730, 2005).....	28
Tabela 5 Dados meteorológicos ilha de Santiago - Fonte INMG.....	39
Tabela 6 Dimensões dos compartimentos rés do chão.....	42
Tabela 7 Dimensões dos compartimentos piso 1.....	43
Tabela 8 Propriedade dos materiais de construção.....	44
Tabela 9 Características dos vidros simples.....	44
Tabela 10 Custo mensal de eletricidade.....	46
Tabela 11 Atividades desenvolvidas nas diferentes zonas do edifício.....	48
Tabela 12 Características destes elementos construtivos.....	49
Tabela 13 Características dos vãos envidraçados.....	51
Tabela 14 Dados de iluminação.....	52
Tabela 15 Índices estatísticos para a validação do modelo.....	55
Tabela 16 Índices estatísticos para a validação do modelo.....	56
Tabela 17 Estrutura das paredes com isolamento.....	57
Tabela 18 Estrutura da cobertura.....	58
Tabela 19 Índices de avaliação do conforto térmico.....	60
Tabela 20 Produção de energia fotovoltaica.....	62
Tabela 21 Características do painel.....	65
Tabela 22 Limites de tensão nos painéis solares.....	66
Tabela 23 Principais características do sistema.....	67
Tabela 24 Variáveis para avaliação dos índices económicos.....	69

Lista de siglas e acrónimos

ALT	Altura
ARME	Agência de Regulação Multisectorial Económica
AEB	Água e Energia Boavista
AQS	Água Quente Sanitária
BAU	<i>Business as Usual</i>
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaics</i>
BTN	Baixa Tensão Normal
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Cobre- Índio- Gálio Selénio
CEE	Código de Eficiência Energética em Edifícios
CEDEAO	Comunidade Económica dos Países da África Ocidental
ECREEE	Centro para Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO
ER	Energias Renováveis
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
FV	Fotovoltaica
GaAs	Arseneto de Gálio
GEEE	Gases de Efeito Estufa
HSA	Horizontal Solar Angle

HR	Humidade Relativa
ISA	Adesão à Aliança Solar Internacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
m-Si	Silício monocristalino
NZEB	<i>Net Zero Energy Buildings</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
WWR	<i>Windows to Wall Ratio</i>
PAER	Plano de Ação para Energias Renováveis
PIB	Produto Interno Bruto
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PNER	Plano Nacional de Energias Renováveis
PNH	Política Nacional de Habitação
PESER	Plano Nacional Estratégico de Energia Renovável
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
p-Si	Silício policristalino
OPV	<i>Organic Photovoltaics</i>
VSA	<i>Vertical Solar Angule</i>
SCE	Sistema de Certificação Energética
ZEB	<i>Zero Energy Buildings</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A abundância de sol e vento durante todo o ano conferem ao arquipélago um potencial renovável estimado de 2600 MW (Cabo Verde Trade Invest, 2018), podendo garantir o acesso a energia a toda a população. O principal objetivo da política nacional de energia é garantir que, até 2030, o país possa produzir 50% de eletricidade através de fontes renováveis e atingir 100% de produção renovável até 2050.

Para atingir este objetivo foram criados, o Plano Nacional para Energias Renováveis, Plano de Ação para as Energias Renováveis, que apontam as diretrizes e políticas públicas para a produção, distribuição e consumo de energia de fontes renováveis, bem como estabelecimento de zonas de desenvolvimento para as energias renováveis no território nacional.

Criaram-se ainda leis que impulsionam e regulam a produção de energias renováveis (ER), conferindo também financiamento e benefícios fiscais para o sector. Neste sentido destaca-se o decreto Decreto-Lei n.º 1/2011 que tem como objetivo impulsionar o sector, criando regimes de licenciamento do exercício da atividade, além de estabelecer as diretrizes fundamentais para o seu desenvolvimento.

Mesmo com todos estes esforços, até à presente data, só atingiram 20% de eletricidade produzida através de ER na rede de abastecimento. O país tem ainda uma grande dependência do exterior, que, com a instabilidade do mercado internacional, os elevados custos de produção, distribuição e ainda o alto índice de perdas na rede pública de abastecimento.

Todos estes fatores levam ao aumento da vulnerabilidade das famílias, afetando o nível de desenvolvimento do país, sem contar os danos ambientais agregados ao processo de produção de energia através de fontes convencionais, como combustíveis fósseis e biomassa, sendo um dos sectores que mais contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE).

A aposta na micro geração de energia, combinada com projetos de edifícios eficientes, com necessidades energéticas reduzidas, que não dependem exclusivamente da rede pública de abastecimento, chamados de edifícios com balanço energético quase nulo (*NZEB – Near Zero Energy Building*), é sem dúvida uma aposta fiável e eficiente.

1.2. Objetivos

O conceito dos NZEB é ainda pouco popular em Cabo Verde, porém existem estudos como Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (NZEBS) em Comunidades Isoladas (Fortes, 2012) , que atestam a viabilidade deste tipo de construção no país. Neste sentido, este estudo tem como objetivo adicionar contributos para a implementação dos NZEB em Cabo Verde, através da análise de um caso de estudo.

Como objetivos específicos estabeleceram-se os seguintes:

- Análise do contexto habitacional e energético em Cabo Verde;
- Análise de consumo num edifício residencial;
- Análise de conforto térmico num edifício residencial;
- Determinação da melhor solução tecnológica para a produção de energia;
- Dimensionamento de um sistema de microprodução;
- Estudo de viabilidade económica;

Para a realização desse trabalho usaram-se o *software Designbuilder* para a simulação dinâmica do edifício e o *software Homer* para a determinação do sistema de microprodução adequado às necessidades do mesmo.

1.3. Estrutura do trabalho

A dissertação é dividida em cinco capítulos, o primeiro capítulo apresenta o enquadramento e a motivação, além dos objetivos gerais e específicos do trabalho dando a conhecer a pertinência do tema e realçar a importância do estudo no contexto local.

No segundo capítulo, realizou-se a revisão bibliográfica, para assim conhecer e entender o contexto local e as medidas em curso e leis aplicadas ao sector da energia e eficiência energética em Cabo Verde. Neste capítulo é abordado ainda o conceito e a aplicabilidade dos NZEB.

No terceiro capítulo procede-se à definição do caso de estudo, para conhecer as características e necessidades do edifício.

No quarto capítulo fez-se a análise dos resultados e a determinação das medidas de melhoria adequadas para o caso em estudo.

Finalmente no quinto capítulo, apresentam-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Cabo Verde: geografia e clima

Localizado na costa ocidental Africana, o arquipélago de Cabo Verde é formado por dez ilhas de origem vulcânica, divididas em dois grupos, as ilhas mais a Norte, denominadas de Barlavento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista), e as Ilhas mais a Sul denominadas de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava). As ilhas do Sal, Boavista e Maio são planas e possuem vastas dunas e praias de água verde esmeralda (Figura 1). Já as demais ilhas possuem um relevo acidentado, montanhas imponentes, planaltos (Figura 2).

O país mais próximo do arquipélago é Senegal, a uma distância de 455 km. A localização subsariana confere ao país um clima tropical seco, as ilhas são caracterizadas pelo seu clima árido e semiárido, principalmente nas ilhas mais próximas à costa africana (Sal, Boavista e Maio).

O país possui duas estações do ano, a estação seca (entre os meses de novembro e junho) e a estação húmida (entre os meses de julho e outubro). A escassez de chuva ao longo do ano confere ao arquipélago uma estabilidade climática que juntamente com o clima ameno (temperatura média de 25°C e temperatura do mar de 22°C) fazem com que o país seja um destino turístico ideal, mas o deixa sujeito a secas, que vêm fazendo parte da sua história.



Figura 1 Praia ilha da Boavista (Morreira, 2015)



Figura 2 Relevo montanhoso ilha de Santiago (Morreira, 2015)

2.2. Vulnerabilidades climáticas do país

Cabo Verde é um dos países que menos contribuem para a emissão de GEE e aquecimento global, porém é um dos países mais propensos a sofrer os efeitos do aquecimento global devido à sua situação económica, geográfica e a fragilidade do seu ecossistema. O facto do país não possuir fontes permanentes de água (rios, lagos), nem florestas naturais, a escassez de recursos naturais e de solo arável para a prática da atividade agrícola (12% do território nacional (Ministerio da Agricultura e do Ambiente, 2020)), adicionado à escassez de chuva e o consequente aumento dos períodos de seca e da desertificação tornam o país mais vulnerável e intensificam o efeito das alterações climáticas no arquipélago.

As frequentes secas e as ocasionais chuvas intensas que provocam inundações, a erosão costeira e das praias, o aumento do nível da água do mar, movimentos vertentes e incêndios florestais são alguns dos efeitos que já são sentidos no arquipélago.

Cerca de 80% do território nacional está propenso a secas especialmente nas ilhas mais próximas à costa africana e São Vicente, que são ilhas com menor índice de precipitação, (Figura 3).

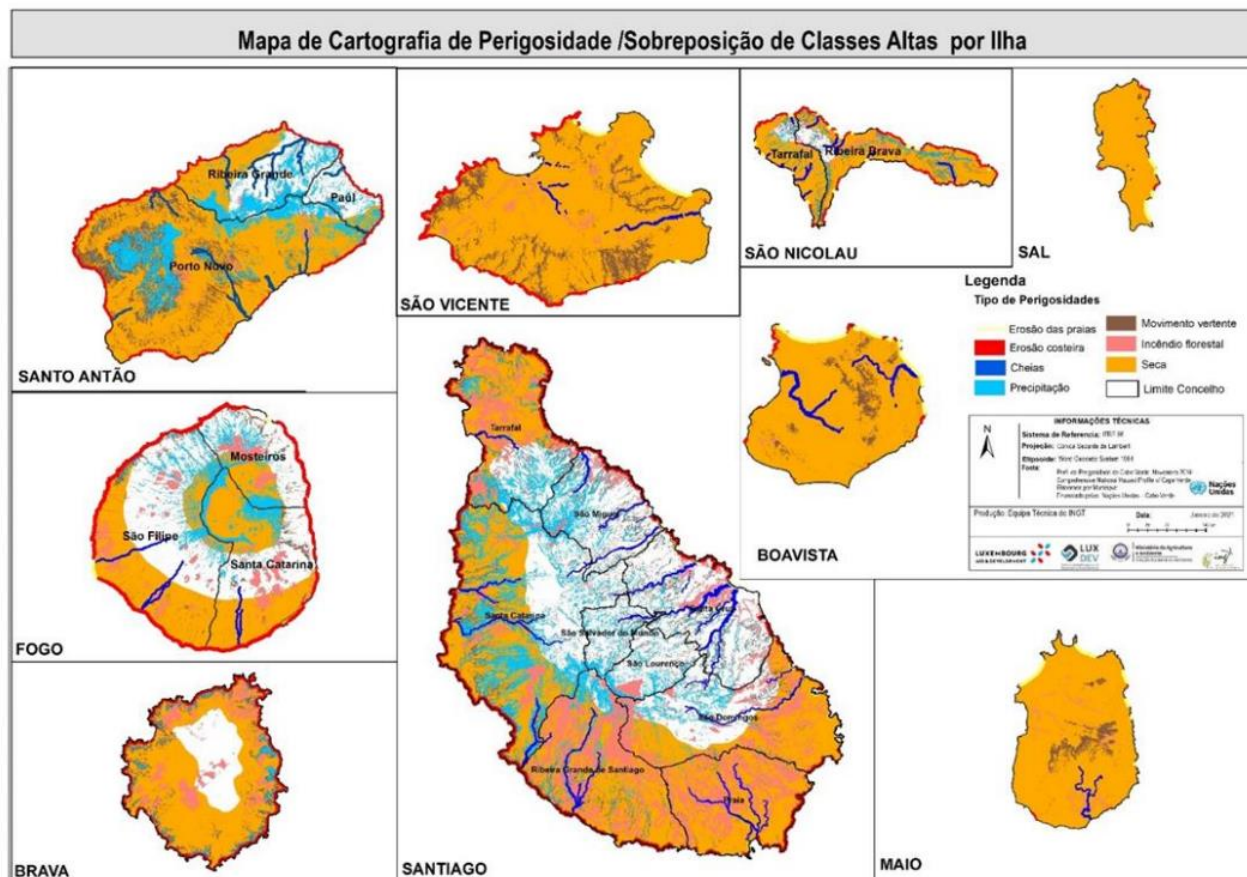


Figura 3 Cartografia de perigosidade/sobreposição de classes altas por ilhas (Ministério da Agricultura e do Ambiente, 2021)

Segundo dados do relatório Cabo Verde: 2020 *Update to the First Nationally Determined Contribution*, (Ministério da Agricultura e do Ambiente, 2021) os indicadores do clima para o período de 2011-2014 apontam tendências para um aumento de temperatura de 3°C ao ano, diminuição de precipitação em ordem dos 5% ao ano, aumento da aridez de 1% ao ano, a humidade do solo mostra uma tendência de aumento de 17% ao ano, enquanto as descargas de água apresentam um aumento de 51% ao ano.

2.3. Caracterização socioeconómica

Com uma população de cerca de 555 988 habitantes (censo de 2020), Cabo Verde tem uma economia acentuada no sector dos serviços. O clima ameno, a estabilidade política, o nível de segurança, a proximidade com a Europa e suas belas praias fazem do país um destino turístico ideal, sendo este um dos principais motores de sua economia, e representa cerca de 70% do seu Produto Interno Bruto (PIB).

Apesar de 40% da população viver em zonas rurais, a produção alimentar representa apenas 4,9% do PIB, segundo dados de 2020 (AICEP Portugal global, 2022), a maior parte dos alimentos consumidos no país são provenientes do exterior, adicionando à balança deficitária do país.

O país tem um PIB de cerca de 1 492 milhões de euros (Country Economy, 2020). Segundo dados do banco mundial, Cabo Verde foi um dos países africanos mais afetados pela paralisação devido a COVID-19 no continente africano, tendo registado uma contração de 14,8% do seu PIB no ano de 2020. A escassez de recursos naturais e o clima árido representam os maiores obstáculos para o desenvolvimento económico do país, não obstante, a dispersão geográfica é também outro obstáculo para o seu desenvolvimento socioeconómico, pois cria dificuldades na distribuição e abastecimento de bens e serviços.

2.4.Sector habitacional em Cabo Verde

De acordo com o estabelecido na Política Nacional de Habitação (Ministério das Infraestruturas e Ordenamento do Território e Habitação, 2020) a melhoria do sector, passa primeiro por superar os constrangimentos, como a dependência do exterior na importação de materiais e tecnologia que contribuem para a flutuação de preços e irregularidade de disponibilidade de materiais, a falta de incentivos técnicos e financeiros para o investimento na eficiência energética e energias renováveis, a falta de assistência técnica e baixa qualidade dos materiais, a falta de sensibilidade da população para a utilização de materiais novos e alternativos, a falta de normas e controlo de qualidade dos materiais produzidos localmente e/ou importados, a ausência de normas que se adequam ao cenário nacional.

2.4.1. Estratégia para a melhoria do sector

As estratégias para a melhoria do sector habitacional no país passam por promover junto das universidades, laboratórios de engenharia e atores do sector a realização de estudos para a produção e utilização de materiais locais e modelos de construção que se adequem às necessidades do país, e que sejam de fácil acesso e fomentar a utilização de matérias alternativas e eficientes (Ministério das Infraestruturas e Ordenamento do Território e Habitação, 2020).

2.5. Setor da energia em Cabo Verde

O sector energético cabo-verdiano é altamente dependente de combustíveis fósseis (derivados de petróleo com: Gás de Petróleo Liquefeito (GPL), gasolina, petróleo, gasóleo, fuel óleo e Jet A1, no entanto o país apresenta um grande potencial renovável, estimado em 2 600 MW, principalmente de fontes eólica e solar. Contudo, a produção de energia a partir fontes renováveis está ainda à volta dos 20%.

Segundo o relatório do Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECOWAS, 2015), o arquipélago produz cerca de 400 GWh de eletricidade, tem uma capacidade instalada de 150 MW dos quais 35 MW são provenientes de fontes renováveis, o que garante que 95% da população tenha acesso a eletricidade em suas casas.

As principais empresas que operam no sector dos combustíveis no arquipélago são a Enacol, (empresa nacional com participação da Galp Energia (Portugal) e da Sonangol (Angola)), e a *Vivo energy*, (empresa que comercializa e distribui combustíveis da marca Shell no continente africano).

A produção e distribuição de eletricidade no arquipélago é operada pelas empresas subsidiária público-privada Água e Energia da Boavista (AEB) que atua na ilha da Boavista, a Eletra, concessionária estatal responsável pela produção e distribuição de eletricidade nas restantes ilhas habitadas, e a Caboeólica, fruto de uma parceria público-privada que garante o abastecimento de energia eólica nas ilhas de Santiago, São vicente, Sal e Boa Vista.

Segundo o relatório e contas da (ELETRA, 2020), esta que é a maior empresa de produção e distribuição de eletricidade no arquipélago tem uma potencia instalada de 123,8 MW, deste total, 116 387MW (94,8%) é térmica, 900 kW (0,7%) é eólica e 6 530 kW (5,3%) é fotovoltaica. No entanto, segundo dados do mesmo relatório, a produção no ano de 2020 foi de 419,2 GWh, sendo 83,2% de fonte térmica, 15,2% de fonte eólica e 1,6% de energia fotovoltaica.

2.5.1. Consumo de energia por sector

Segundo relatório apresentado pela Agência Reguladora Multisectorial de Economia (ARME, 2020), no ano de 2020 o país importou cerca de 167,132 MT combustíveis derivados de petróleo, e do total de 151397 MT de combustível vendido no território Nacional, cerca de 34,5% foi destinado ao sector da eletricidade, sendo este o sector que mais consome combustível no país.

A Figura 4 mostra o volume do consumo de energia por sector, no primeiro semestre de 2020.

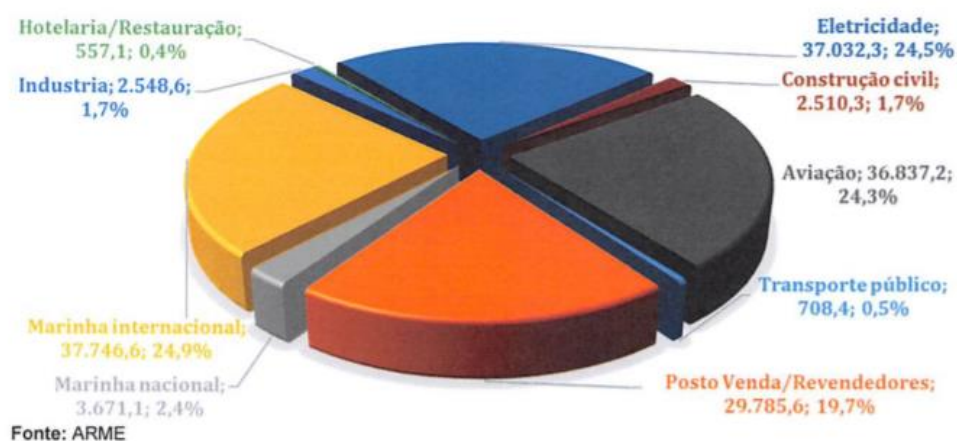


Figura 4 Consumo de energia por sector (ARME, 2020)

Cabo Verde é um dos países com menor emissão de CO₂ per capita no mundo, tendo emitido 0,99 tCO₂e no ano de 2010 (Ministério da Agricultura e do Ambiente, 2021)

Os dados mais recentes são de 2010 e apontam que o sector da energia é o que mais contribui na emissão dos GEE no arquipélago, com 92,9% das emissões (United Nations Development Program, 2015)

Em 2015 a queima de combustíveis para a produção de eletricidade contribuiu para a emissão de 283,2 tCO₂e, e a projecção é de 307 tCO₂e em 2030.

2.6. Legislação sobre as energias renováveis em Cabo Verde

A principal estratégia para o desenvolvimento do sector da energia em Cabo Verde, e consequentemente do sector económico, é sem dúvida a aposta nas energias renováveis, com este intuito o país vem criando uma legislação que apoie, impulse o sector e promova a eficiência energética (Tabela1)

Tabela 1 Legislação do sector energético em Cabo Verde

Decreto Lei	Âmbito
Decreto nº 19/2018	Adesão à aliança solar internacional (ISA)
Decreto-Lei n.º 1/2011	Melhorar e evidenciar o princípio da livre produção de energia elétrica em Cabo Verde
Deliberação nº 08/CA/2021	Estabelece valores anuais para energia elétrica de origem renovável para produtores em regime de microprodução.
Decreto lei nº 35/2021	Estabelece o Regime dos Consumidores Intensivos de Energia (RCIE).
Resolução nº 7/2012	Estabelece o Plano Estratégico Sectorial de Energias Renováveis (PESER)

2.6.1. Plano nacional de energias renováveis

A política do governo cabo-verdiano para as energias renováveis, tem como principal objetivo “Estabelecer um sector energético seguro, sustentável e sem dependência de combustíveis fósseis” (Direção Geral da Energia, 2015), garantindo uma cobertura elétrica em todo o território nacional e aumentar a qualidade e a fiabilidade do serviço fornecido. Para isso foi estabelecida uma política nacional para o sector, que passa por garantir segurança energética, facilitando o acesso da energia a energia limpa e diminuído a dependência do mercado internacional, uma aposta nas energias renováveis, que com o alto potencial renováveis do país, torna-se a melhor aposta para suprir as necessidades energéticas em todo o do arquipélago.

O caminho para alcançar estes objetivos passa por garantir a cobertura elétrica em todo o território nacional, expandindo a capacidade de produção, e acesso a energias de fontes renováveis (seja através da rede principal, micro redes ou sistemas isolados), promoção dos conceitos e diretrizes da eficiência energética e conservação de energia, criação de quadro legislativo que impulse o sector, incentivar o investimento no sector através da criação de fundos de segurança energética e promoção da investigação e adoção de novas tecnologias. Um outro ponto a ser tratado é a diminuição das perdas (técnicas e não técnicas) para garantir a estabilidade e fiabilidade do serviço.

Não obstante o plano também estabelece as principais áreas de atuação para alcançar os objetivos propostos que passa pela criação de uma política fiscal e de preços, regulamentação do sector, reforço da capacidade institucional, reestruturação do sector e um forte investimento em novas tecnologias.

O plano tem ainda como linha de ação o investimento em sistemas de aquecimento solares para as famílias, unidades hoteleiras e restauração, indústria e órgãos públicos.

2.6.2. Política nacional de energias renováveis

No quadro da política nacional para energias renováveis, foram estabelecidas as principais metas para o sector, que passam por garantir o acesso à eletricidade, uma das maiores metas do país é garantir 100% de cobertura elétrica no território nacional e garantir acesso a eletricidade a populações de zonas rurais e isoladas até 2030, tanto através da expansão da rede pública de abastecimento, investimento em sistemas de produção individual com *back-up*.

As metas estabelecem que até 2030 possa ser possível garantir que toda a população rural tenha acesso a eletricidade, e que pelo menos 98,5% da população seja abastecida através da rede pública, que pelo menos 1% da população esteja ligada à micro redes de fontes renováveis e os demais 0,5% tenham sistemas autónomos de produção de energia (fontes renováveis). É ainda estabelecido que até esta data, todas as escolas e centros de saúde do país tenham acesso à eletricidade, priorizando sempre as energias renováveis.

O documento fornece ainda metas complementares que visam garantir a eficiência energética, em que se destacam a redução de 20% no total da energia final em relação ao cenário em 2010, redução de 10% do consumo de derivados de petróleo e a diminuição das perdas técnicas na

rede publica para 8% através da modernização da rede e a eliminação das perdas não técnicas (ligações clandestinas, furtos, etc.).

É estabelecida a obrigatoriedade de edifícios novos (sempre que haja necessidade de água quente sanitária) contarem com aquecedores solares. Não se impõem a troca em edifícios já existentes, neste sentido, prevê-se que a redução no custo (em relação a aquecedores elétricos) de forma a tornar a opção mais atrativa tanto para as famílias, os estabelecimentos hoteleiros, indústria e empresas. Esta estratégia visa promover o uso de aquecedores solares e é acoplada às medidas de eficiência energética.

O documento prevê também a eliminação do uso dos fogões de três pedras abastecidos à lenha e sua substituição por fogões melhorados, com as medidas a serem implementadas prevê-se que 91,3% da população passe a utilizar combustíveis modernos e alternativos à cocção, como é o caso do biodiesel.

Para alcançar tais objetivos, estabeleceram-se medidas e linhas de ação que passam por:

1. Atribuição de incentivos financeiros à micro geração, destinada ao autoconsumo;
2. Comunidades rurais e isoladas devem ser interligadas à rede pública de abastecimento, sempre que este seja uma opção técnica e economicamente viável, caso contrário deverão ser implantas micro redes ou sistemas isolados de autoconsumo.
3. Acoplar sistemas de aquecedores de água às estratégias de eficiência energética em edifícios;
4. A estratégia de produzir 100% de energia através de fontes renováveis será implementada por fases. Numa primeira a aposta é para que 30% a 35% de eletricidade de origem renovável seja injetada na rede pública, na segunda fase, um investimento em sistemas de armazenamento com enfoque em diferentes tecnologias, na terceira fase, 50% de eletricidade de origem renovável em uma das ilhas injetada na rede. Na quarta fase é garantir que 50% de eletricidade de origem renovável injetada na rede em todas as ilhas, a quinta fase é assegurar-se que uma das ilhas ilha seja 100% renovável com as tecnologias que se mostrarem que melhor se adaptem ao contexto local e que sejam e mais fáceis de endogeneizar. Finalmente a sexta fase é alcançar a meta dos 100%.

As tecnologias e fontes a serem utilizados para o cumprimento das metas são escolhidos acordo com parâmetros técnicos, as condições ambientais económicas, sociais, ambientais e o perfil de consumo das famílias. Numa primeira fase o plano conta com um alto investimento nas fontes solares, eólicas, geotérmica, biodiesel de purgueira e o aproveitamento de resíduos orgânicos. Já numa segunda fase o investimento será estendido à energia dos oceanos.

2.7. Política fiscal

O decreto-lei nº 1/2011 além de estabelecer requisitos técnicos e regulamentar a produção independente de origem renovável, também define benefícios para empresas produtoras de energias com base renovável, desde que estas cumpram suas obrigações legais (obrigações fiscais e segurança social) e as normas que regulam o sector de atividade económica a que estão inseridas.

Serão conferidos redução de impostos sobre o rendimento (contribuições e lucros), de 100% nos cinco primeiros anos, 50% até o decimo ano e uma redução de 25% nos casos em que o reinvestimento acumulado nos últimos três anos seja superior a 50% do investimento inicial até o decimo quinto ano.

Da mesma forma, é adotada a política de isenção de imposições aduaneiros na importação de matérias-primas e subsidiarias, produtos acabados e semiacabados e produtos destinados à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis a todos os despachos pendentes de regularização nas alfândegas. Tais importações devem também ser tratadas com o máximo de simplicidade e celeridade por parte das autoridades aduaneiras.

2.8. Contribuição dos edifícios para a emissão de GEE

Os edifícios são responsáveis por grande parte das emissões de GEE, tanto na fase de construção como na sua operação e ao longo do seu ciclo de vida.

Desde 2015 com a assinatura do acordo de Paris tem havido uma grande mobilização a nível mundial para alcançar a descarbonização até 2050, e cumprir com os objetivos do acordo.

A pandemia de 2020, mostrou que é possível alcançar esse objetivo, pois ao longo deste período houve uma redução na emissão de gases GEE e um forte avanço rumo à descarbonização. Dados da (UN Environment Program, 2021), em 2015 os edifícios eram responsáveis por 38% (13,1 Gt) do total de emissão dos GEE do sector energético, enquanto

em 2020 passou a 36% (11,7 Gt), valores não registados deste 2007. Ao mesmo tempo que o consumo de energia para construção e operação dos edifícios diminuiu de 150 EJ em 2019 para 149 EJ em 2020.

O período da pandemia e os sucessivos confinamentos foram marcados por uma redução de 4% na emissão de GEE pelo sector da construção e operação dos edifícios, tendo também sido registado uma queda de 10% nas emissões de CO₂. O principal motivo para esta alteração foi a mudança na forma como os edifícios passaram a ser utilizados, grande parte dos edifícios comerciais foram encerrados e seus funcionários passaram a trabalhar desde casa. Contudo estes foram avanços temporários e houve um retrocesso com a retoma da atividade económica e a volta ao serviço presencial em 2021.

O sector da construção tem um forte peso na procura de total de energia, só em 2020 a necessidade do sector foi de 36%, (superando os 32% do sector das indústrias), o maior consumidor é sem dúvida o sector residencial, representando 22% dessa necessidade, os edifícios não residenciais e a indústria de construção somam 14% da necessidade, como mostra a Figura 5.

O total de emissão de GEE pelo sector da construção registado em 2020 foi de 38%, o sector residencial, direta ou indiretamente (através dos processos para a produção de eletricidade para suprir as necessidades dos edifícios), é responsável por 17% do valor total e edifícios não residenciais e indústrias foram responsáveis pelos demais 20% (Figura 6).

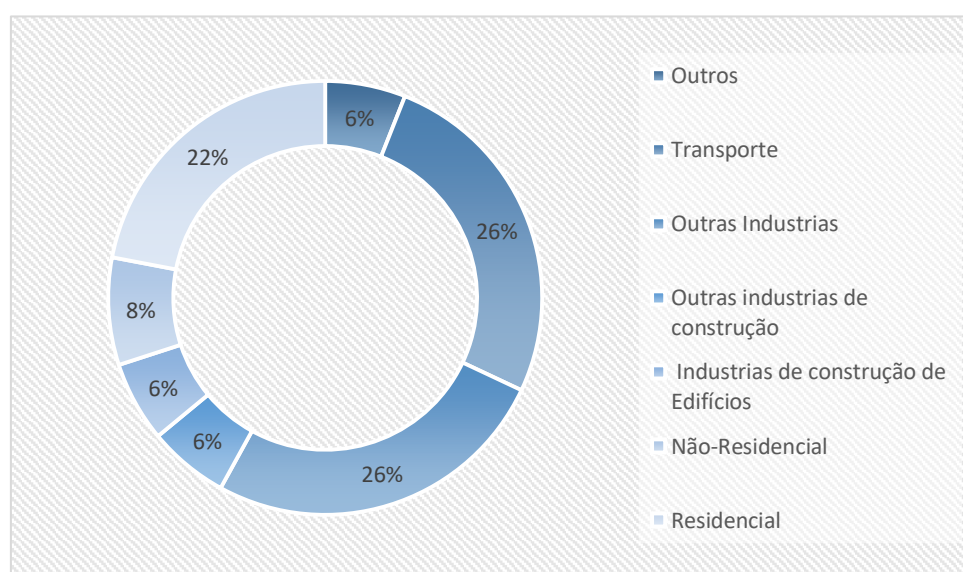


Figura 5 Consumo de energia por setor 2020 -Adaptado de (UN Environment Program, 2021)

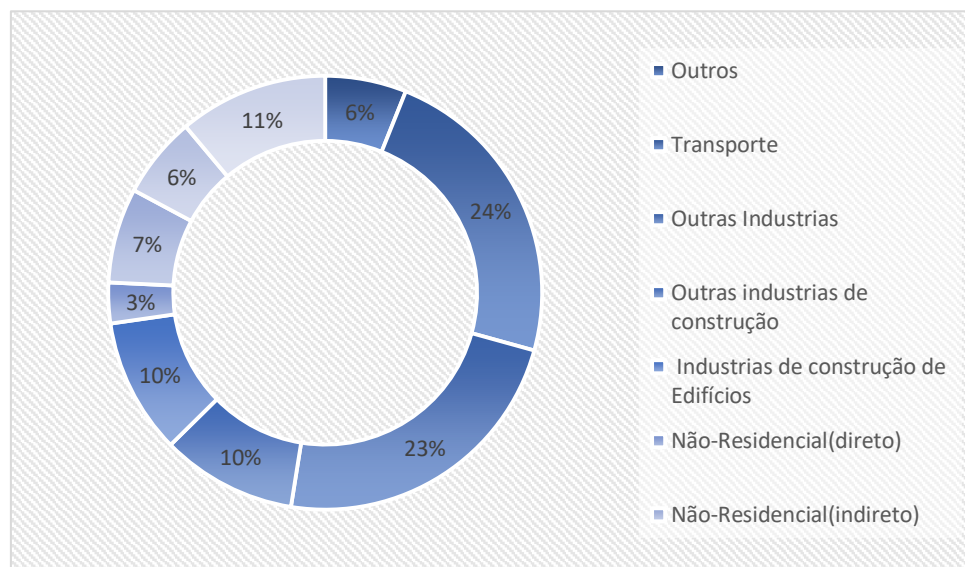


Figura 6 Emissão de GEE por sector no ano de 2020 -Adaptado de (UN Environment Program, 2021)

Para diminuir o consumo de energia nos edifícios é preciso traçar estratégias claras para o sector, que passem por:

- Redução na procura de energia, através da mudança de comportamento e a adoção de medidas de eficiência energética.
- Descarbonização do sector energético, dando prioridade a fontes de energia limpas e renováveis.
- Uso de materiais eficientes com baixa pegada de carbono.
- Uma análise criteriosa do comportamento e das necessidades do edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida.
- Um projeto que permita que os edifícios sejam “independentes”, eficientes, inteligentes, que se adequem as condições económicas geografias e climatéricas locais.
- Incentivar a mudança de comportamento dos ocupantes de modo a reduzir o consumo de energia.
- Aplicar conceitos de economia circular em toda cadeia de abastecimento.
- Preferir reformar edifícios antigos ao invés de construir novos.
- Prefabricação de estruturas para edifícios, diminuindo desperdícios e resíduos.
- Garantir que novos edifícios sejam edifícios de balanço energético nulo.

Todas as medidas são definidas pelo programa *Adopting Decarbonization Policies in the Buildings & Construction Sector: Costs and Benefits* (United Nation Environment Program , 2019) como quatro pontos chaves, sendo eles a construção de edifícios com balanço energético nulos e quase nulos, a renovações de edifícios antigos, diminuição da emissão de GEE pelo sector eletricidade e o uso de materiais com baixa emissão do GEE.

2.9. Edifícios com balanço energético quase nulo

Edifícios com balanço energético quase nulo ou NZEB, são edifícios que cuja média de consumo anual é igual à sua capacidade de produção a partir de fontes renováveis (seja ela elétrica ou térmica) (Athienitis, 2015).

Os edifícios com balanço energético quase nulo são definidos na diretiva do Conselho da União Europeia (UE) 2019/790 do Parlamento Europeu e do conselho união europeia (Concelho da União Europeia , 2019) como edifícios com um alto desempenho energético, cujas necessidades de energia são quase nulas ou muito pequenas e deverão ser supridas por energia proveniente de fontes renováveis.

A Figura 7 mostra a relação entre a produção e as necessidades energéticas de um NZEB.

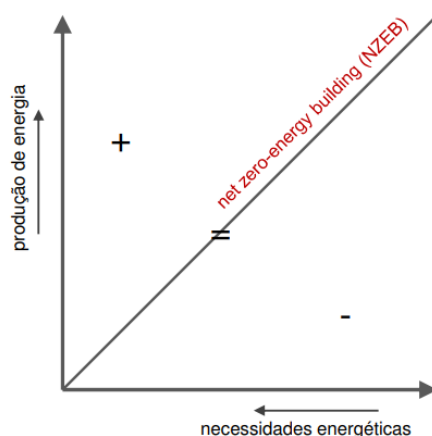


Figura 7 Relação entre a produção de energia e as necessidades energéticas do edifício (Gonçalves, Aelenei, & Aelenei, 2012)

Os NZEB podem ser interligados à rede de abastecimento para garantir o balanço entre o consumo e a produção. Sempre que a necessidade do edifício for maior que a sua produção

esse é abastecido através da rede de abastecimento e quando a produção supera as necessidades do edifício o excedente é injetado na rede (Pless & Torcelli, 2010). A energia que abastece o edifício pode ser produzida no próprio local ou ser proveniente de fontes externas.

Quando não interligados à rede de abastecimento os edifícios necessitam de sistemas de armazenamento que possam garantir o abastecimento no caso da produção não ser suficiente para suprir as necessidades.

O balanço energético de um edifício pode ser classificado em três tipos diferentes (Aelenei, Aelenei, & Gonçalves):

- Edifícios com balanço energético positivo: cuja produção de energia é superior ao consumo, produzindo excedentes, que podem ser injetados na rede, ou armazenados.
- Edifícios com balanço energético nulo: cuja produção é igual ao consumo.
- Edifícios com balanço energético quase nulo: cujo consumo é ligeiramente superior à produção.

O conceito de NZEB pode variar de acordo com os objetivos pretendidos na sua construção (desde diminuir o custo da energia, as emissões e a poluição ou até no tipo de fonte de energia que será usado), por outro lado a caracterização dos edifícios pode também ser feita a partir das fronteiras do edifício. De acordo com (Ptess, Crawly, & Dru, 2006), podendo ser:

- ***Net site energy buildings***- A energia é produzida no próprio local onde é consumida. Produz-se mesma quantidade de energia consumida num período de um ano. Estes são fáceis de implementar e não sofrem influência de fatores externos na performance do sistema.
- ***Net zero source energy building***- são edifícios que produzem ou compram a mesma quantidade de energia consumida pelo edifício em um ano, contabilizados de acordo com a fonte de energia. O cálculo da energia consumida contabiliza também a energia utilizada no processo de extração, produção e distribuição da eletricidade. O cálculo da energia importada ou exportada pelo edifício leva em consideração os fatores de conversão da energia primária em energia útil.

- **Net zero cost energy buildings**- para edifícios ligados à rede de abastecimento, a quantia monetária gasta na compra de energia da rede deve ser igual à quantidade de recebida pela venda de excedentes à rede.

Porém este conceito é mais difícil de implementar na prática, pois para sistemas ligados à rede o preço de compra de energia à rede pública é maior que o preço de venda.

- **Net zero emissions building**- a energia é produzida através de fontes renováveis e limpas e compensa o consumo de energia proveniente de fontes não renováveis.

A Figura 8 mostra as fronteiras locais de transferência de energia em caso de NZEB, este caso representa um sistema ligado à rede de abastecimento, que funciona como um banco de baterias, recebendo o excedente de produção, e suprindo as necessidades caso seja necessário.

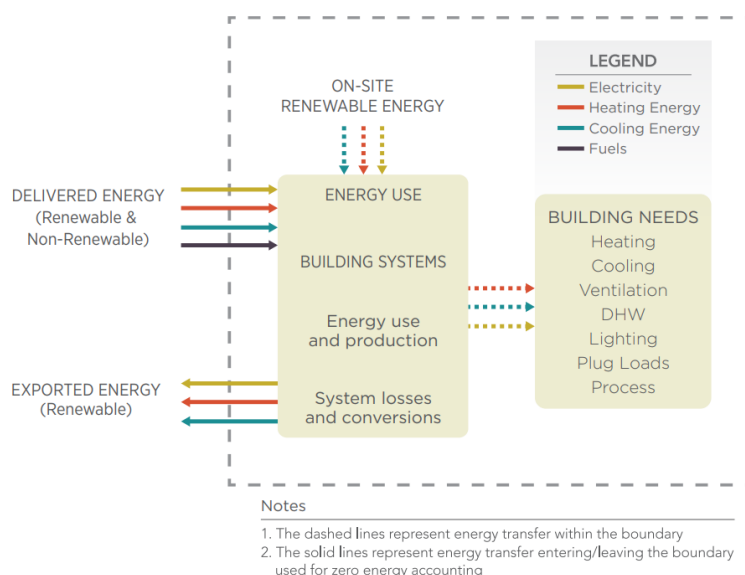


Figura 8 Fronteiras locais para a transferência de energia em NZEB (Santos & Matias, 2006)

O projeto de NZEB tem como principal objetivo garantir a eficiência energética nos edifícios através de um projeto passivo alinhados à otimização dos recursos naturais disponíveis, solar (transformação de energia solar em eletricidade, aquecimento e iluminação), eólico e geotérmico bem como a instalação de sistemas de isolamento eficiente, entre outras medidas.

As vantagens da construção de NZEB podem ser tanto a nível ambiental, através da promoção e do incentivo à utilização de energia renováveis e de medidas de eficiência energética, a construção de edifícios com baixa pegada de carbono, a utilização de materiais sustentáveis,

menor desperdício de recursos. Como económico, com o aumento do valor de mercado da propriedade, em termos de custo-benefício através da redução do custo de energia ao longo do ciclo de vida do edifício, na conceção de benefícios e incentivos fiscais por parte das autoridades.

Acima de tudo os NZEB devem garantir o bem-estar e a qualidade de vida dos ocupantes

Fontes de energia renovável

Como já mencionado anteriormente, o primeiro passo para se alcançar um NZEB é a redução do uso de energia, através da implementação de medidas de eficiência energética. Além da utilização de eletrodomésticos e outros aparelhos eficientes, também pode-se promover um maior aproveitamento da luz solar, ventilação natural, entre outras medidas para a redução do consumo de eletricidade, e só depois avaliar a disponibilidade de tecnologias renováveis para a produção de energia. É importante dar prioridade a soluções tecnológicas que possam ser instaladas no próprio local dos edifícios, diminuindo a necessidade do transporte, consequentemente as perdas e gastos ligados ao processo. Como exemplo temos as instalações fotovoltaicas instaladas em telhado, e sistemas solares térmicos para o aquecimento de água sanitária.

A escolha da tecnologia adequada para a instalação deve sempre ter em conta os seguintes princípios: as necessidades do edifício, disponibilidade de recursos, minimização do impacto ambiental, viabilidade económica e a relação custo benefício, performance e os limites técnicos das diferentes tecnologias e conforto dos ocupantes.

Para edifícios residenciais, torna-se mais fácil a utilização de recursos solar tanto para a eletrificação, aquecimento de água e do ambiente, pois esses são práticos, de fácil acesso manutenção e não exigem grandes espaços para a sua instalação.

O estudo *Net- Zero Energy Building a Classification System Based on Renewable Energy Suplly Options* (Pless & Torcelli, 2010) faz uma análise dos diferentes recursos disponíveis, e estabelece uma hierarquia baseada nos princípios para a escolha das fontes adequadas. como mostra a Tabela 2 adaptada do artigo mesmo artigo.

Tabela 2 Hierarquia das fontes de energia para NZEB - Adaptado de (Pless & Torcelli, 2010)

Ordem prioridade	Ações	Exemplos
0	Reduzir o consumo através de medidas de eficiência energética e tecnologias	Iluminação natural, aquecimento solar passivo, equipamentos de climatização com alta eficiência, ventilação natural, arrefecimento evaporativo,
Opções de oferta internas		
1	Uso de ER disponíveis dentro da área do edifício	Energia solar fotovoltaica, energia solar térmica, ventilação localizada no edifício
2	Uso de ER disponíveis nas proximidades do edifício	Energia solar fotovoltaica, energia solar térmica, ventilação localizada no edifício, energia hídrica de baixo impacto, ventilação localizada nos parques de estacionamento e nos espaços abertos adjacentes, mas não fisicamente montadas no edifício.
Opções de oferta externas		
3	Usar recursos disponíveis fora do local para a produção no local, interligados ao sistema de abastecimento e eletricidade e aquecimento de água sanitária.	Biomassa, paletes de madeira, etanol, ou biodiesel, importados ou coletados de fluxos de resíduos processados no local, utilizado para produzir eletricidade e aquecimento.
4	Comprar de produtores de ER externos.	Centrais eólicas, fotovoltaicas, que tenha crédito de emissão, ou outras opções de compra de energia limpa.

2.10. Estratégias para a construção de NZEB

As estratégias para a construção de NZEB podem ser divididas em três grupos, **soluções passivas**, que dizem respeito ao projeto e a soluções construtivas, associado a medidas de **eficiência energética** garantem um edifício de baixa necessidade energética, suprido total ou maioritariamente por **energias renováveis**.

2.10.1. Medidas passivas

a. Orientação

Em climas quentes e secos como o cabo-verdiano, é importante evitar o sobreaquecimento, neste sentido a orientação do edifício tem um papel fundamental para no controle dos ganhos solares. A avaliação da orientação ideal de um edifício está diretamente ligada ao percurso diário do sol. Estudos indicam que em Cabo Verde fachadas a norte-sul tem menor exposição à radiação solar enquanto as fachadas a este-oeste, estão mais expostas, sendo assim é importante que as fachadas mais longas e com maior proporção das áreas envidraçadas sejam posicionadas nesta direção. No entanto nem sempre é possível garantir a orientação ótima. Segundo o estudo Código de Eficiência Energética em Edifícios (Governo de Cabo Verde, 2020), em situações onde não é possível garantir a orientação ideal, devem ser adotadas medidas que possibilitem colmatar o problema, como a diminuição do rácio janela- *Windows Wall Ratio* (WWR), investimento em sistemas do sombreamento externo eficientes, e a adequação do zonamento.

b. Áreas envidraçadas

As áreas envidraçadas são responsáveis pela infiltração solar, iluminação, ventilação natural e contacto com o exterior do edifício. Por ter baixa resistência térmica (comparados às paredes opacas), os vão envidraçados levam a um aumento de ganho solares. O não correto dimensionamento pode contribuir para o aumento da necessidade de iluminação artificial e ar condicionado, por outro lado, o correto dimensionamento, sombreamento eficiente e escolha de materiais adequados são essências para o bom desempenho dos edifícios.

No caso específico de Cabo Verde, edifícios com grandes áreas envidraçadas não se adequam às condições climáticas do país, por ter grande exposição à radiação solar, levando ao

sobreaquecimento dos ambientes interiores. Sendo assim WWR não deve ultrapassar os 30% nas fachadas Norte e Sul e os 20%, no nascente e poente (Centeio, 2015). Porém estudos mais recentes como mostram que para uma maior eficiência energética, o WWR deve compreender-se entre os 30 e 40% (Governo de Cabo Verde, 2020).

Em regiões com o clima tropical e forte incidência do sol, a principal necessidade no momento de escolher o tipo de vidro é diminuir os ganhos solares, sem que isto prejudique a iluminação e a ventilação natural. Neste sentido são recomendados vidros duplos, pois estes reduzem significativamente os ganhos solares, aumentando o isolamento da área. Há também disponível no mercado vidros de baixa emissividade se adequam ao contexto local, uma vez que estes têm capacidade de diminuir a quantidade de radiação solar incidente, sem, no entanto, diminuir a quantidade de luz natural (Guedes, Perreira, & Pinheiro, 2011).

c. Sombreamento

O sombreamento desempenha um papel importante no controle dos ganhos solar de um edifício. Segundo (Centeio, 2015) em climas quentes, edifícios com sombreamento eficientes chegam a ser 4°C a 12 °C mais frescos. O estudo (Governo de Cabo Verde, 2020) indica que em Cabo Verde, os edifícios que têm fachadas a norte têm menor necessidade de sombreamento, porém as necessidades de sombreamento são maiores para edifícios com fachadas a sul, leste e oeste durante o ano todo. A necessidade dos edifícios com orientação a nascente e a poente aumentam no início e final da tarde, devido ao aumento da exposição solar nestes horários.

O sombreamento pode ser feito a partir de dispositivos internos que absorvem a radiação solar depois deste ter passado pelo vidro, refletindo uma parte desta através das janelas, ou dispositivos externos que absorvem a radiação antes que este passe pelo vidro. Os dispositivos podem ainda ser fixos (como placas verticais, placas horizontais, grelhas etc.), ajustáveis (como persianas, venezianas e cortinas), ou pela vegetação e edifícios vizinhos.

A orientação do edifício tem grande relevância a escolha do tipo do sombreamento, o estudo (Salvatore, Pagliano, O'Brien, & Konstantinos, 2015) realça que dispositivos de sombreamento fixo deve ser priorizado em fachadas voltados para o equador.

As etapas para o projeto de sombreamento ideal passam por conhecer a latitude de longitude do local, os períodos críticos (em Cabo Verde este período compreende-se entre os meses

março a novembro, quando se registam temperaturas médias acima dos limites de conforto), definir e calcular os ângulos de corte solar, calcular o fator de projeção para diferentes orientações do edifício em estudo (Governo de Cabo Verde, 2020)

Existem dois tipos de ângulos do corte solar, sendo eles ângulos horizontais (HSA) corresponde ao angulo formado entre a janela e o azimute solar e verticais (VSA) é o angulo formado entre o plano dos cantos inferiores das janelas e o sol e o plano terrestre. Dados pelas seguintes formulas:

$$HSA = \text{Azimute-Orientação};$$

$$VSA = \tan^{-1}\left(\frac{\tan(ALT)}{\cos(HSA)}\right);$$

Em que ALT é a altura do sol.

O código de eficiência energética em edifícios (CEEE) cabo-verdiano em apresenta ainda os ângulos de corte ideais para Cabo Verde, de acordo com a orientação da fachada, apresentado na Figura 9. Os edifícios com fachada a Norte não requerem sombreamento, devido à baixa incidência de radiação solar, enquanto os ângulos de corte das fachadas a sul, este e sudeste são de 30° e esta requer sombreamento entre as 11 horas da manhã e as 16 horas da tarde até, as 11 horas em diante e do nascer do sol às 16 horas respetivamente (Governo de Cabo Verde, 2020).

Orientação da fachada	Ângulo de corte solar (em graus)		Desempenho
	VSA	HSA	
<i>Norte</i>	Os dispositivos não são necessários pois a radiação direta do sol ocorre por um período de tempo menor e a uma altitude inferior		
<i>Sul</i>	30	30	Sombreamento das 11 horas às 16 horas
<i>Este</i>	30	30	Sombreamento a partir das 11 horas em diante
<i>Oeste</i>	65	48	Sombreamento até as 16 horas
<i>Nordeste</i>	85	30	Sombreamento a partir das 11 horas em diante
<i>Noroeste</i>	76	30	Sombreamento até as 16 horas
<i>Sudeste</i>	54	30	Sombreamento a partir das 11 horas em diante
<i>Sudoeste</i>	30	30	Sombreamento até as 16 horas

Figura 9 Ângulos de corte ideais para Cabo Verde de acordo com a orientação da fachada (Governo de Cabo Verde, 2020)

d. Isolamento térmico

O isolamento consiste na aplicação de materiais com alta resistência térmica nas estruturas envolventes do edifício (paredes, pavimento, cobertura). Devido ao seu baixo coeficiente de transmissão térmica, estes materiais, funcionam como uma barreira ao fluxo de calor, garantindo que haja menos trocas entre o ambiente interior e exterior do edifício, desta forma protegê-lo dos ganhos solares.

O isolamento garante um ambiente interior mais confortável e saudável, além de ter um impacto direto na quantidade de energia gasta para a climatização, diminuir a humidade e condensação das superfícies mantendo-as secas.

As técnicas e os materiais utilizados para o isolamento das superfícies dependem das necessidades dos mesmos, podendo ser aplicado pelo exterior, pelo interior ou até mesmo pelas cavidades entre tijolos ou em paredes duplas que por si só já conferem isolamento, mas podem ser reforçados com a adição de materiais isolantes. Os materiais utilizados podem ser, lã rocha, fibras de vidro, poliestireno expandido ou estrupido, cortiça, etc.

Nos telhados a aplicação de placas de poliestireno extrudido moldado (EPS) sobre a laje à uma das soluções mais eficientes, mas também pode-se optar pela instalação de produtos reflexivos como placas metálicas. Em climas quentes e secos como Cabo Verde, é preferível a aplicação isolamento na superfície exterior nas paredes e na cobertura.

d. Iluminação

Projetos de iluminação eficiente devem garantir os níveis de iluminância necessária para a realização da atividade pretendida, a economia de energia, a redução de custos do sistema, bem como os custos de manutenção, priorizar a iluminação localizada à generalizada e maximizar o aproveitamento de luz natural (Agencia para Energia , 2019).

Superfícies opacas têm maior resistência térmica. Em climas como o cabo-verdiano, devem ser evitadas áreas zonas envidraçadas de grandes proporções, a área parede janela, não deve ser superior a 40%, porém, é sabido que quanto menor a exposição a iluminação natural, aumentam as necessidades de iluminação artificial. A iluminação natural de um espaço interior depende também do horário e nebulosidade, como mostra a Figura 10.

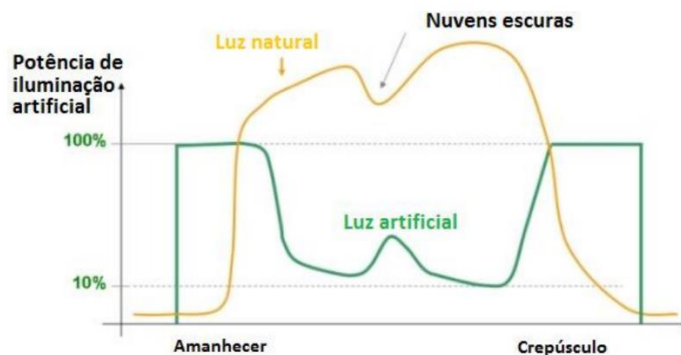


Figura 10 Comutação da luz natural e artificial ao longo do dia

e. Ventilação natural

Os principais objetivos da ventilação nos edifícios é garantir o fornecimento de ar fresco aos ocupantes, a remoção do calor e o arrefecimento do corpo humano (Governo de Cabo Verde, 2020), existem diferentes formas de garantir a ventilação dos espaços interiores, a ventilação mecânica, a ventilação natural e um sistema misto. A ventilação natural é sem dúvida a opção mais viável tanto economicamente como na de redução do consumo de energia.

O estudo (Garcia, 2016) define a ventilação natural dos edifícios como sendo um conjunto de processos que promovem de forma controlada, o fluxo de ar entre o interior e exterior do edifício. Enquanto (Direção Geral de Energia e Geologia, 2021) define a ventilação natural como sendo um sistema constituído por componentes, aberturas, passagens de ar interiores e condutas, que permitem assegurar, em termos médios, a renovação de ar exclusivamente promovida pelos efeitos da diferença de temperatura e ação do vento, sem qualquer sistema mecânico. Para garantir uma boa ventilação dos espaços, estes devem ser projetados de forma a garantir o fluxo de ar, através do projeto de aberturas e janelas que permitam a entrada e saída do ar (Agência para Energia, 2016).

Existem três tipos de ventilação natural, a ventilação cruzada, a unilateral e o efeito chaminé (Figura 11).

A ventilação cruzada acontece quando são feitas aberturas em paredes opostas, permitindo a entrada e saída do ar dos dois lados. Para aumentar a fluxo de ar as aberturas devem ser colocadas a barlavento para a entrada e a sotavento para a saída do ar (Fortes, 2012).

A ventilação unilateral acontece quando o ar entra e sai pela mesma fachada, esta é a forma menos eficiente e é utilizada quando não há possibilidade de garantir a ventilação cruzada, por isso é importante um bom planeamento urbanístico, que permita um distanciamento adequado entre as casas para garantir o fluxo de ar.

O efeito chaminé (Figura 12), é proveniente da diferença de temperatura, quando ocorre a subida do ar quente e consequente descida do ar frio, neste caso, o ar frio é introduzido através de aberturas inferiores, sendo depois aquecida por fontes de calor internas e sai por aberturas superiores ou chaminés.

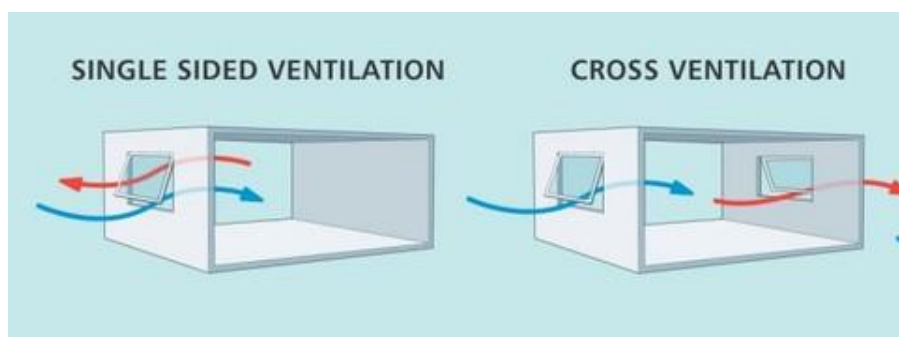


Figura 11 Tipos de ventilação natural (Slouhi, 2021)

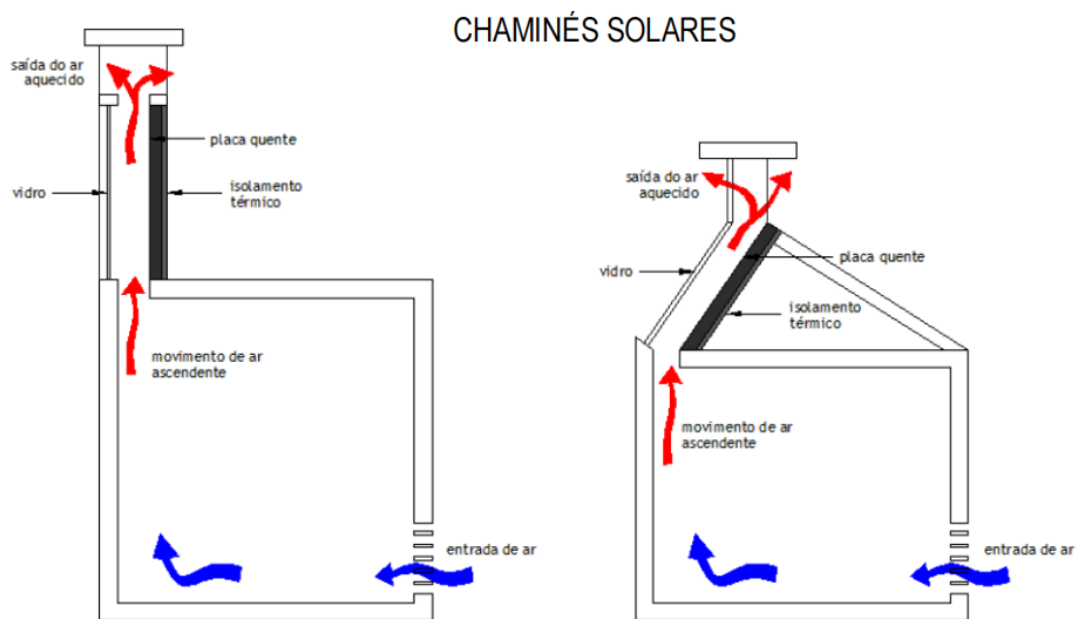


Figura 12 Efeito chaminé (Silva, 2013)

f. Conforto térmico

O conforto térmico é avaliado de acordo com a satisfação dos ocupantes em relação ao ambiente térmico (Athienitis, 2015), estabelece a relação entre o indivíduo e o seu ambiente envolvente, com base em dois tipos de variáveis, as variáveis do ambiente (a temperatura do ar, a humidade relativa (HR), a temperatura média radiante e a velocidade do ar) e variáveis do indivíduo, (atividade e metabólica e o isolamento dos vestuários) que controlam para as perdas ou ganhos de calor.

Um dos métodos de avaliação do conforto térmico é o chamado *Predicted Mean Vote* (PMV), que prevê a sensação térmica do corpo a partir das variáveis ambientais e individuais a que esta exposto, e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) é calculado partir do PMV e indica o número de pessoas propensas a sentir muito calor ou muito frio num determinado ambiente (ISO7730, 2005).

O PMV é baseado no valor médio de votos de um grande grupo de pessoas de acordo com uma escala de sete pontos (Tabela 3).

Tabela 3 escala de sete pontos do PMV - adaptado de (ISO7730, 2005)

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

De acordo com o estabelecido na norma ISO7730:2005, o conforto térmico de um espaço pode ser dividido em três categorias, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Categorias de conforto térmico – adaptado de (ISO7730, 2005)

Categoria	Estados térmicos	
	PPD (%)	PMV
A	<6	-0,2<PMV<+0,2
B	<10	-0,5<PMV<+0,5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7

Edifícios passivos podem ser abrangidos na classe C, pois os ocupantes são mais tolerantes às condições ambientais interiores (Laboratório Nacional de Engenharia Civil IR, 2018). O corpo humano é capaz de se adaptar às condições climatéricas a que está constantemente exposto, por exemplo pessoas originárias de regiões mais quentes tendem a ter maior tolerância para altas temperaturas. O documento estabelece ainda que para condições de metabolismo 0,7 met (sono), a temperatura operativa deve estar dentro da faixa de temperatura de 14°C a 30°C, para os períodos de inverno e verão respetivamente, por outro lado, quando o metabolismo é de 1,2 met (sedentária) esses valores variam entre 16°C e 28°C para os mesmos períodos.

g. Inércia térmica

A inércia térmica é a capacidade de um edifício de controlar as oscilações de temperatura interna, através da adoção de elementos construtivos com elevada capacidade de armazenamento/atraso de calor. Este fenómeno está ligado à capacidade do edifício em reduzir os picos de calor e libertá-lo posteriormente (Ramos, 2010), a massa térmica do edifício absorve o calor durante o dia e o liberta durante a noite, evitando assim o sobreaquecimento e o arrefecimento, garantindo melhores condições de conforto para seus ocupantes.



Figura 13 Edifícios de blocos de cimento e betão armado Cabo Verde (Jornal O País , 2020)

A inércia térmica depende de quatro variáveis fundamentais, a massa específica, o calor específico, a condutividade térmica e espessura do material.

De uma forma geral os edifícios em Cabo Verde têm uma excelente inércia térmica, tendo em conta que a maioria tem em sua estrutura materiais maciços como blocos de cimento, pedras basálticas, betão armado (Figura 13), que possuem alta inércia térmica.

O aumento da área de exposição das estruturas maciças, a preferência do uso de isolamento pelo exterior do edifício são algumas das estratégias que favorecem inércia térmica, porém é importante realçar que esta não é uma solução permanente, uma vez que com o decorrer do tempo, essas estruturas tornam-se menos eficientes, pelo que se torna necessário a combinação de técnicas para a dissipar o calor.

g. Arrefecimento evaporativo

O arrefecimento evaporativo é um processo consiste em diminuir a temperatura do ambiente, no processo de mudança fase da água, que passa do estado líquido para o gasoso, através da absorção de calor (Vidigal, 2014). Quando o ar quente passa para o meio molhado a água evapora, e o calor do ar é absorvido, causando a diminuição da temperatura do ar (Seeley International, 2022) (Figura 14).

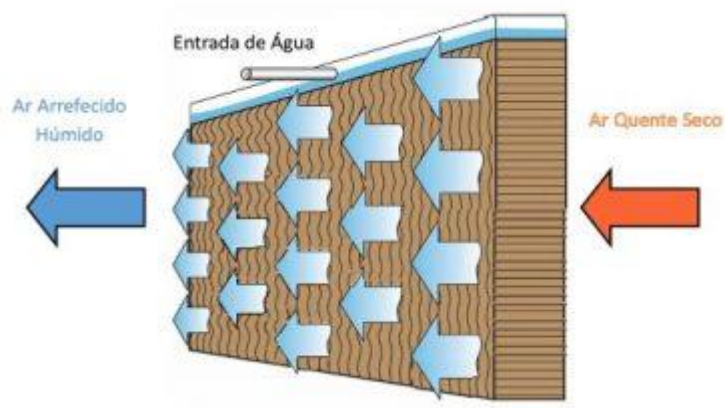


Figura 14- Esquemas sistemas de arrefecimento evaporativo (Tecniclíma, 2020)

Este processo é ideal para climas quentes e secos e contribui também para a diminuição do consumo de energia, pois mesmo quando mecanizado o consumo de energia é menor que o uso de aparelhos de ar condicionado convencionais.

Existem duas técnicas arrefecimento evaporativo, o direto, quando há contato com a superfície molhada, ou jatos de água, levando ao aumento da HR, enquanto o processo indireto, em que o ar é arrefecido sem que haja aumento do seu conteúdo em vapor de água. Estes processos podem ser combinados resultando em processo em duas fases que são mais eficientes (Vidigal, 2014). Uma das vantagens do processo indireto está no facto de este não levar ao aumento da HR exterior, o que prejudica o processo de arrefecimento, porém este processo é mais complexo e requer maior manutenção, além do fato de haver menos consumo de água no processo direto. Existem vários exemplos destes processos, que vão desde o uso de vegetação nos pátios, vasos de barro porosos com água, paredes de tubos cerâmicos (Figura 15), utilização de materiais granulados humedecidos na cobertura.



Figura 15 Paredes de tubos cerâmicos para arrefecimento evaporativo (He & Hogano, 2009)

2.10.2. Medidas ativas

a. Tecnologia fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica é responsável por transformar, a radiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico.

A tecnologia das células fotovoltaicas está dividida em três gerações, a primeira geração engloba as células de Silício cristalino, é a tecnologia predominante no mercado, por apresentar alta eficiência e elevado custo-benefício. As células da segunda geração são denominadas de células de filme fino, tendo sido desenvolvidas para reduzir desperdício de matéria-prima (Samya, Radhakrishan, & Ashok, 2018), porém a tecnologia é menos eficiente, e tem baixa vida útil. A tecnologia da terceira geração está ainda em fase de desenvolvimento e ingresso no mercado, as células apresentam alta eficiência, contudo o seu custo de produção e comercialização é ainda elevado, tornando-os pouco competitivos com as demais tecnologias já existentes no mercado.

A produção fotovoltaica está condicionada à presença do sol, surgindo assim a necessidade de abastecer as cargas fora das horas de produção, neste sentido, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como: sistemas isolados, ou sistemas *Off-grid*, onde a energia gerada é armazenada em um banco de baterias que abastece as cargas fora das horas de produção. E sistemas interligados à rede, *grid-connected*, que usam a rede pública como o banco de bateria,

neste caso, quando a energia é produzida em excesso ela é injetada na rede, que abastece as cargas fora das horas de produção. Existem ainda sistemas híbridos que são sistemas interligados à rede, que contam com um sistema de armazenamento.

De acordo com o relatório *Photovoltaic Report* (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems; ISE, 2022), pesquisas de laboratório mostram que as células de silício monocristalino já atingiram uma eficiência de 26,7%, enquanto as policristalinas apresentam até a data uma eficiência de 24,4%, as células comerciais apresentam eficiências a volta do 20%. Em relação às tecnologias de filme fino, as células Índio Gálio (CIGS) demonstram uma eficiência de 21% e a Telureto de Cadmo (CdTe) têm 25,5% de eficiência. As células de multijunção apresentam laboratório uma eficiência de 47,1%.

A Figura 16 mostra o relatório (National Renewable Energy Laboratory , 2022) em relação à eficiência confirmada em laboratório de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas.

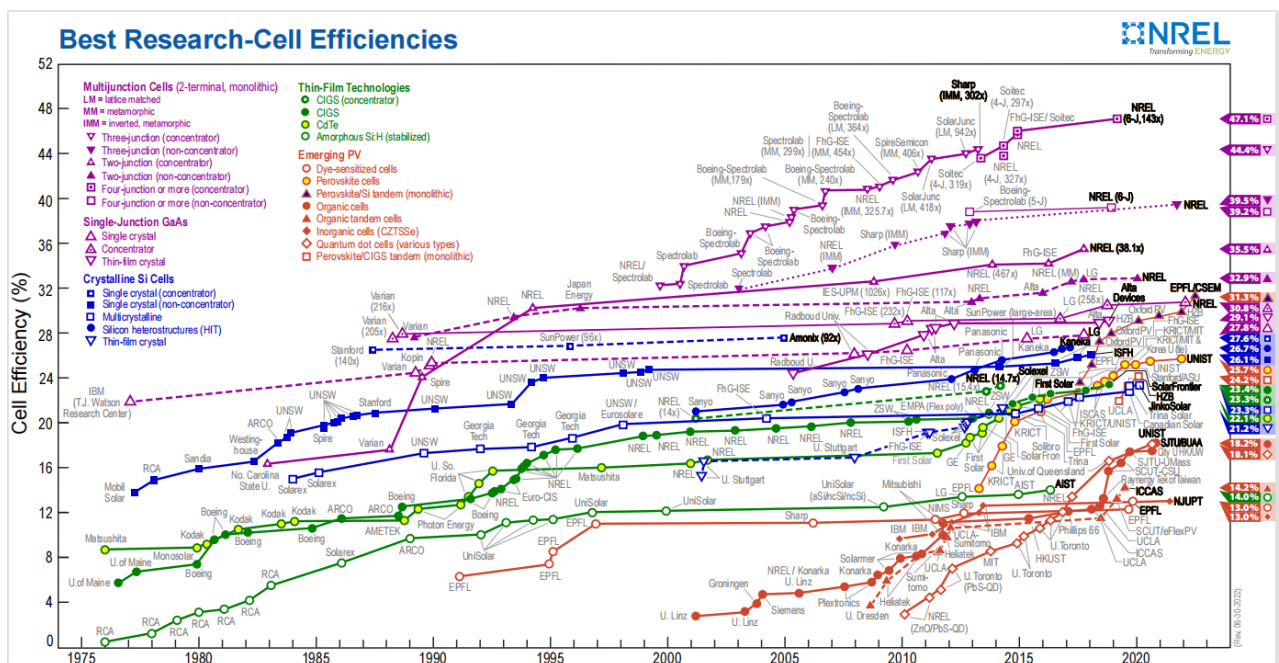


Figura 16 Eficiência confirmada em laboratório de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas (National Renewable Energy Laboratory , 2022)

Integração de tecnologias fotovoltaicas em edifícios

Existem várias técnicas de montagens dos módulos fotovoltaicos em edifícios, podendo ser adicionados a elementos construtivos como telhados e coberturas, montagem de estruturas independentes no solo ou em mastros. Os painéis solares podem também ser integrados à própria estrutura dos edifícios, substituindo elementos arquitetónicos como fachadas, telhados dispositivos de sombreamento, bem como materiais de construção, no caso de vidros transparentes para janelas, telhas fotovoltaicas, servindo simultaneamente como gerador de energia e elemento construtivo. Este tipo de abordagem é denominado de *Building integrated photovoltaics* (BIPV). A multifuncionalidade dos BIPV tem levado a uma crescente procura do mercado, porém as desvantagens de tal projeto passam pelo encarecimento do sistema, menor eficiência quando comparados a sistemas convencionais, bem como a impossibilidade de otimização da orientação e inclinação. A Figura 17 mostra alguns exemplos da montagem painéis fotovoltaicos em edifícios.

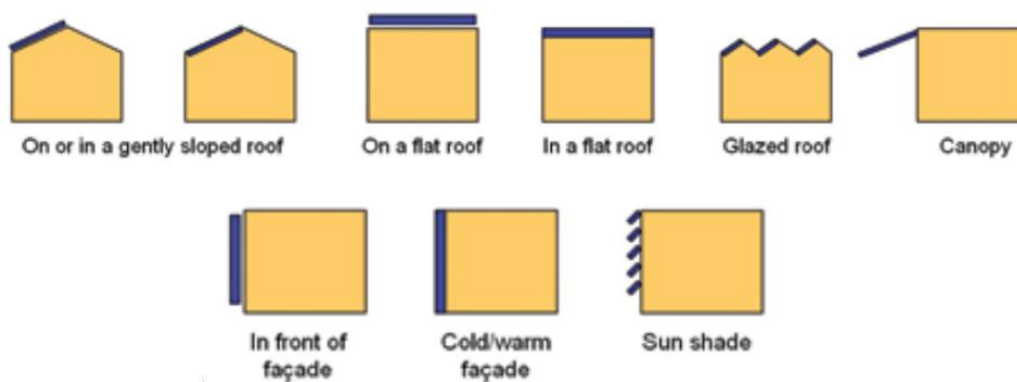


Figura 17 Montagem painéis fotovoltaicos em edifícios – Adaptado de (Energy Market authority)

Principais componentes de um sistema

Os componentes de um sistema fotovoltaico, dependem do tipo e da aplicabilidade do sistema. No geral, os sistemas fotovoltaicos são constituídos por três blocos, um bloco gerador (módulos fotovoltaicos), um bloco de controle de potência, e em certos casos um bloco de armazenamento.

Módulos fotovoltaicos: responsáveis pela conversão de energia solar em eletricidade, os módulos são compostos por células interligadas entre si, de forma a produzir tensão e correntes

suficientes para a utilização prática da energia (Pinho & Galdino, 2014), os módulos são então interligados em serie e em paralelo formando o campo solar.

Inversores: dispositivos responsáveis pela transformação da corrente continua CC produzida nos painéis fotovoltaicos, em corrente alternada CA que é utilizada pela maioria dos equipamentos, além de estabelecer a ligação com a rede no caso de sistemas interligados à rede de abastecimento, os inversores são ainda responsáveis por medir a produção de energia, e garantir a proteção controle e supervisão do sistema.

Baterias: são dispositivos de armazenamento da produção excedente de energia, garantindo o fornecimento em fora das horas de produção, essencial em sistemas autónomos, porém o seu uso aumenta o custo e a complexidade do sistema.

Controladores de carga: estes dispositivos são responsáveis pela proteção do banco de bateria, controlam os níveis de carga das baterias, evitando a sobrecarga e a descarga profunda.

A Figura 18 mostra os principais componentes de sistemas fotovoltaico *on-grid* e *off-grid*.

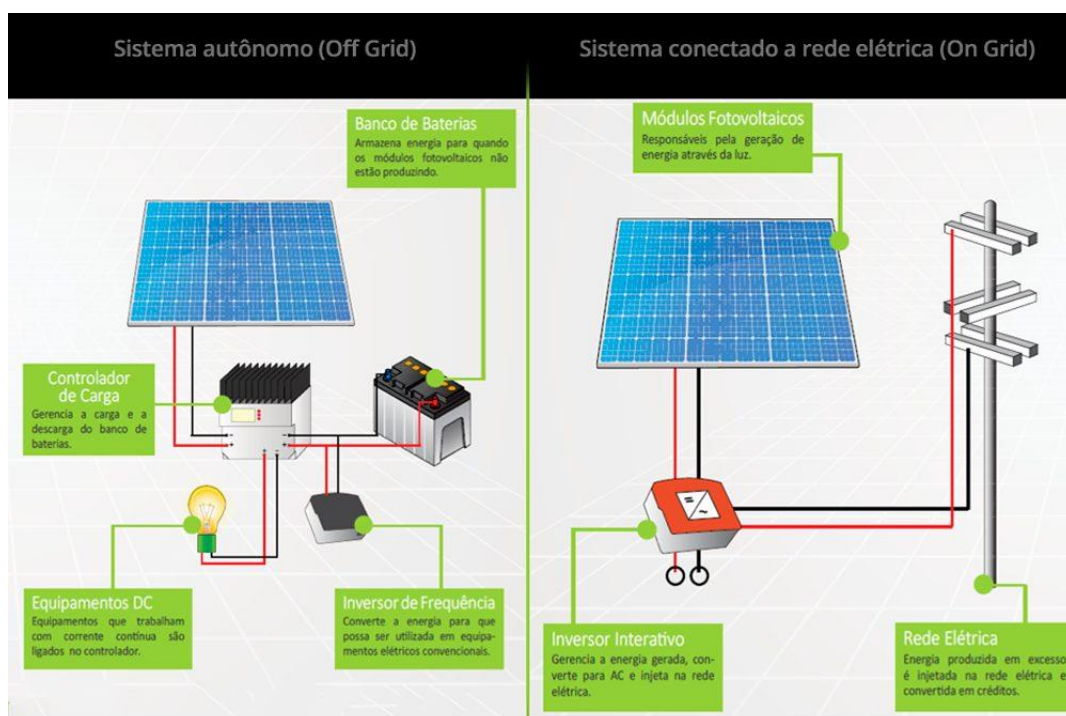


Figura 18 Principais componentes de sistemas fotovoltaicos (SecPower, 2021)

Custos do sistema fotovoltaico

O custo da produção de energia fotovoltaica caiu 13% em 2020, mesmo com o aumento do custo dos materiais, o custo médio é de 0,048 €/kWh, tornando-a mais barata que combustíveis fósseis (Hall, 2022).

b. Energia solar térmica

A energia solar térmica é caracterizada pela transformação de energia solar em calor. O sistema é composto por coletores, responsáveis pela conversão da energia solar em calor, circuitos hidráulicos (tubagens, bombas circuladoras e válvulas), grupo de circulação, central de controle e sistemas de apoio energético.

A radiação solar é absorvida na superfície dos coletores, através da placa absorvedora, e penetra no seu interior, o calor é absorvido pelo fluido de transferência presente nos tubos e é depois transportado para o depósito de água potável, que é então aquecido. Ao arrefecer o fluido de transferência é transferido de volta para o coletor.

Existem dois tipos de sistemas solares térmicos, sistemas de termossifão, e sistemas de circulação forçada. Os sistemas por termossifão, adequados para sistemas de água quente sanitária (AQS) de pequeno porte, cujo princípio de funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência, devido ao aumento de temperatura no coletor (Teixeira S. , 2009). Ao aquecer a água, ocorre a estratificação térmica, onde há divisão de camadas horizontais em que a água quente por ser menos densa acumula-se no fundo, onde está localizada a tomada de água quente, enquanto a água fria, mais densa, é acumulada em baixo, onde é feito o abastecimento de água para aquecimento. O depósito de acumulação deve ser instalado acima do coletor.

Os sistemas de circulação forçada, adequados para sistemas de média e grande porte, em que se recorre ao uso de bombas circuladoras para movimentar o fluido. Estas bombas podem ser instaladas dentro da própria habitação.

c. Energia eólica

Resulta do aproveitamento da energia do vento para a produção de eletricidade. A energia cinética associada ao movimento das massas de ar é transformada em energia mecânica de rotação das pás do aerogerador, que é então transformado em energia elétrica por meio de um rotor acoplado ao aerogerador. Neste caso, a velocidade do vento é um fator determinante para a produção da energia e sofre a influencia de topografia do local, a altura dos aerogeradores, presença de obstáculos (árvores, prédios, etc.).

O aerogerador é o principal componente de um sistema de geração eólica, e pode ser classificado de acordo com o local de instalação, como sendo sistemas *offshore* (instalação marítima) ou *onshore*, instalação continental. Os sistemas eólicos podem ainda ser classificados de acordo com o tipo de turbina, sendo de turbina de eixo vertical e turbina de eixo horizontal. As turbinas de eixo horizontal são predominantes no mercado, devido à sua alta eficiência, porém este tipo de turbina requer sistemas de controle de orientação, (que possibilita o posicionamento do rotor em direção do vento predominante), tornando-as mais complexas (ex.: turbina de uma pá, turbina de duas pás, turbina de três pás e turbinas de múltiplas pás). As turbinas de eixo vertical têm a vantagem de não precisarem de mecanismos de orientação, podendo produzir eletricidade independente da direção do vento, tornando-as menos complexas, e ideias para instalação em locais com baixa velocidade de vento, por outro lado têm menor eficiência, quando comparados a turbinas de eixo horizontal (Ex.: turbina darrieus, turbina savonius, e turbina de pás helicoidais). A Figuras 19 e 20 mostram alguns exemplos de turbinas verticais e horizontais respetivamente.

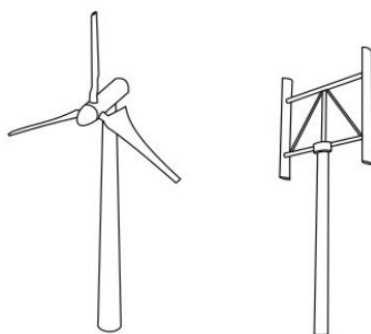


Figura 19 Aero geradores de eixo vertical (Marin, 2016)

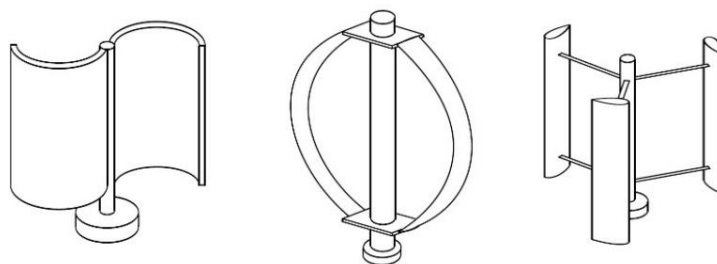


Figura 20 Aero geradores de eixo horizontal (Marin, 2016)

É possível a produção de eletricidade a partir de fonte eólica em edifícios e centros urbanos, através do uso de microturbinas. Devem ser priorizadas instalações em edifícios isolados, com a menor quantidade de obstáculos que interfiram na direção e velocidade do vento, devem ainda ser evitados edifícios à mesma altura do edifício a instalar. A instalação em locais densamente edificados onde haja obstáculos ao escoamento do vento, (Teixeira A. M., 2013)

3. Apresentação do caso de estudo

O edifício em estudo fica localizado na cidade de Assomada, interior a ilha de Santiago, Cabo Verde. A cidade é um planalto a 36 km da cidade da Praia, capital do país. Sendo o segundo maior centro urbano da ilha, a cidade é também conhecida por ser um grande polo comercial, abrigando uma das maiores feiras do país. A Figura 21, mostra a localização do edifício a partir do *Google Earth*. Este está localizado na periferia da cidade, sendo uma zona de rugosidade II. A habitação esta cercada por dois edifícios possuindo duas vistas, uma a este e outra a norte. Quanto à classe de proteção das fachadas considerou-se desprotegido, devido a ausência de informações relativos aos edifícios vizinhos.



Figura 21 Localização do edifício – Google Earth

Assim como o restante do arquipélago, a cidade de Assomada apresenta um clima ameno com temperaturas que variam entre os 16°C e 28°C e clima seco durante o inverno.

3.1. Dados climáticos

Não existe na base de dados do *software Designbuilder* dados climáticos de Cabo verde, neste caso foram utilizados dados climáticos de Senegal, que é o país mais próximo do arquipélago e tem um clima semelhante ao clima cabo-verdiano. Para o estudo de viabilidade do *software* Homer e o dimensionamento do sistema de geração de energia, foram utilizados dados disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), referentes à ilha de Santiago, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Dados meteorológicos ilha de Santiago - Fonte INMG

Param	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T	19,2	20,7	20,0	20,5	21,1	23,4	23,5	24,1	24,2	23,9	22,8	19,8
Tmmin	16,5	17,6	16,8	17,8	17,9	20,1	21,1	21,6	21,8	21,1	19,3	17,9
Tmmax	23,3	25,0	24,7	24,9	26,0	29,1	27,9	28,6	28,2	28,3	28,0	23,5
V	17,0	14,7	15,2	17,7	16,5	13,2	9,2	8,3	8,9	11,1	9,5	13,9
Precip	15,6	1,8	0,6	0,8	0,4	0,4	12,3	56,8	259,8	51,7	1,2	4,6
Rad tot	502,5	499,9	643,5	570,4	673,9	618,9	408,9	374,9	402,9	507,5	410,7	337,4
Rad	16,2	17,9	20,8	19,0	21,7	20,6	13,2	12,1	13,4	16,4	13,7	10,9

Em que:

T – Temperatura do ar média mensal (°C)

Tmmin – valor medio de temperatura mínima (°C)

Tmmax – valor medio de temperatura máxima (°C)

V – velocidade do vento média mensal (km/h)

Precip – precipitação total mensal (mm)

Rad tot – radiação solar total mensal (MJ/m²)

Rad – radiação solar média diária (MJ/m²)

3.1.1. Recurso solar

Através das coordenadas geográficas do arquipélago, foi possível obter os valores médios de radiação diária, mensal e do índice de clareza no *software Homer*. Dados apresentados na Figura 22.

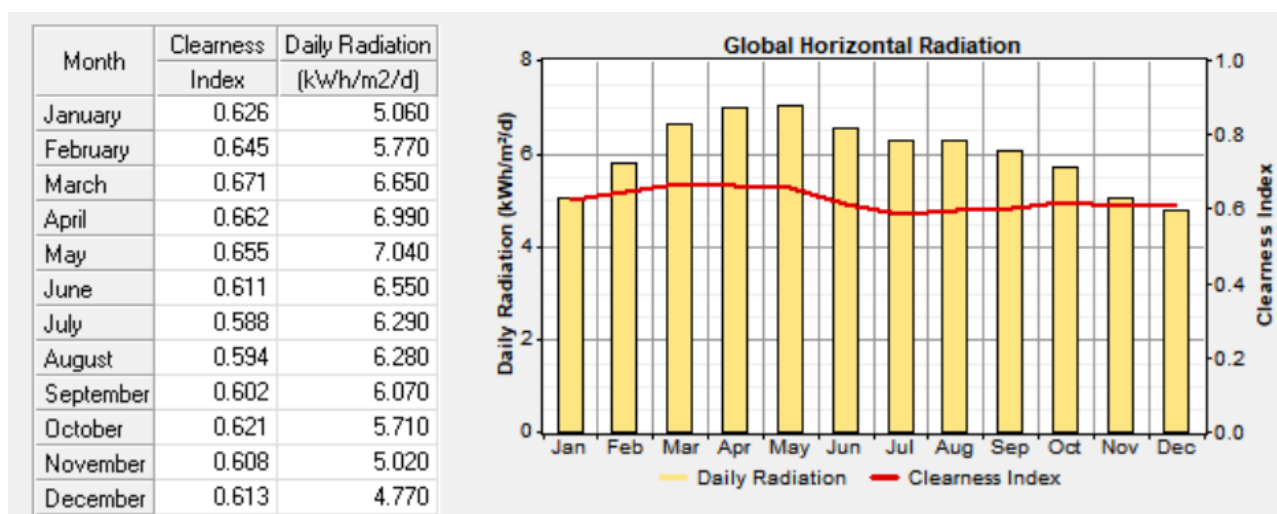


Figura 22 Média mensal da radiação solar incidente do arquipélago

A média de radiação diária é de do arquipélago é de 6,02 kWh/m²/dia, os meses com maior incidência de radiação são abril e maio (6,99 kWh/m²/dia e 7,04 kWh/m²/dia respetivamente), enquanto os meses de janeiro, novembro e dezembro apresentam os valores mais baixos (5,06 kWh/m²/dia, 5,02 kWh/m²/dia e 4,78 kWh/m²/dia respetivamente).

3.1.2. Recurso eólico

Os dados da velocidade do vento para este caso de estudo foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (Tabela 5). A Figura 23 mostra a média mensal da velocidade média do vento, a média diária é de 3,6m/s, calculados a partir do *software Homer*.

O mês de abril é o mês com ventos mais fortes, tendo uma média de 4,91m/s enquanto os meses de junho, julho, agosto e novembro são os meses com ventos mais fracos, a média de radiação diária para o mês de agosto (o mês com ventos mais fracos) é de 2,3 m/s, como mostra a Figura 23.

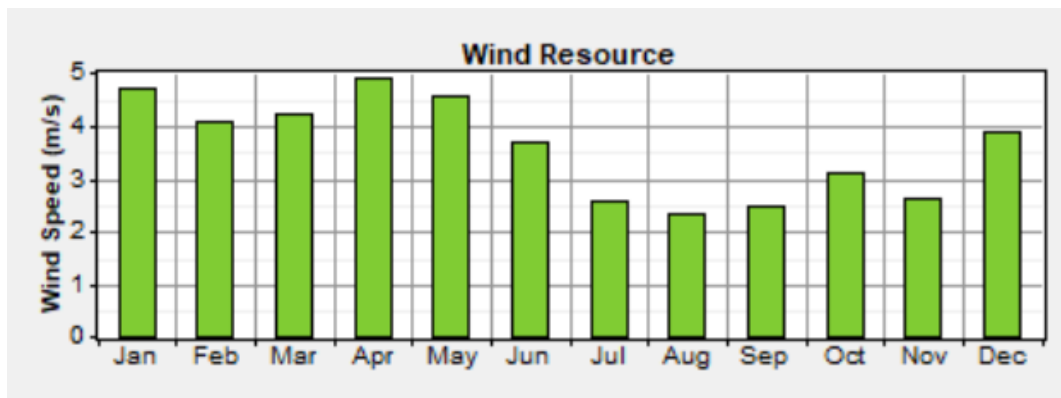


Figura 23 Média mensal de velocidade do Vento

3.2.Arquitetura do edifício

Levou-se em conta os dados do próprio projeto de arquitetura e da ficha descritiva, Figura 24. O edifício em estudo é uma habitação unifamiliar de dois pisos. Tem uma área total de 250 m². O primeiro piso é composto por três quartos, duas casas de banho, sala de estar, arrecadação, garagem e quintal. Já o segundo piso é composto por quatro quartos, uma casa de banho, sala de estar e quintal.



Figura 24 Plantas do edifício, rés- do – chão e primeiro piso

Os dois pisos foram projetados com estrutura de parede sobre parede, e os compartimentos não diferem muito, salvo algumas exceções, as Tabelas 6 e 7 mostram a área e o volume dos espaços úteis do edifício do rés do chão e primeiro piso respetivamente.

Tabela 6 Dimensões dos compartimentos rés do chão

Compartimento	Área	Volume	Área das janelas
	(m ²)	(m ³)	(m ²)
Quarto 1	7,87	23,60	1,80
Quarto 2	8,68	26,03	1,80
Quarto 3	11,38	34,13	1,80
Cozinha	9,03	27,08	--
Arrecadação	5,37	16,12	--
Wc 1	1,77	5,31	0,9
Wc 2	4,76	14,29	0,9
Sala de estar	20,08	60,23	1,80
Corredor	19,65	58,94	--

Tabela 7 Dimensões dos compartimentos piso 1

Compartimento	Área	Volume	Área janelas
	(m ²)	(m ³)	(m ²)
Quarto 1	8,68	26,03	1,80
Quarto 2	11,38	34,13	1,80
Quarto 3	17,58	52,75	1,80
Cozinha	17,38	52,13	--
Quarto 4	9,85	29,55	1,80
Wc 1	4,76	14,29	0,90
Sala de estar	20,08	60,23	1,80
Corredor	19,65	58,94	--

3.2.1. Materiais de construção

Os edifícios em Cabo Verde no geral não possuem isolamento térmico, as paredes são de blocos de cimento maciço, e revestidas com duas camadas de argamassa de cimento, enquanto as partes estruturais de edifício foram construídas em betão armado. A Tabela 8 apresenta as características dos materiais e suas especificações.

Tabela 8 Propriedade dos materiais de construção

	Material	Espessura	Condutibilidade térmica	Densidade	Calor específico	Resistência térmica R	Coefficiente de transmissão térmica U
		(m)	(W/m. °C)	(kg/m ³)	(J/kg. °C)	(m ² . °C) /W	W/ (m ² . °C)
Paredes	Reboco argamassa	0,015	0,65	1600	1047	0,02	2,94
	Blocos de Cimento maciço	0,2	0,72	1600	921	0,28	
Tetos	Betão armado	0,12	1,75	2400	1005	0,07	3,59
Pavimento	Betão armado	0,2	1,75	2400	1005	0,11	3,78
	azulejo hidráulico	0,013	1,3	2300	1000	0,01	

A relação entre a área envidraçada e a área total do edifício é de 10%. As janelas do edifício são de vidro simples, com caixilharia em madeira. Os vidros têm um coeficiente de transmissão térmica de 5,78 W/ (m². °C), e um coeficiente de ganhos de transmissão solar (SHGC) 0,819, as características são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 Características dos vidros simples

	Espessura	Coefficiente de transmissão térmica U	SHGC
Vidro simples	mm	W/ (m ² . °C)	
	6	5,8	0,819

As janelas exteriores possuem persianas de madeira que funcionam como protetores solares. Para este caso o coeficiente de transmissão térmica é dado pela seguinte formula:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Onde:

U_{ws} - Coeficiente de transmissão térmica para vão envidraçados com dispositivo de proteção (W/ (m². °C)).

U_w - Coeficiente de transmissão térmica para vão envidraçados sem dispositivo de proteção (W/ (m². °C)).

ΔR - Acréscimo da resistência térmica devido ao dispositivo de proteção solar e ao espaço de ar W/ (m². °C).

Para caixilharia de madeira ΔR tem o valor de 0,16 (m². °C) /W, portando o coeficiente de transferência de calor passa a ser 3 W/ (m². °C).

3.2.2. Consumo de energia

O edifício é abastecido através da rede pública, a tarifa de eletricidade é uma tarifa simples, o contrato é de baixa tensão normal (BTN) de segundo escalão (maior que 60 kWh/mês). De acordo com os dados da fatura de eletricidade, o consumo total anual de eletricidade é de 1089 kWh, com uma média diária de 2,98 kWh.

a. Encargos com a eletricidade

A tarifa aplicada no país é uma tarifa fixa (Figura 25), e à fatura de eletricidade são adicionados o valor do imposto sobre valor acrescentado (IVA) e a taxa de audiovisual. A Tabela 10 mostra o custo mensal e anual de energia relativos ao ano de 2021. O custo total de energia consumida foi 49 137 ECV, equivalente a 445€. ¹

¹ 1 € equivale a 110,26 ECV

<u>Referente</u>	Tarifa s/IVA	FACC*	Tarifa s/IVA	Variação	IVA	Tarifa c/IVA
<u>Unidade</u>	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)	(%)	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)
<u>Valor</u>	Anterior	6,43	Atual		15%	Atual
Baixa Tensão						
Baixa Tensão Normal (BTN)						
1º Escalão ate 60 kWh/mês	18,35		24,78	35,04%	3,72	28,50
2º Escalão maior 60 kWh/mês	25,21		31,64	25,51%	4,75	36,39
Baixa Tensão Especial (BTE)						
Escalão único	21,36		27,79	30,10%	4,17	31,96

Figura 25 Tarifa de eletricidade - ARME

Tabela 10 Custo mensal de eletricidade

	Eletricidade (ECV)	Tarifa fixa (ECV)	Contribuição IP(ECV)	Total de consumo (ECV)	IVA (0,15)	530 (ECV)	TOTAL (ECV)
Janeiro	3005,80	105	129,24	3240,04	486,01	530	4256,05
Fevereiro	2721,04	105	117	2943,04	441,46	530	3914,49
Março	2879,24	105	123,8	3108,04	466,21	530	4104,24
Abril	2847,6	105	122,44	3075,04	461,26	530	4066,29
Mai	2815,96	105	121,08	3042,04	456,31	530	4028,34
Junho	2815,96	105	121,08	3042,04	456,31	530	4028,34
Julho	3069,08	105	131,96	3306,04	495,91	530	4331,95
Agosto	2974,16	105	127,88	3207,04	481,06	530	4218,1
Setembro	3100,72	105	133,32	3339,04	500,86	530	4369,9
Outubro	3037,44	105	130,6	3273,04	490,96	530	4294
Novembro	2467,92	105	106,11	2679,03	401,85	530	3610,89
Dezembro	2721,04	105	117	2943,04	441,46	530	3914,49
						Custo Anual	49137,08

b. Encargos com gás

O gás é utilizado essencialmente para cozinhar. A comercialização é feita em garrafas de 12,5 kg, o consumo anual é de 62,5 kg de gás, (1kg de gás corresponde a 12,70 kWh, sendo assim o consumo anual é de 794,27 kWh).

De acordo com a tarifa estipulada pela ARME, cada botija de gás de 12,5 kg foi comercializada a 2099,00 ECV (19 €) sendo assim em um ano foram gastos 10 495 ECV (95 €) na compra de gás.

3.3. Dados de entrada no modelo

O primeiro passo foi a criar o modelo 3D do edifício no *software Designbuilder*, como mostra a Figura 26. Os edifícios adjacentes ao edifício foram considerados estruturas adiabáticas, não havendo troca de calor entre os mesmos. Os parâmetros foram determinados a nível do edifício.

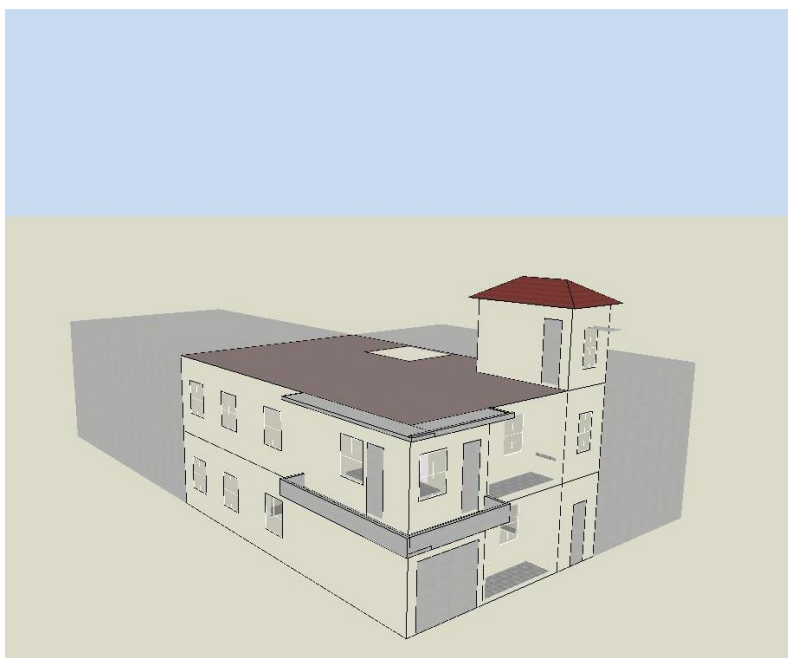


Figura 26 Modelo do edifício Designbuilder

3.3.1. Atividade

Nesta secção é possível indicar as atividades desenvolvidas no edifício. Durante a semana a habitação tem uma ocupação de 50% entre as 10 e as 19 horas, nos sábados a ocupação é a 50% das 13 horas às 18 horas, a ocupação é 0 das 18 horas às 20 horas, 100% no restante do tempo e nos domingos. A Tabela 11 mostra os dados inseridos no software.

Tabela 11 Atividades desenvolvidas nas diferentes zonas do edifício

Densidade de ocupação	0,013 pessoas/m ²
Metabolismo	1met
Isolamento roupas inverno	0,75clo
Isolamento roupas verão	0,5clo
Densidade de potência	1W/ m ²

A Figura 27 mostra o aspeto da interface de inserção de dados no *software*.

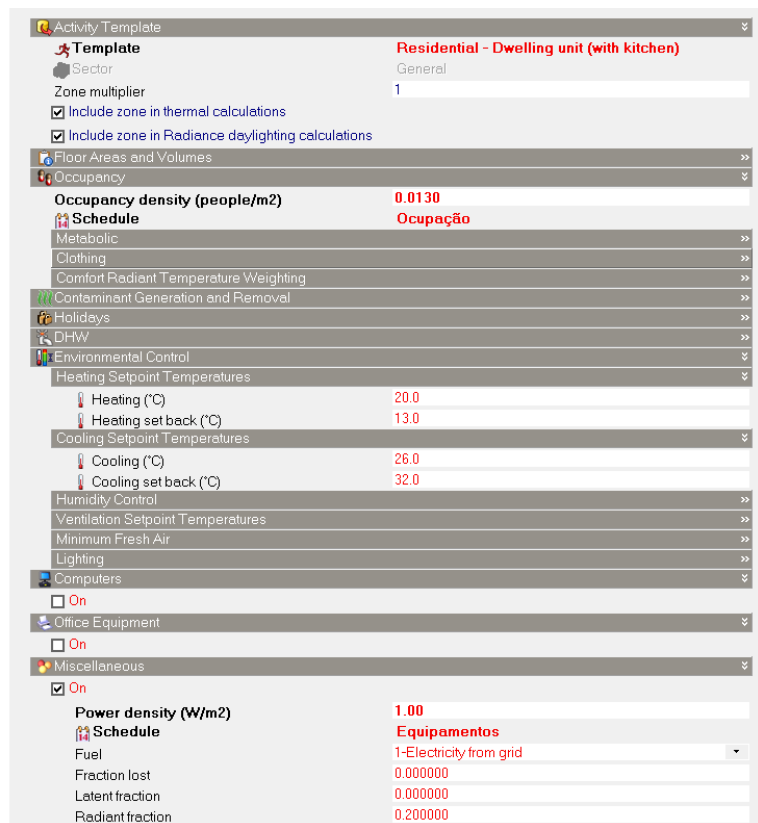


Figura 27 Entrada de dados no Software Design Builder- atividades

3.3.2. Elementos construtivos

As características básicas dos elementos construtivos foram apresentadas na secção 3.2, a Tabela 12 descreve as a espessura destes elementos, as paredes exteriores e interiores do edifício têm a mesma solução construtiva. A taxa de infiltração (entrada incontrolada de ar através dos vãos) é $0,6 R_{ph}$.

Tabela 12 Características destes elementos construtivos

	Material	Espessura	Coeficiente de transmissão térmica
		(m)	W/ (m ² . °C)
Paredes	reboco argamassa	0,015	2,94
	blocos de Cimento	0,2	
Laje	betão armado	0,12	3,59
Pavimento	betão armado	0,12	3,78
	azulejo hidráulico	0,013	

A Figura 28 mostra o corte dos elementos construtivos, a cobertura, as paredes e o pavimento respetivamente.

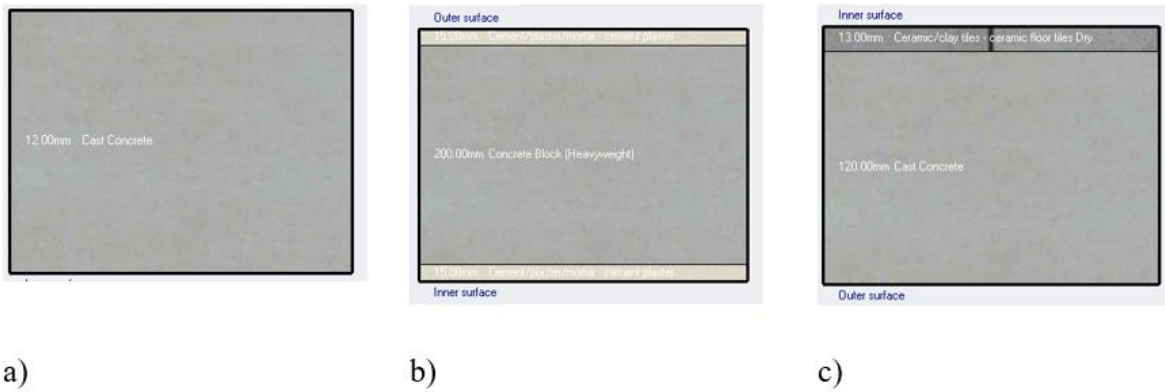


Figura 28 Representação dos elementos construtivos - a) cobertura, b) paredes e c) pavimento

A Figura 29 mostra o aspeto da interface de inserção de dados no *software*.



Figura 29 Entrada de dados *Designbuilder* - elementos construtivos

3.3.3. Vãos envidraçados

Com uma relação janela parede de 10%, as janelas têm uma área de 1,8 m², constituído por vidros simples, com precianas de madeira laminadas, as dimensões das janelas são dadas na Tabela 13. A Figura 30 mostra o aspeto da interface de inserção de dados no *software*.

Tabela 13 Características dos vãos envidraçados

Altura	1,5 m
comprimento	1,8 m
Tipo de sombreamento	Persianas laminadas exteriores
Tipo de vidro	Vidro simples

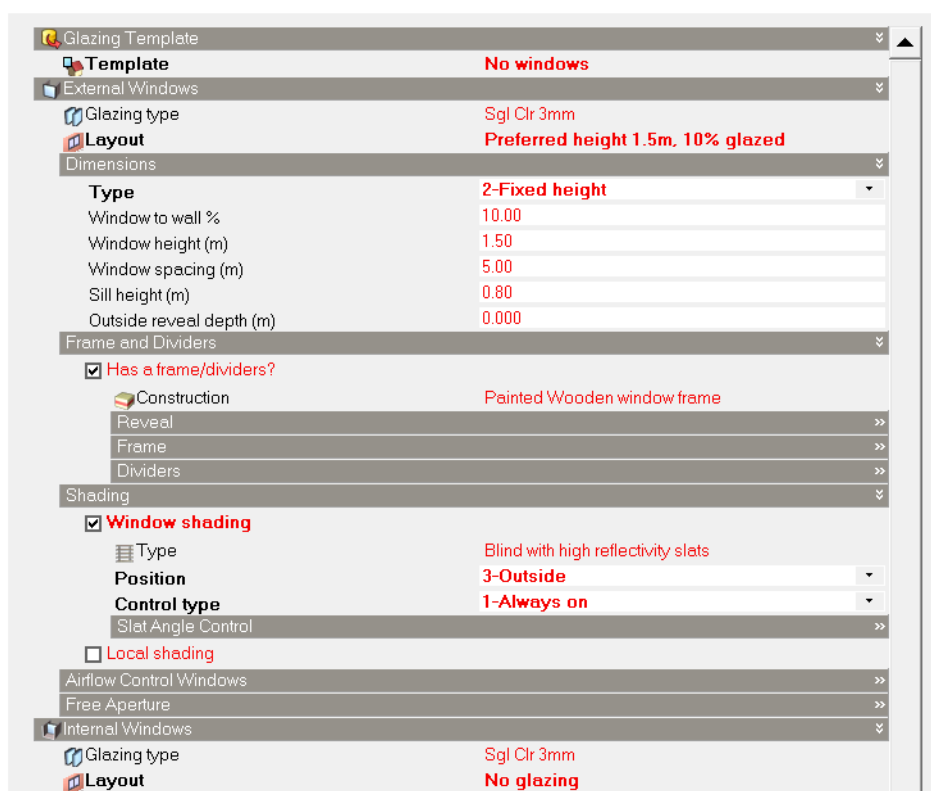


Figura 30 Entrada de dados no software- vãos envidraçados.

3.3.4. Iluminação

Os dados da iluminação são apresentados na Tabela 14, as luminárias do edifício estão suspensas e tem uma potencia total de 112 W. Para iluminação geral considerou-se uma luminância de 300 lux, a densidade de potência instalada por cada 100 lx é dada pela seguinte formula:

$$DPI_{100lx} = DPI_{ist} \times \frac{100}{E_m}$$

Onde:

DPI_{100lx} - Densidade de potência de iluminação instalada por cada 100 - [(W/m²) /100lx]

DPI_{ist} - Densidade de potência de iluminação instalada no espaço [(W/m²) /100lx]

\bar{E}_m – Iluminância média do espaço [lx]

Para o edifício em estudo, a densidade de potência é a densidade de potência é de 0,25 (W/m²) /100lx.

A Figura 31 mostra o aspeto da interface de inserção de dados no *software*.

Tabela 14 Dados de iluminação

Densidade de potência	0,25(W/m ²) /100lx
Tipo de luminária	Suspensa
Fração diária	0,42

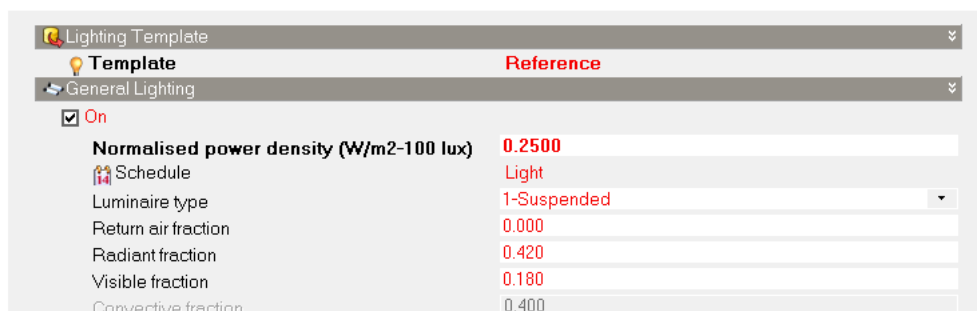


Figura 31 Entrada de dados no software

4. Análise de resultados

4.1. Consumo de energia simulado

Com a simulação dinâmica foi possível calcular o consumo estimado de eletricidade e gás do edifício. O consumo total anual de eletricidade é de 1115,04 kWh, onde 480,34 kWh é destinado a iluminação, e 634,7 kWh é destinado á eletricidade geral, com uma média de consumo diária de 3,05 kWh. Quanto ao consumo de gás anual é de 788,3 kWh, com uma média diária é de 2,16 kWh (Figura 32).

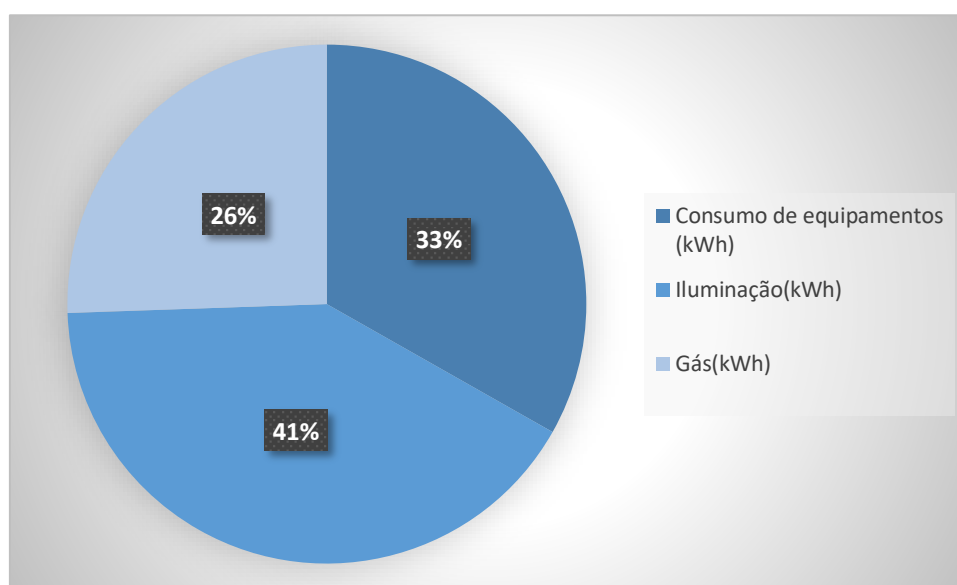


Figura 32 Desagregação do consumo de energia

Com os resultados obtidos através da simulação dinâmica foi possível estabelecer o diagrama de cargas do edifício, apresentado no Figura 33. É possível observar que a potencia máxima ocorre às seis da tarde, momento onde a ocupação de edifício está a 100%. O período entre a meia-noite e as 5 da manhã têm um consumo muito baixo, e durante o dia, das 6 da manhã às 15 horas, períodos em que a ocupação do edifício esta a 50%, regista-se um ligeiro aumento no consumo.

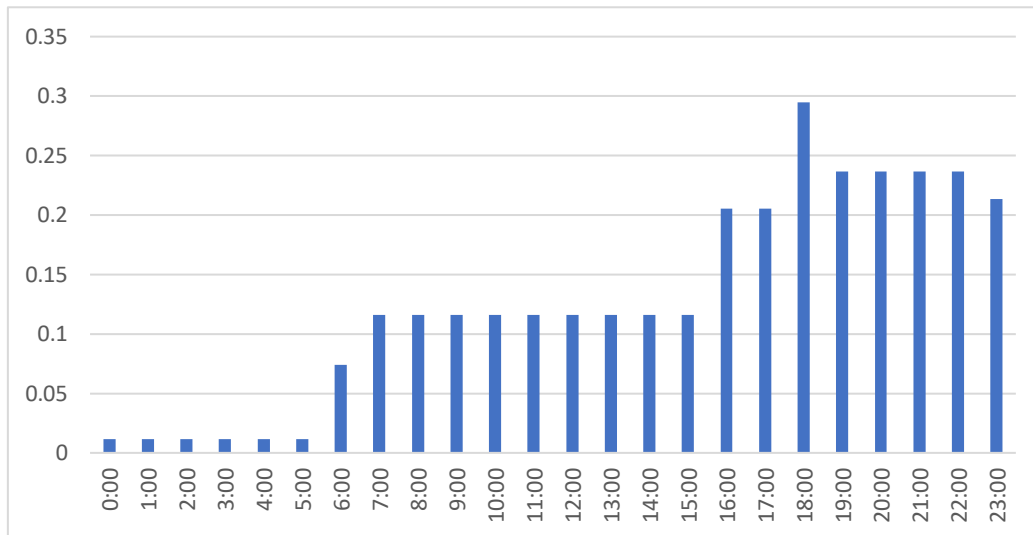


Figura 33 Diagrama de carga elétrica

4.2. Calibração do modelo

a. Consumo eletricidade

O consumo anual de eletricidade de acordo com a faturas foi de 1089 kWh, com uma média de consumo diário de 2,98 kWh, enquanto o valor estimado pelo software foi de 1115,04 kWh. A Figura 34 mostra uma comparação entre os valores mensais do consumo de eletricidade real e o simulado pelo *software*.

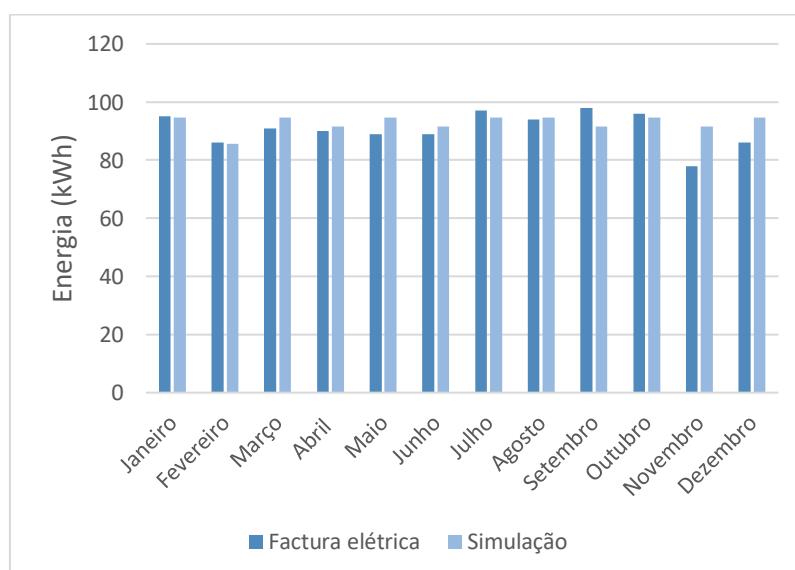


Figura 34 Consumo de eletricidade real e estimado

Para a calibrar o modelo foram calculados os indícios estatísticos *Mean Bias Error* (MBE) e o *Coefficient of Variation of Root Mean Square* (CVRMS). De acordo com o ASHRAE 14-2014 os valores devem variar entre $\pm 5\%$ (MBE) e $\pm 15\%$ (CVRMS). O MBE calculado foi de 4%, enquanto o índice CVRMSE foi de 14, pelo que se considera o modelo calibrado, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 Índices estatísticos para a validação do modelo

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fatura elétrica (kWh)	95	86	91	90	89	89	97	94	98	96	78	86
Simulação(kWh)	94,7	85,54	94,7	91,65	94,7	91,65	94,7	94,7	91,65	94,7	91,7	94,7
MBE 4% - CVRMSE 14												

b. Consumo de gás

O consumo real anual de gás é de 794,28 kWh, e o consumo mensal é de 66,14 kWh, já o valor simulado foi de 788,43 kWh, com uma média mensal de 65,7 kWh. A Figura 35, mostra uma comparação entre os valores mensais do consumo de gás real e o estimado pelo software. O MBE foi de 1%, enquanto CVRMSE foi 5, Tabela 16. Considera-se o modelo calibrado.

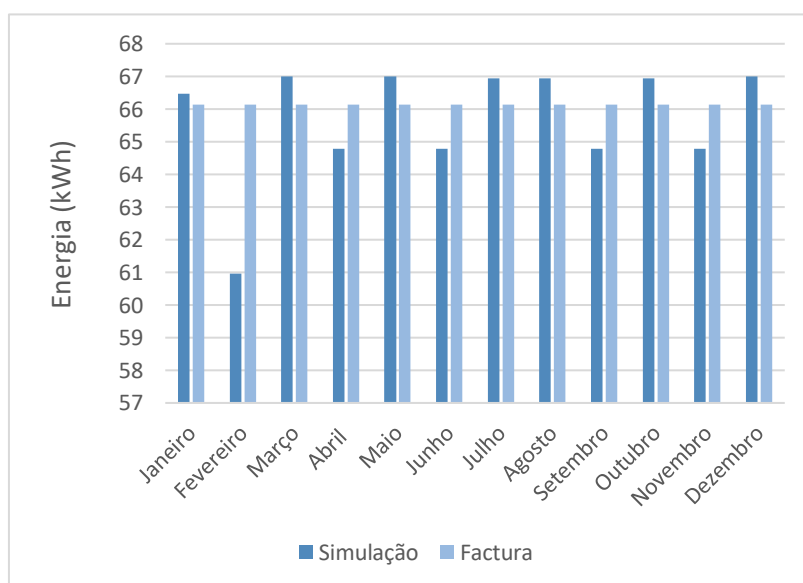


Figura 35 Comparação da simulação do consumo real do gás

Tabela 16 Índices estatísticos para a validação do modelo

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Gás	Simulação (kWh)	66,47	60,95	67	64,79	67	64,79	66,95	66,95	64,79	66,95	64,79	67
	Fatura (kWh)	66,12	66,14	66,14	66,14	66,74	66,15	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
MBE 1% - CVRMSE 5													

4.3. Soluções passivas para melhoria de desempenho energético do edifício

4.3.1. Orientação do edifício

O edifício possui duas fachadas, dado ao facto de a fachada principal possuir um sistema de sombreamento eficiente, a análise será feita na fachada lateral, por ser a fachada mais longa do edifício e ter maior área envidraçada.

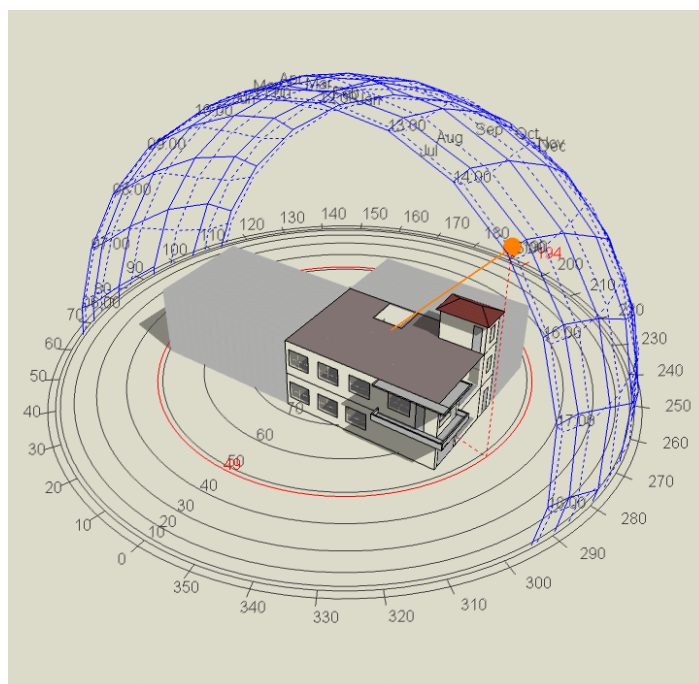


Figura 36 Trajetória do sol em relação ao edifício

Esta fachada está localizada a oeste, e por estar mais exposta à radiação solar, tem ganhos solares elevados. A análise permitiu concluir orientação ideal para o edifício, seria ter fachada lateral a Norte (Figura 36), o que representaria uma redução de 24% nos ganhos solares em

relação ao cenário atual. Da mesma forma foi possível atestar que a pior solução é a orientação sudoeste, que representa um acréscimo significativo nos ganhos solares. A Figura 37 mostra os ganhos solares de acordo com a orientação da fachada.

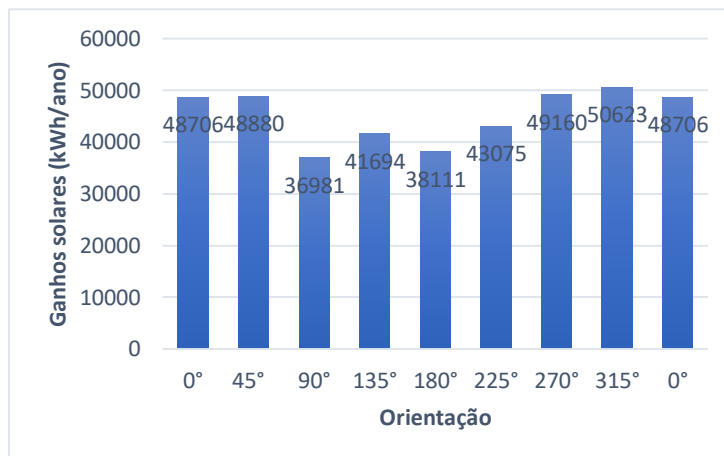


Figura 37 Ganhos solares de acordo com a orientação da fachada

4.3.2. Otimização da envolvente

a. Paredes

Como apresentado no capítulo anterior, as paredes do edifício não possuem isolamento térmico, no entanto para aumentar o conforto e inércia térmica, adicionou-se poliestireno expandido EPS pelo exterior, por ser um material leve, com alta resistência térmica, alta durabilidade, baixa condutibilidade, e seu baixo custo, a solução que garante ainda uma maior sustentabilidade energética, a estrutura da parede é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 Estrutura das paredes com isolamento

Material	Espessura:
Reboco de cimento (nos dois lados)	15mm
Blocos de cimento	200mm
EPS	50mm

A adição de isolamento causou uma redução no coeficiente de transmissão térmica de 3,12 W/(m². °C) para 0,642 W/(m². °C)

Na cobertura também se procedeu à adição de uma camada exterior de isolante. A estrutura da cobertura é apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 Estrutura da cobertura

Material	Espessura:
Betonilha	25mm
EPS	50mm
Concreto armado	120mm

A aplicação de isolamento nas paredes, levou à redução do coeficiente de transmissão térmica que passou de 3,67 W/(m². °C) a 0,245 W/(m². °C).

Quanto aos efeitos do isolamento no consumo de energia (paredes e cobertura), verificou-se uma redução de 0,6%, que passou de 1115 kWh/ano para 1108 kWh/ano, redução pouco significativa, mostrando que para o clima local, não há grandes necessidades adicionar isolamento.

4.3.3. Áreas envidraçadas e sombreamento

Para a otimização das áreas envidraçadas optou-se pela substituição dos vidros simples, por vidros duplos com 6mm de espessura, com coeficiente de transmissão térmica de 3,09 W/(m²°C) e 0,7 de coeficiente de ganhos por aquecimento, outra medida adotada foi a adição e sombreamento local, com saliência de um metro.

Com a simulação foi possível verificar que tais mudanças tiveram efeitos insignificantes no consumo anual de energia, acompanhada pela redução igualmente insignificante na temperatura operativa, porém, houve uma redução de 19% nos ganhos solar através das janelas exteriores. Isso deve-se principalmente ao fato do edifício não possuir sistemas de refrigeração, por isso as necessidades energéticas não diminuem com a redução dos ganhos solares.

O baixo desempenho das medidas adotadas deve-se também ao facto de o edifício já possuir um sistema de sombreamento. As aberturas da fachada principal, localizado a sul, são sombreadas por varandas de 1,45 m e outro de 1 m que se estende também à fachada mais a oeste.

4.3.4. Conforto térmico

Para a análise de conforto térmico aplicou-se o método de modelo computacional para aplicação geral interior presentes na norma ASHRAE 55:2004, utilizado para calcular os níveis de conforto térmico para ambientes onde a taxa metabólica varia entre os 1,0 met e 2,0 met e as roupas proporcionam um isolamento térmico igual ou inferior a 1,5 clo. Esse método baseia-se na percepção dos ocupantes do clima interior, PMV, e da percentagem de pessoas insatisfeitas PPD, além de estabelecer os níveis aceitáveis para o conforto.

Por se tratar de um país tropical, para o cálculo de conforto térmico teve-se em conta o mês mais quente. De acordo com os resultados da simulação, pode-se verificar que para este período a temperatura do ar é de 28,4 °C, a temperatura média radiante é de 28,5 °C, humidade relativa a 70%, o isolamento térmico dos vestuários é de 0,5clo, e a taxa de metabolismo 1 met.

Os resultados obtidos a partir das simulações dinâmicas mostram que a temperatura operativa do edifício é de 28,43°C, PMV 0,28 e PPD 6,63%, apresentados na Figura 38, sendo um edifício de categoria C, estes valores estão dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela norma, Tabela 19.

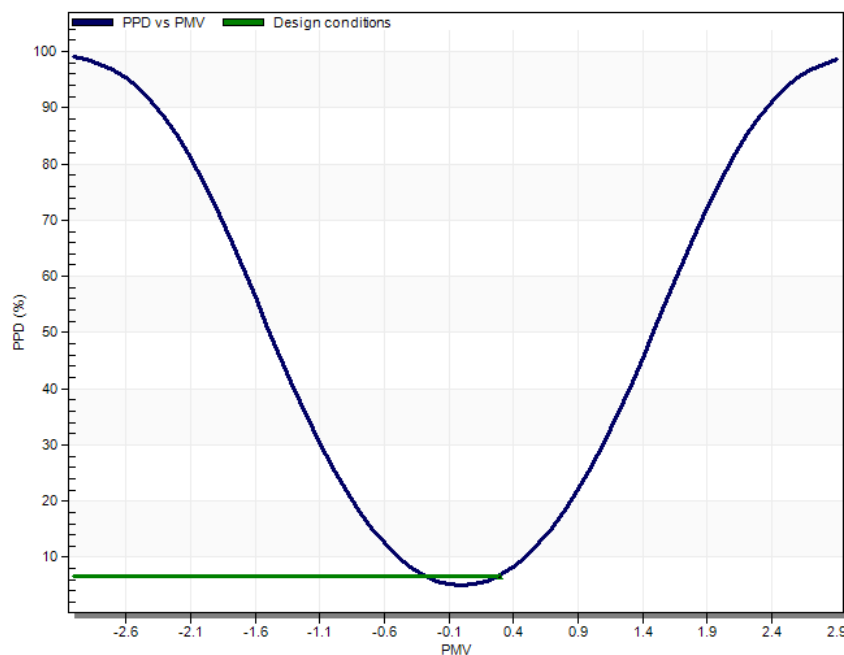


Figura 38 Gráfico de avaliação do conforto térmico

Tabela 19 Índices de avaliação do conforto térmico

	Simulação	Valores de referência
PMV	0,28	$\pm 0,7$
PPD (%)	6,63	<15

4.3.5. Ventilação natural

O edifício não conta com sistemas de ventilação mecânica. Dado que a legislação cabo-verdiana não estabelece um regulamento específico para a qualidade do ar interior, utilizou-se como referência a portaria nº 12 do artigo 6º do decreto-lei nº 101D/2020 e 7 de dezembro da legislação portuguesa, em que se estabelecem os caudais mínimos de ar novo para edifícios de habitação comércio e serviços. O decreto-lei estabelece que a taxa mínima de renovação de ar interior dos edifícios deve ser de 0,5 renovações horárias (R_{ph}) (Direção Geral de Energia e Geologia, 2021). Com a simulação dinâmica, foi possível verificar que a taxa de renovação do ar interior do edifício encontra-se dentro da norma tendo uma variação diária de 0,6 a 0,614 R_{ph} (Figura 39).

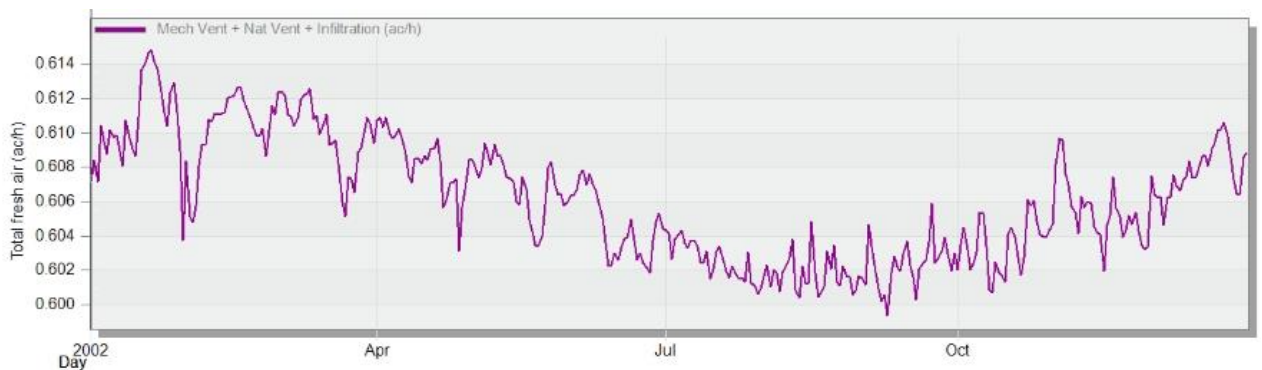


Figura 39 Ventilação natural

4.4. Produção de energia

4.4.1. Análise através do *software* Homer

A solução ótima para a produção de energia de acordo com as necessidades do edifício e os recursos naturais disponíveis no local, bem como a avaliação técnica e financeira das diferentes soluções tecnológicas disponíveis foi feito através do *software* Homer.

Os recursos naturais mais abundantes no local são sol e vento pelo que se as opções tecnológicas levadas em conta foram sistemas eólicos e sistemas fotovoltaicos ligados à rede, pois, o plano nacional de energias renováveis estabelece que edifícios localizados em localidades com acesso à rede pública de estabelecimento devem priorizar sistemas fotovoltaicos interligados à rede pública de abastecimento, Figura 40. O preço de compra da energia da rede pública, 0,28 €/kWh, foi estabelecido de acordo com a tarifa de Electra para clientes de BTN, entrada em vigor em outubro de 2021.

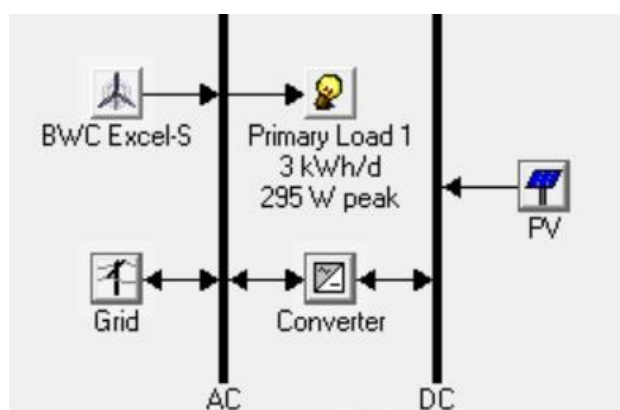


Figura 40 Estrutura do sistema de produção de energia

De acordo com o estudo de viabilidade realizado no *software* Homer obteve-se como solução ótima, um sistema um sistema fotovoltaico de 0,8kWp ligado à rede, descartando o uso de sistemas produção eólicos, devido ao facto da velocidade do vento ser relativamente baixa (3,6 m/s). Um outro fator determinante foi o custo da tecnologia eólica, que chega a ser 4 vezes mais cara do que a energia fotovoltaica.

Como resultado temos um sistema fotovoltaico ligado à rede (Figura 41):

PV (kW)	XLS	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
0.8		0.5	800	\$ 840	10	\$ 967	0.068	0.69

Figura 41 Solução ótima apresentado pelo software Homer

De acordo com este estudo, o sistema fotovoltaico (FV) terá a capacidade de produzir 1414 kWh/ano e compra da rede cerca de 634 kWh/ano. Em relação ao consumo, as cargas da habitação são responsáveis pelo consumo de 1113 kWh/ano e são vendidos à rede publica cerca de 756 kWh/ano. Temos ainda 2% de excedentes, cerca de 41 kWh/ano (Tabela 20).

Tabela 20 Produção de energia fotovoltaica

Produção	kWh/ano	%	Consumo	kWh/ano	%
Fotovoltaica	1414	69	Carga primaria	1113	60
Compras da rede	634	31	Venda à rede	756	40
Total	2048	100	Total	1876	100

A Figura 42 mostra a média de mensal de produção de energia.

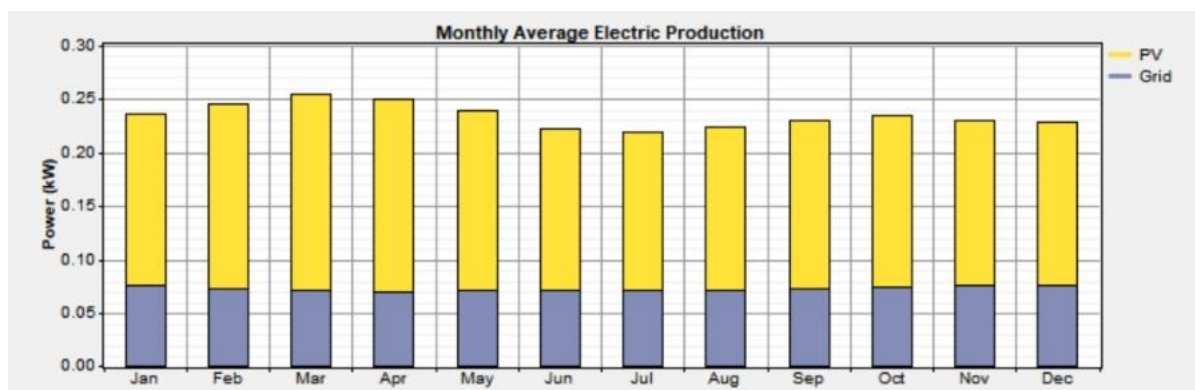


Figura 42 Produção mensal de energia

Para uma análise mais detalhada da produção e do consumo usou-se como referência os dados do dia 21 de junho, que por ser o solstício de verão é o dia mais longo do ano, logo, o dia com mais horas de sol pleno e maior produção fotovoltaica (Figura 43).

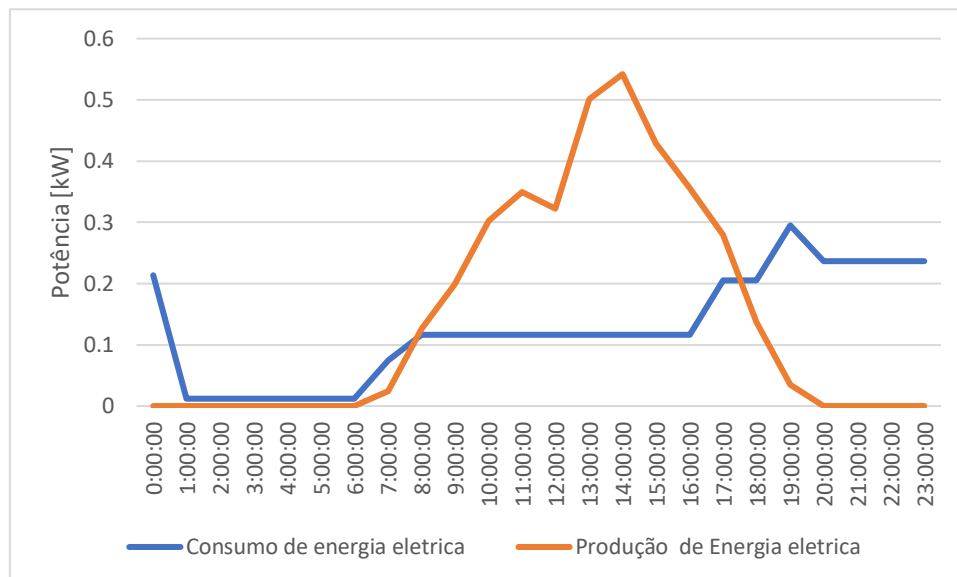


Figura 43 Produção FV e consumo de energia

Entre as nove da manhã e as 18 horas, as necessidades de edifícios são supridas a 100% pelo sistema fotovoltaico, período em que os excedentes de produção são injetados na rede pública, o restante do tempo, a energia consumida é retirada da rede. A Figura 44 mostra a relação entre a compra e venda de energia à rede.

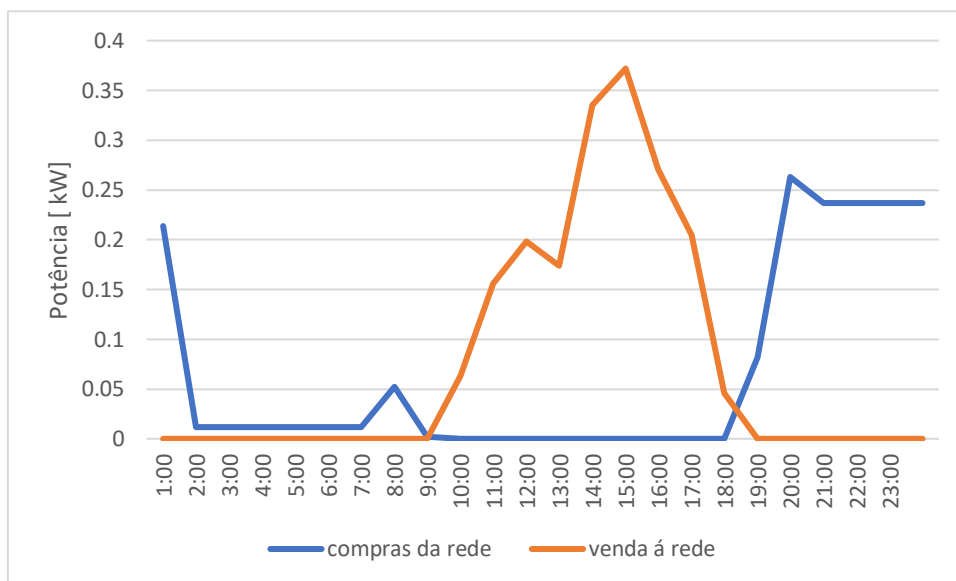


Figura 44 Relação entre a compra e venda de energia à rede pública

A Figura 45 mostra o balanço entre a produção fotovoltaica e o consumo de energia, mostra ainda a energia produzida durante as horas de sol pleno, entre as 8 horas e 18 horas quando é injetada energia na rede, e também os momentos em que é comprada energia da rede (a partir das 18h até as 7h da manhã). O balanço é positivo entre as 8 horas e as 18 horas. Os períodos com maior necessidade saber a rede 19 horas e as 23 horas.

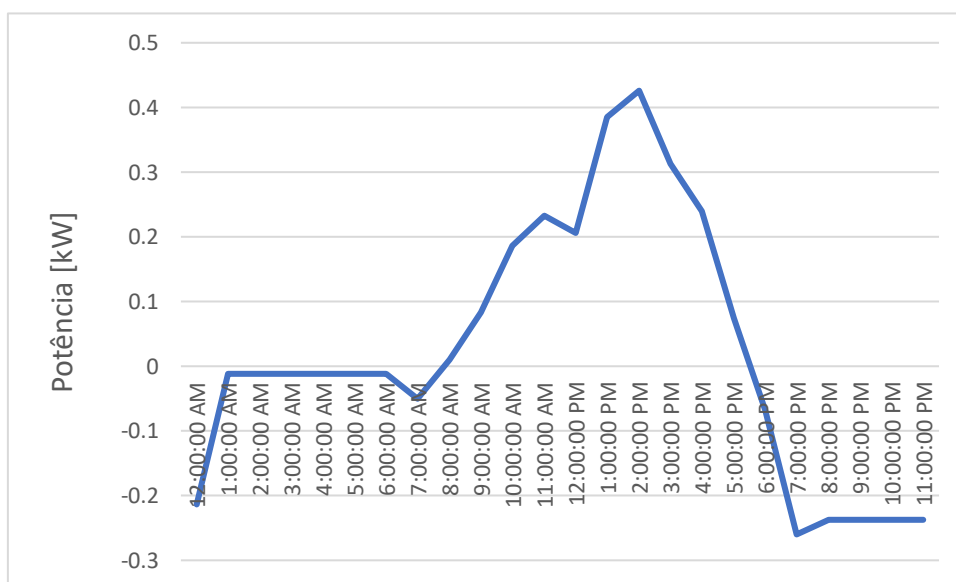


Figura 45 Balanço entre produção e consumo de energia

4.4.2. Características do sistema fotovoltaico

a. Central fotovoltaica

Ao conhecer a potência máxima e sabendo que o painel escolhido tem uma potência nominal de 250 Wp, foi possível determinar que seriam necessários 4 painéis.

Os painéis têm inclinação de 15°, e um azimute de 0° (em direção ao hemisfério sul).

A Tabela 21 mostra as características do painel nas condições de teste standard (CTS), temperatura 25°C, irradiação 1000 W/m² e massa de ar 1,5.

Características dos módulos	
Potencia nominal (CTS)- P _{mpp} (Wp)	250
Tensão no ponto de potência máximo - U _{mpp} (V)	30,4
Corrente 0 no ponto de potência máxima - I _{mpp} (A)	8,22
Tensão de circuito aberto U _{oc} (V)	37,2
Corrente de curto-circuito I _{sc} (A)	8,74
Coefficiente de temperatura P _{max} γ_P (%/°C)	-0,45%
coeficiente de temperatura Voc γ_v (%/°C)	-0,33%
Temperatura CTS (°C)	25
T _m temperatura mínima (°C)	15
T _M temperatura média (°C)	28
T _{telhado} (°C)	35
T _{estrutura} (°C)	30
T _{pole} (°C)	25

b. Dimensionamento do inversor

É sabido que a temperatura tem efeito direto na produção fotovoltaica. O aumento da temperatura traduz-se numa diminuição da tensão, que consequentemente diminui a produção, o contrário leva a um aumento da produção, por isso, é importante calcular esse efeito, para que assim possa-se prosseguir a calcular os demais componentes do sistema. Para isso é necessário conhecer a temperatura das células, e coeficiente de perdas por temperatura.

A temperatura das células é dada pela soma da temperatura média ambiente e a temperatura da estrutura, $T=28+30= 58^{\circ}\text{C}$.

Conhecendo a temperatura das células e as características indicadas na Tabela 22, podemos calcular o limite de tensão do sistema.

Por não ser um sistema com grande produção, optou-se pela instalação de um único inversor central.

O sistema será composto por uma única fileira de 4 painéis interligados em serie (1×4). O limite máximo de tensão é dado pelo soma das tensões dos módulos em serie, neste caso a tensão máxima nas condições de menor temperatura (15°). Neste caso a tensão de saída dos painéis solares é de 134V.

Conhecendo os principais outputs do sistema resta escolher um inversor que se adeque às suas necessidades.

Tabela 21 Limites de tensão nos painéis solares

Cálculo de Tensão Mínima
$V_{min.} = V_{mp\ STC} + (\gamma_v * (T_{cell} - T_{STC}))$
24,4 V
Cálculo de Tensão Máxima
$V_{max.} = V_{oc\ STC} + (\gamma_v * (T_{min} - T_{STC}))$
33,6V

Para este caso, o inversor escolhido foi o SMASB 1.5 1VL-40.

A Tabela 23 mostra as principais características do sistema.

Tabela 22 Principais características do sistema

Número de fileiras	1und
Número de módulos	4und
Potencia de máxima	1kWp
Tensão CC mínima inversor	50V
Tensão FV típica	148,8V
Tensão FV mínima	110,4V
Tensão CC máxima inversor	600V
Tensão FV máxima	153,7V
Corrente máxima de entrada MPPT	10A
Corrente máxima do campo fotovoltaico	8,22
Corrente máxima curto-circuito MPPT	18A
Corrente máxima de curto-circuito fotovoltaico	9,74 A

4.5. Estudo de viabilidade económica

Os indicadores económicos utilizados nessa avaliação foram:

I. Valor Atual Líquido (VAL)

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{(1+i)^j} - I_t$$

II. Taxa interna de rentabilidade (TIR):

$$TIR = \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{(1 + TIR)^j} + I_t = 0$$

III. Retorno de investimento (ROI):

$$ROI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{(1 + i)^j}}{I_t}$$

IV. Período de retorno do investimento:

$$\sum_{j=1}^p \frac{R_{ij}}{(1 + i)^j} \geq I_t$$

Em que:

R_{ij} - Receita líquida do ano j

I_t - Investimento total atualizado para o ano 0

n- Vida útil do projeto

i - Taxa de atualização

Os dados para o cálculo dessas variáveis foram obtidos de acordo com os resultados do Homer, mostradas na Tabela 24.

Tabela 23 Variáveis para avaliação dos indices económicos

Energia produzida	1414	kWh
Remuneração	0,05	€/kWh
Vida útil	25	anos
Valor residual	0	€
Taxa atualização	6,00%	---
Valor do Investimento (€/kW)	840	€/kW
Potência Instalada	1	kW
Investimento	672,00	€
Custo O&M (Operação e Manutenção) - valor de referência	1,00% Do valor do investimento	---
Custo da O& M por ano	6,72	€/Anual

Os cálculos mostram que o projeto apresenta um VAL de 146 €, uma TIR de 8,19% e um ROI de 1,22, sendo o período de retorno do investimento de 17 anos (Figura 46).

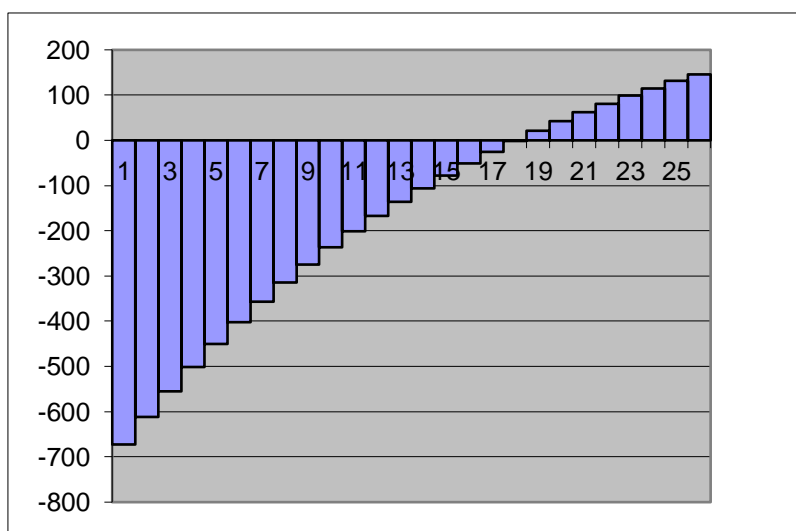


Figura 46 Período de retorno do investimento

Para que um projeto seja considerado viável este deve obedecer os seguintes critérios: o VAL deve ser positivo, o TIR deve ser superior à taxa de atualização (que neste caso é de 6%) e o ROI deve ser superior ou igual a um. Sendo assim é possível comprovar a viabilidade do projeto.

5. Considerações finais

A vulnerabilidade do país face às alterações climáticas, faz com que seja urgente a adoção de medidas de mitigação e combate ao fenómeno do aquecimento global, medidas estas que acima de tudo devem adequar-se ao contexto local, às necessidades do arquipélago tendo em conta os recursos disponíveis. Durante a realização deste trabalho foi possível atestar o contributo dos edifícios na emissão de GEE.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de contribuir para a implementação dos NZEB em Cabo Verde, através da análise de um caso de estudo. Da análise do caso de estudo foi possível verificar que, tendo em conta o clima ameno do país e baixas necessidades de aquecimento durante o inverno, e aquecimento no verão, é possível garantir níveis de conforto adequados, e dentro das normas, traduzindo-se em uma menor necessidade de consumo de energia.

Em relação às melhorias propostas para a envolvente, a adição de isolamento nas coberturas e paredes, apesar de contribuir para a diminuição dos ganhos solares, principalmente no verão, não tiveram grande influência em relação ao consumo energético, mostrando que esta não é uma ação prioritária. Em relação às áreas envidraçadas a proporção 10% WWR, alinhado a sistemas de sombreamento eficientes (precianas, placas horizontais, etc.) conferem a proteção necessária ao edifício, evitando que hajam ganhos solares excessivos durante o verão, ao mesmo tempo que permite garantir o conforto durante o período de inverno. Da mesma forma foi possível confirmar que tendo em conta a carta solar de Cabo Verde, orientação ótima para os edifícios é de Norte-Sul evitando os ganhos do nascer e pôr do sol.

É possível garantir um bom desempenho energético dos edifícios, sem que sejam necessárias grandes alterações na sua estrutura e modelo construtivo. O consumo energético é relativamente baixo tendo em conta o tamanho dos edifícios, não havendo necessidade da implementação de mais medidas de eficiência energética.

No caso de estudo analisado nesta dissertação verificou-se que a instalação de sistemas fotovoltaicos ligados à rede é uma medida com um impacto significativo a nível energético e económico.

As principais limitações sentidas na realização deste trabalho foram relacionadas com a falta de informação, nomeadamente nas bases de dados dos softwares utilizados. Para colmatar estas limitações foram utilizados dados de regiões próximas, cujas características são semelhantes ao local em estudo. Na sequência do trabalho realizado, seria interessante implementar e monitorizar as soluções analisadas num caso de estudo-piloto em Cabo Verde.

Bibliografia

- Aelenei, D., Aelenei, I., & Gonçalves, H. (s.d.). Eficiência e energia Europa. *Edifícios de balanço energético nulo uma análise das características principais*.
- Agencia para Energia . (2019). *Manual de auditoria energética para indústrias* .
- Agência para Energia. (outubro de 2016). Sistemas de Ventilação. *Certificado energético e ar interior dos edifícios*.
- AICEP Portugal global. (2022). *Portugal exporta*. Obtido de [portugal expoeta.pt: https://myaicep.portugalexporta.pt/mercados-internacionais/cv/cabo-verde?setorProduto=-1](https://myaicep.portugalexporta.pt/mercados-internacionais/cv/cabo-verde?setorProduto=-1)
- Almeida, H. S. (2010). *ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS*. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa.
- ARME. (2020). *Relatório do sector dos combustíveis - 1º semestre 2020*.
- Athienitis, A., & O'Brien, W. (s.d.). *Modeling Design and optimization of Net zero Energy Building*. Ernst and Sohn Wiley.
- Bernardo, H. (2021). Utilização racional de energia em sistemas de iluminação.
- Cabo Verde Trade Invest. (2018). Informações sobre o sector da energia em Cabo Verde. *Informações sobre o sector da energia em Cabo Verde*.
- Centeio, R. A. (2015). *A construção e Arquitetura Sustentável em Cabo verde*. Lisboa, Portugal.
- Country Economy. (2020). *Cabo Verde - PIB - Produto Interno Bruto*. Obtido de Country Economy: <https://pt.countryeconomy.com/governo/pib/cabo-verde>
- Direção geral da energia . (2015). *Plano nacional de energias renováveis*.
- Direção geral de energia e Geologia . (1 de julho de 2021). Manual técnico para avaliação de desempenho energético dos edifícios- Despacho nº 6476-H/2021. *Manual SCE*. Portugal.

- ECOWAS. (2015). *ECREEE*. Obtido de ECOWAS se4all Network: <http://www.se4all.ecreee.org/content/cabo-verde>
- ELETRA. (2020). *relatório de contas 2020*. CABO Verde.
- Energy Market authority. (s.d.). Handbook for solar photovoltaics (PV) system .
- Fortes, D. (2012). Edifícios de Balanço Energético Quase Nulo (ZEBs) em Comunidades Isoladas.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems; ISE. (2022). *PHOTOVOLTAICS REPORT*.
- Garcia, V. A. (Fevereiro de 2016). Arquitetura Sustentável em Cabo Verde - Nova Aldeia para Chã das caldeiras. *Tese de mestrado em Arquitetura- Universidade de Lisboa*.
- Gonçalves, H., Aelenei, L., & Aelenei, D. (2012). Net Zero Energy Buildings, towards innovation and development solutions . *International Conference on: Solar Energy and Architecture*.
- Governo de Cabo Verde. (3 de julho de 2020). Código de Eficiência Energética em Edifícios. *Bolitim Oficial*.
- Guedes, M., Perreira, M., & Pinheiro, M. (2011). Arquitetura Sustentável em Cabo Verde- Manual de boas práticas . *Research gate*.
- Hall, M. (14 de julho de 2022). *Solar power costs continued to fall in 2021, despite rising panel prices*. Obtido de PV magazine: <https://www.pv-magazine.com/2022/07/14/solar-power-costs-continued-to-fall-in-2021-despite-rising-panel-prices/>
- Hany, N., & Alaa, H. (2021). Thermal confort optimozation through bio climatic design in mediterranean cities . *FIOOO Research*.
- He, J., & Hogano, A. (junho de 2009). Experimental study of cooling effects of a passive evaporative cooling wall constructed of porous ceramics with high water soaking-up ability. *Sciencydirect*.

- ISO7730. (2005). *ISO 7730:2005- Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Obtido de International Organization for standardization: <https://www.iso.org/standard/39155.html>
- Jornal O País . (dezembro de 2020). *Construção civil volta a crescer em Cabo Verde*. Obtido de Jornal o País : <https://opais.cv/construcao-civil-volta-a-crescer-em-cabo-verde/15/12/2020/>
- Laboratório Nacional de engenharia civil IR. (2018). *Indicador de comportamento térmico solar passivo de habitações - Estação de aquecimento*.
- Marin, L. G. (2016). Análise integral de rotores eólicos verticais através da modelagem de tubos de corrente. *Dissertação de Licenciatura em engenharia mecânica*.
- Ministerio da Agricultura e do Ambiente. (2020). *Cabo Verde: 2020 Update do the first Nationally determined contribution*. Cidade da Praia.
- Ministério da Agricultura e do Ambiente. (2021). *Cabo Verde: 2020 Update to the first Nationally Determined Contribution (NDC)*. Cidade da Praia: Ministério da Agricultura e do Ambiente.
- Ministério das infraestruturas e ordenamento do território e habitação. (outubro de 2020). *Política Nacional de Habitação. Política Nacional de Habitação*.
- Morreira, A. (2015). *O relevo de Cabo Verde*. Obtido de Educação & Ensino de História: <https://antoniocv.wordpress.com/2015/09/03/o-relevo-de-cabo-verde/>
- National Renewable Energy Laboratory . (2022). *Best research-cell efficiency*. Obtido de NREL: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Parlamento europeu. (2019). *diretiva da união europeia (UE) 2019/790 do parlamento europeu . Jornal oficial da união europeia*.
- Pinho, J., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB.

- Pless, S., & Torcelli, P. (2010). *NET- ZERO ENERGY BUILDING A CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY SUPPLY OPTIONS*. National renewable energy laboratory.
- Pless, S., Crawly, D., & Dru, M. (2006). Zero energy building- critical look and definition. *Research Gate*.
- Ramos, J. (2010). Efeito da inércia térmica em edifícios de escritório- Estudo de caso Belo Horizonte, MG. *Tese de pós- graduação em Ambiente construído patrimônio sustentável- Universidade Federal de Minas gerais* . Brasil.
- Salvatore, C., Pagliano, L., O'Brien, W., & Konstantinos, K. (2015). *Modeling , design and optimization of net zero energy buildings*.
- Samya, O., Radhakrishan, P., & Ashok, A. (2018). *Engineered nanomaterials for solar nergy generation*. Elsevier inc. .
- Santos, C. A., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edificios* . Laboratório Nacional de enegenharia civil.
- SecPower. (2021). *Como funciona um sistema de nergia solar*. Obtido de Sec Power: <https://secpower.com.br/energia-solar-fotovoltaica/>
- Seeley International. (2022). *EVAPORATIVE COOLING- Why is perfect for your business*. Obtido de Seeley International: <https://www.seeleyinternational.com/eu/commercial/evaporative-cooling-europe/>
- Silva, F. M. (2013). Ventilação Natural- Ação do vento. *Jornadas de negenharia de climatização*.
- Slouhi, D. (23 de junho de 2021). *Back to Basics: Natural Ventilation and its Use in Different Contexts*. Obtido de Arch Daily: <https://www.archdaily.com/963706/back-to-basics-natural-ventilation-and-its-use-in-different-contexts>
- Tecniclima. (2020). Obtido de Climatizar ou evaporar água: <https://www.tecniclma.pt/news/climatizar-ou-evaporar-agua/>

- Teixeira, A. M. (dezembro de 2013). Caracterização do potencial eólico urbano - O caso de Lisboa. *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em engenharia civil*.
- Teixeira, S. (2009). *Energia solar - Conversão térmica* . Obtido de Cenfim: <https://qualidade.cenfim.pt/2022/03/09/energia-solar-conversao-termica-2009/>
- UN environment program. (2021). *2021 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION*.
- United Nation Enviornment Program . (2019). *Adopting decarbonization policies in the buildings & construction sector: Costs and Benefits*.
- United Nations Development Program. (2015). *Cabo Verde Appliances & Building Energy-Efficiency Project (CABEEP)*. Cidade da Praia : United Nations Development Program.
- Vidigal, F. (Maio de 2014). Arrefecimento Evaporativo de ambientes e elementos construtivos. *Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia civil - Universidade Nova de Lisboa*.

Anexos

Anexo I: Áreas e volumes dos compartimentos do rés do chão

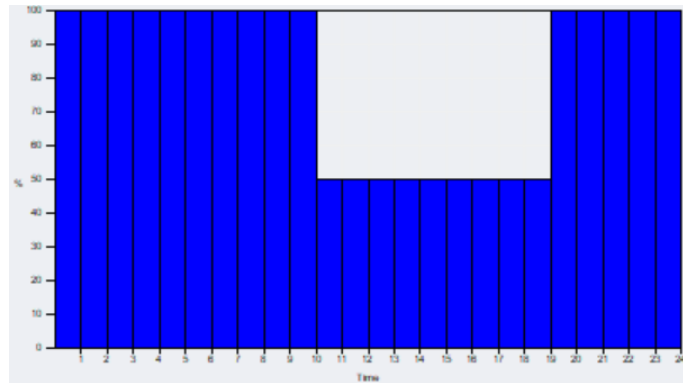
Compartimentos		Comprimentos (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Vãos (m)		Área (m ²)
quarto 1	parede 1/2	2.42	7.865	23.595	porta	0.8	2
	parede 3/4	3.25			janela	1.2	1.8
quarto 2	parede 4/5	3.25	8.6775	26.0325	porta	0.8	2
	parede 6/7	2.67			janela	1.2	1.8
quarto 3	parede 5/8	3.25	11.375	34.125	porta	0.8	2
	parede 9/10	3.5			janela	1.2	1.8
garagem	parede 8/11	3.25	17.5825	52.7475	porta 1	0.8	2
	parede 12/13	5.41			portão	2.85	7.125
cozinha	parede 14/15	3.73	9.0266	27.0798	porta	0	0.5
	parede 2/16	2.42					
arecadação	parede 16/18	2.42	5.3724	16.1172	porta	1	2
	parede 9/16	2.22					
Wc 1	parede 20/21	1.22	1.769	5.307	porta	0.8	2
	parede 22/23	1.45			janela	1.2	1.8
Wc 2	parede 24/25	1.72	4.7644	14.2932	porta	0.8	2
	parede 20/24	2.77			janela 1/2	0.6	0.9
quintal	parede 27/28	2.77	7.1743	21.5229	porta	0.8	2
	parede 29/30	2.59					
sala de estar	parede 31	4.51	20.0761	60.2283	porta	0.8	2
	parede 32	2.2					
	parede 33	2.31					
	parede 34	5.71					
	parede 35	3.31					
parede 36	2.58	janela	1.2	1.8			
corredor	parede 37	4.73	19.6457	58.9371	porta principal	0.8	2
	parede 38	1.45					
	parede 39	10.33					
	parede 40	8.88					
	parede 41	1.44					
caixa escada	parede 42	2	8.06	24.18	porta	0.8	1.2
	parede 43	4.03					
Pátio	parede 44/45	1.45	5.7275	17.1825	porta	0.8	2
	parede 46/47	3.95					

Anexo II: Áreas e volumes dos compartimentos do primeiro piso

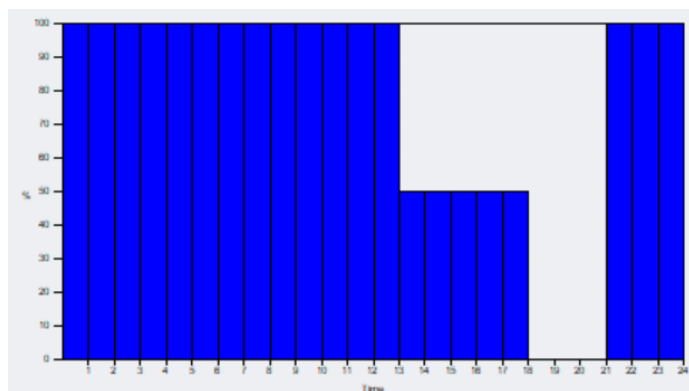
Compartimentos		Comprimentos (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Vãos (m)		Área (m ²)
quarto 1	parede 4/5	3.25	8.6775	26.0325	porta	0.8	2
	parede 6/7	2.67			janela	1.2	1.8
quarto 2	parede 5/8	3.25	11.375	34.125	porta	0.8	2
	parede 9/10	3.5			janela	1.2	1.8
quarto 3	parede 8/11	3.25	17.5825	52.7475	porta 1	0.8	2
	parede 12/13	5.41			janela	2.85	4.275
cozinha	parede 14/15	7.18	17.3756	52.1268	porta	2	5.5
	parede 2/16	2.42					
quarto 4	parede 16/18	2.42	9.8494	29.5482	porta	0.8	2
	parede 9/16	4.07			janela	1.2	1.8
Wc 1	parede 24/25	1.72	4.7644	14.2932	porta	0.8	2
	parede 20/24	2.77			janela 1/2	0.6	0.9
quintal	parede 27/28	2.77	7.1743	21.5229	porta	0.8	2
	parede 29/30	2.59					
sala de estar	parede 31	4.51	20.0761	60.2283	porta	0.8	2
	parede 32	2.2					
	parede 33	2.31					
	parede 34	5.71					
	parede 35	3.31					
	parede 36	2.58					
corredor	parede 37	4.73	19.6457	58.9371	porta principal	0.8	2
	parede 38	1.45					
	parede 39	10.33					
	parede 40	8.88					
	parede 41	1.44					
caixa escada	parede 42	2	8.06	24.18	porta	0.8	2
	parede 43	4.03					
Pátio	parede 44/45	1.45	5.7275	17.1825	porta	0.8	2
	parede 46/47	3.95					

Anexo III: Horários de ocupação e utilização dos equipamentos - Designbuilder

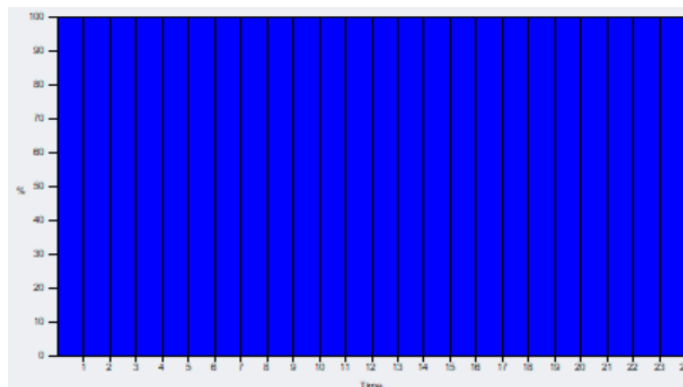
Ocupação nos dias da semana



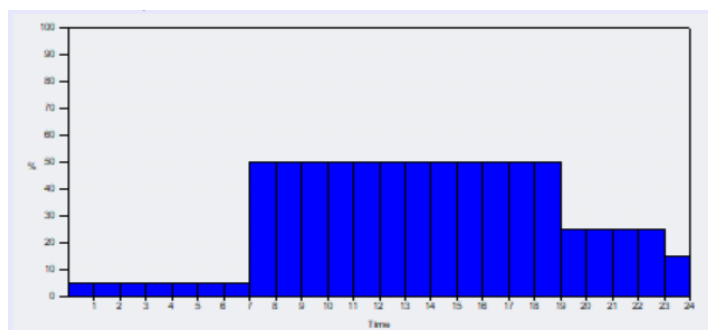
Ocupação sábados



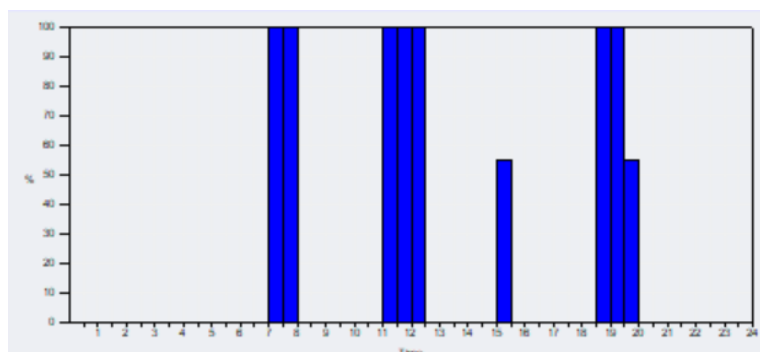
Ocupação domingos



Horários de utilização dos eletrodomésticos



Horários de utilização de gás



Anexo IV: Dados da simulação – Software Homer

Encargos com eletricidade

Rate schedule

Step 1: Define and select a rate

Rate	Price (\$/kWh)	Sellback (\$/kWh)	Demand (\$/kW/mo)
simples	0.280	0.050	0.000

Add Remove Edit...

Step 2: Select a time period

All Week Weekdays Weekends

Step 3: Click on the chart to indicate when the selected rate applies.

Net metering

Net purchases calculated monthly

Net purchases calculated annually

Rate Schedule

Time of Day

00:00 04:00 08:00 12:00 16:00 20:00 24:00

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Legend: simples (green), All week (black), Weekdays (white), Weekends (white)

Necessidades energéticas

Label

Load type: AC DC

Data source: Enter daily profile(s) Import time series data file

Baseline data (from 4.3 load.dmd)

Month:

Day type:

Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	0.012
01:00 - 02:00	0.012
02:00 - 03:00	0.012
03:00 - 04:00	0.012
04:00 - 05:00	0.012
05:00 - 06:00	0.012
06:00 - 07:00	0.074
07:00 - 08:00	0.116
08:00 - 09:00	0.116
09:00 - 10:00	0.116
10:00 - 11:00	0.116
11:00 - 12:00	0.116

Random variability

Day-to-day: %

Time-step-to-time-step: %

Scaled annual average (kWh/d): (.)

	Baseline	Scaled
Average (kWh/d)	3.05	3.05
Average (kW)	0.127	0.127
Peak (kW)	0.295	0.295
Load factor	0.431	0.431

Efficiency Inputs...

Plot... Export... Help Cancel OK

Analise de produção fotovoltaica

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	0.800	kW
Mean output	0.161	kW
Mean output	3.87	kWh/d
Capacity factor	20.2	%
Total production	1,414	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	0.762	kW
PV penetration	127	%
Hours of operation	4,425	hr/yr
Levelized cost	0.0490	\$/kWh

Compra e venda de energia da rede de abastecimento

Grid

Rate: simples

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	56	63	-7	0	0	0
Feb	48	62	-14	0	-1	0
Mar	52	75	-23	0	-1	0
Apr	50	71	-21	0	-1	0
May	52	69	-17	0	-1	0
Jun	51	57	-6	0	0	0
Jul	53	57	-4	0	0	0
Aug	53	58	-5	0	0	0
Sep	53	60	-7	0	0	0
Oct	55	65	-10	0	-1	0
Nov	55	59	-4	0	0	0
Dec	56	61	-4	0	0	0
Annual	634	756	-123	0	-6	0

Custos por componentes do sistema

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	728	150	92	0	-84	886
Grid	0	0	-78	0	0	-78
Converter	112	43	13	0	-8	160
System	840	193	26	0	-92	967

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	57	12	7	0	-7	69
Grid	0	0	-6	0	0	-6
Converter	9	3	1	0	-1	13
System	66	15	2	0	-7	76

