



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Roberto Nonato de Arruda.

**CUSTO-BENEFÍCIO DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E
TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO**

Rio de Janeiro

2023



UFRJ

Roberto Nonato de Arruda

CUSTO-BENEFÍCIO DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Mohammad Najjar e Assed Naked Haddad

Rio de Janeiro

2023

Arruda, Roberto Nonato de.

Custo-benefício de utilização de Energia Solar Fotovoltaica e Térmica em Habitações de Interesse Social: Estudo de Caso / Roberto Nonato de Arruda. Rio de Janeiro, 2023.

183 f.: 88 il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2023.

Orientador: Mohammad Najjar

1. Energia Elétrica. 2. Energia Renovável. 3. Eficiência Energética. 4. Energia Solar. 5. Habitação de Interesse Social.
I. Haddad, Assed Naked. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



UFRJ

**CUSTO-BENEFÍCIO DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E
TÉRMICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASO**

Roberto Nonato de Arruda

Orientador: Mohammad Najjar, D.Sc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:



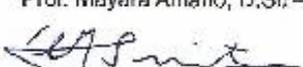
Presidente, Prof. Mohammad Najjar, D.Sc. – UFRJ



Prof. Assed Nakeb Haddad (orientador), D.Sc. – UFRJ



Prof. Mayara Amario, D.Sc. – UFRJ



Prof. Walter Issamu Suemitsu, D.Sc. – UFRJ

Prof. José Carlos Paliari, D. Sc – UFScar



Prof. Harrison Adhiam Mesa Hernandez, D.Sc. – PUC

Documento assinado digitalmente
por JOSÉ CARLOS PALIARI
Data: 2023.08.15 14:54:00
Código em https://brasil.org.br

gov.br

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir esta etapa. Nos momentos mais difíceis, Ele sempre esteve presente, me dando forças e coragem, possibilitando a finalização deste trabalho;

À minha esposa Maria de Nazareth e minha filha Rebeca, não só por entenderem minha ausência, mas também por compreender o significado desse trabalho e me incentivarem a todo momento;

À minha mãe, Maria do Carmo, e meu pai Raimundo Arruda (*in memoriam*) pelo dom da vida e por me educarem com dignidade;

Aos orientadores Assed Naked e Mohammad Najjar fundamentais nesta caminhada;

Ao Decano do Centro de Tecnologia da UFRJ, Walter Issamu, o qual pude não só compartilhar as idéias dessa dissertação, mas também como responsável do local onde trabalho, concedeu a flexibilização para minha atuação acadêmica;

Ao superintendente do Centro de Tecnologia da UFRJ, Agnaldo Fernandes, que propiciou a flexibilização para a conclusão deste trabalho.

A todos os familiares e amigos, em especial ao Fábio Cardoso que contribuiu com sua experiência na vida acadêmica;

Ao meu compadre e amigo Fernando César Guimarães, que me apresentou o Condomínio Vale da Mata em Xerém. As moradoras Isabel, Érica e Sirlene que permitiram e apresentaram a conta de energia para que eu pudesse realizar este estudo;

Ao professor Ricardo Dutra do Cepel, o qual passou grande experiência sobre a correlação de energia com as questões sociais;

Ao Amigo Humberto Viana da Prefeitura de Duque de Caxias, que ajudou bastante contando a história do Condomínio;

A todos professores do PEA, a todos amigos e amigas que de alguma forma estiveram comigo nessa caminhada.

RESUMO

ARRUDA, Roberto Nonato. Custo-benefício de Utilização de Energia Solar Fotovoltaica e Térmica em Habitações de Interesse Social: Estudo de Caso. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Este trabalho teve como motivação a história de um condomínio residencial de interesse social denominado Condomínio Vale da Mata, localizado no município de Duque de Caxias no Estado do Rio de Janeiro. O local foi construído para abrigar as famílias que perderam suas casas nas chuvas, que ocasionaram inundações, deslizamento de terra, mortes e deixaram mil desabrigados na região de Xerém, em janeiro de 2013. O condomínio é composto por 215 casas que possuem sistema de aquecimento solar. Este trabalho tem como objetivo abordar uma análise do custo-benefício e comparação de três modelos de projetos propostos com utilização de energia solar, sendo dois modelos com energia solar fotovoltaica e o terceiro modelo com utilização de sistema de aquecimento solar – SAS. A metodologia adotada para alcançar o objetivo, foi realizar a simulação dos modelos 1 e 2 com utilização o *software* PVSOL. Já para o modelo 3, os cálculos de dimensionamento para obtenção dos resultados foram realizados conforme a Norma ABNT – NBR 15569. Realizou-se a comparação e análise dos principais resultados adquiridos como: capacidade de geração de energia, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, payback, retorno financeiro ao longo da vida útil, capacidade de redução de CO₂ e redução de CO₂ devido a energia utilizada. Entende-se que este trabalho pode contribuir cientificamente com a promoção para redução do custo energético em populações de baixa renda, favorecer e fomentar o uso de uma energia mais limpa, com menor impacto ambiental, mais acessível e mais econômico. Dessa forma, acredita-se criar mecanismos que possam permitir a essas pessoas uma melhora nas condições socioeconômica, bem como no incentivo ao uso de recursos renováveis.

Palavras-chave: Eficiência energética; Energia renovável; Análise de custo-benefício; módulos fotovoltaicos; Sistemas de aquecimento solar; Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

ARRUDA, Roberto Nonato. A Case Study on the Cost-Benefit Analysis of Using Solar Photovoltaic and Thermal Energy in Social Interest Housing. The study was conducted as a Master's thesis in the Environmental Engineering Program at the Polytechnic School of the Federal University of Rio de Janeiro, 2023.

The motivation for this work was the history of a social interest residential condominium called Condomínio Vale da Mata, located in the municipality of Duque de Caxias in the state of Rio de Janeiro. The purpose of the residential complex is to house families who lost their homes during the rains which caused flooding, landslides, deaths and left countless people homeless in the Xerém region in January 2013. The condominium is composed of 215 houses with solar heating systems. This work aims to conduct a cost-benefit analysis and compare three proposed project models that utilize solar energy. Two of the models use photovoltaic solar energy, while the third uses a Solar Heating System (SAS). The objective was fulfilled by simulating models 1 and 2 using PVSOL software.

For model 3, the sizing calculations to obtain the results were carried out according to the standard ABNT — NBR 15569. The main results obtained were compared and analyzed, such as: energy production capacity, energy consumption, cost of implementation of the system, payback, financial return over the useful life, CO₂ reduction capacity and CO₂ reduction due to energy usage. It is understood that this work can make a scientific contribution to promote the reduction of energy costs for low-income populations and encourage the use of cleaner energy, with less environmental impact, which is more accessible and more economical. In this way, it is believed that mechanisms will be created that can enable these people to improve their economic and social conditions, as well as encourage the use of renewable resources.

Keywords: Energy efficiency; Renewable energy; Cost-benefit analysis; Photovoltaic modules; Solar heating systems; Environmental sustainability.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1	Relevância e justificativa do tema	23
1.2	Objetivos do trabalho	30
1.2.1	Objetivo geral	30
1.2.2	Objetivos específicos	30
1.3	Estrutura da dissertação	32
2.	CENÁRIO ENERGÉTICO	34
2.1	Cenário energético mundial	34
2.2	Cenário energético Brasileiro	39
3.	IDH E CONSUMO DE ENERGIA	43
4.	USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFICAÇÕES	51
4.1	O uso da energia solar em projetos de construção.	53
5.	CONCEITOS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ENERGIAS RENOVÁVEL, SUSTENTÁVEL E LIMPA	55
5.1	Energias renováveis	55
5.2	Energias sustentáveis	55
5.3	Energias limpas	56
5.4	Energia solar	56
5.4.1	Vantagens e desvantagens da energia solar	58
5.5	Energia eólica	58
5.5.1	Vantagens e desvantagens da energia eólica	60
5.6	Energia geotérmica	60
5.6.1	Vantagens e desvantagens da Energia Geotérmica	62
5.7	Energia hidráulica	63
5.7.1	Vantagens e desvantagens da Energia Hidráulica	64
5.8	Energia Oceânica	65
5.8.1	Vantagens e desvantagens da Energia Oceânica	67
5.9	Energia de biomassa	68
5.9.1	Vantagens e desvantagens da Energia de biomassa.	69
6.	LEGISLAÇÃO E NORMA BRASILEIRA NO USO DE ENERGIAS	72
7.	RECURSOS COMPUTACIONAIS NA AREA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	77
7.1	Pesquisas envolvendo simulação e otimização de sistemas fotovoltaicos	78
7.2	Softwares para simulação e otimização de sistemas fotovoltaicos	79
7.3	Utilização do software PVSOL	84
8.	METODOLOGIA	87

9.	ESTUDO DE CASO-----	96
9.1	Características do condomínio -----	97
9.2	Dados de entrada-----	104
9.3	Dados de projeto. -----	105
9.4	Perfil de consumo da energia elétrica. -----	107
9.5	Modelagem em 3D para o projeto 1 – (balanço energético zero). -----	110
9.5.1	Composição de custos para o modelo de projeto 1-----	119
9.6	Modelagem em 3D para o modelo de projeto 2 – (sistema fotovoltaico com carga pré determinada de 680w.) -----	123
9.6.1	Composição de custos para o modelo de projeto 2. -----	129
9.7	Modelo de projeto 3 – Sistema de aquecimento solar – (SAS). -----	133
9.7.1	Composição de custos para o modelo 3 - SAS-----	136
10.	RESULTADOS E DISCUSSÕES-----	141
10.1	Resultados obtidos para o modelo de projeto 1. -----	141
10.1.1	Redução da emissão de Dióxido de carbono CO ₂ para o modelo de projeto 1 -----	145
10.1.2	Payback para o modelo de projeto 1 -----	149
10.2	Resultados obtidos para o modelo de projeto 2. -----	152
10.2.1	Redução da emissão de Dióxido de carbono CO ₂ para o modelo de projeto 2 -----	154
10.2.2	Payback para o modelo de projeto 2 -----	157
10.3	Resultados obtidos para o modelo de projeto 3. -----	160
10.3.1	Redução da emissão de CO ₂ para o modelo 3 - SAS -----	161
10.3.2	Payback do modelo 3 - SAS -----	162
10.4	Discussões-----	166
11.	CONCLUSÕES -----	170
12.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	177
13.	APÊNDICE I -----	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo final total por fonte no mundo 1990-2019	24
Figura 2 - Evolução do consumo final de energia do setor residencial por fonte.	26
Figura 3 - Perspectiva de abastecimento total de energia por região e cenário	35
Figura 4 - Previsão do percentual de emissões de CO ₂ por região e cenário, 2040	36
Figura 5 - Fornecimento total de energia mundial por fonte, 1971-2019.....	37
Figura 6 - Percentagem do fornecimento total de energia a nível mundial por fonte, 1973 e 2019	38
Figura 7 - Participação das fontes por capacidade instalada	40
Figura 8 - Emissão dos GEE provenientes da geração elétrica no Brasil	41
Figura 9 - Geração de energia elétrica: fontes não renováveis	41
Figura 10 - Índice de Desenvolvimento Humano no mundo.....	43
Figura 11 - IDH dos países mais ricos e mais pobres.....	46
Figura 12 - Consumo de energia dos países mais ricos e mais pobres.....	46
Figura 13 - Países com maior e menor consumo de energia	47
Figura 14 - Mapa noturno da Noruega.....	49
Figura 15 - Mapa noturno do Niger.....	49
Figura 16 - Mapa noturno do mundo.....	50
Figura 17 - Reservatório Geotérmico de alta temperatura	63
Figura 18 - Evolução do parque hidrelétrico por região geográfica	64
Figura 19 - Fontes de biomassa	69
Figura 20 - Vantagens e desvantagens das fontes de biomassa.....	71
Figura 21 - Fluxograma da metodologia.....	88
Figura 23 - Banco de dados dos módulos fotovoltaicos.....	91
Figura 24 - Imagem de satélite do condomínio.....	98
Figura 25 - Imagem de satélite com a localização ampla do condomínio.....	99
Figura 26 - Imagem de satélite de localização do condomínio	99
Figura 27 - Rua de entrada do condomínio Vale da Mata com a sede administrativa ao lado esquerdo.	100
Figura 28 - Rua de entrada do condomínio Vale da Mata com residências construídas.....	100
Figura 29 - Casas do condomínio Vale da Mata.	101
Figura 30 - Casas do condomínio Vale da Mata.	101
Figura 31 - Residência tipo do condomínio Vale da Mata.	102
Figura 32- Residência tipo do condomínio Vale da Mata.....	103
Figura 33 – Definição do sistema de unidades.....	104
Figura 34 – Dados de projeto para corrente alternada.....	106
Figura 35 – Dados de projeto.	107
Figura 36 - Parte da fatura, contendo o consumo de energia da residência.....	108
Figura 37 - Inserção do consumo mensal.....	109
Figura 38 – Consumo mensal.	109
Figura 39 – Tela inicial para modelagem 3D.....	110
Figura 40 - Janela para novo cenário 3D	111
Figura 41 - Características da edificação	112

Figura 42 - Inserção dos módulos fotovoltaicos.....	112
Figura 43 - Análise do sombreamento	113
Figura 44 - Configuração dos inversores	114
Figura 45 - Configuração da edificação em 3D	114
Figura 46 - Configuração do cabeamento	115
Figura 47 - Diagrama elétrico	116
Figura 48 - Perda devido ao cabeamento em cc.	116
Figura 49 – Diagrama do circuito.....	117
Figura 50 - Plano do string com esquema de ligação dos módulos.	117
Figura 51 - Lista de peças	118
Figura 52 - Parâmetros gerais para os dados financeiros.....	118
Figura 53 - Cotação do custo com painéis fotovoltaicos	119
Figura 54 - Cotação do custo com o inversor.....	120
Figura 55 - Custos e subsídios financeiros.....	122
Figura 56 - Tarifa da concessionária de energia.	122
Figura 57 - Modelagem 3D para o modelo de projeto 2.	123
Figura 58 - Modelagem 3D para o modelo de projeto 2.	124
Figura 59 - Análise do sombreamento para o modelo 2.	124
Figura 60 - Configuração dos inversores para o modelo 2	125
Figura 61 – Características da edificação em 3d com duas placas	125
Figura 62 - Configuração do cabeamento para o modelo 2	126
Figura 63 - Diagrama elétrico do modelo 2	126
Figura 64 - Diagrama do circuito	127
Figura 65 - Plano do string com esquema de ligação dos módulos.	127
Figura 66 - Lista de peças para o modelo 2	128
Figura 67 - Parâmetros gerais para os dados financeiros do modelo 2.	128
Figura 68 - Cotação do custo com painéis fotovoltaicos	129
Figura 69 - Cotação do custo com o inversor para o modelo de projeto 2.	130
Figura 70 - Custos e subsídios financeiros para o modelo de projeto 2.....	132
Figura 71 - Tarifa da concessionária de energia.	132
Figura 72 - Cotação de preço do reservatório térmico.....	137
Figura 73 - Cotação de preço do coletor solar	138
Figura 74 - Especificações do coletor solar	139
Figura 75 - Previsão de rendimento com consumo.....	142
Figura 76 - Economia de energia.....	144
Figura 77 - Irradiação por área do módulo.....	146
Figura 78 - Temperatura por área de módulos.....	147
Figura 79 - Energia ao longo do prazo do projeto.	148
Figura 80 - Fluxo de caixa acumulado.	150
Figura 81 - Evolução dos custos de energia.....	151
Figura 82 - Previsão de rendimento.	152
Figura 83 - Economia de energia.....	153
Figura 84 - Irradiação por área do módulo.....	155
Figura 85 - Temperatura por área de módulos.....	156
Figura 86 - Energia gerada ao longo do prazo do projeto.	156
Figura 87 - Fluxo de caixa acumulado	158
Figura 88 - Evolução dos custos de energia.....	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países com maior IDH	45
Tabela 2 - Países com menor IDH	45
Tabela 3 - Etapas de processo da metodologia.	89
Tabela 4 - Consumo de energia da residência.....	108
Tabela 5 - Planilha de composição de custos do sistema.....	121
Tabela 6 - Planilha de composição de custos do sistema para o modelo de projeto 2.....	131
Tabela 7 - consumo dos pontos de utilização de água quente.....	134
Tabela 8 - Composição dos custos para o SAS.....	140
Tabela 9 - Economia de energia.	145
Tabela 10 - Análise financeira.....	149
Tabela 11 - Análise da conta de energia.....	150
Tabela 12 - Dados de simulação.....	154
Tabela 13 - Análise financeira.....	157
Tabela 14 - Análise da conta de energia.....	159
Tabela 15 – Cálculo do payback sem o custo de disponibilidade.....	163
Tabela 16 - Consumo excedente ao custo de disponibilidade	164
Tabela 17 - Cálculo do payback considerando o custo de disponibilidade	165
Tabela 18 - Comparação dos principais resultados entre os três modelos.	167

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Ampère

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEPEL – Centro de Pesquisa da Eletrobrás

CO₂ – Dióxido de Carbono

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EJ – Exajoule

EUA – Estados Unidos da América

GW – Gigawatt

GWh – Gigawatt-hora

h – Hora

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Icc ou Isc – Corrente de Curto Circuito

J – Joule

kg – Quilograma

km² – Quilômetro Quadrado

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt hora

kW_N – Quilowatt nominal

kW_p – Quilowatt pico

m – Metro

m² – Metro Quadrado

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – Maximum Power Point Tracking / Seguidor do Ponto de Máxima Potência

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

MWp – Megawatt-pico

ONS – Operador Nacional do Sistema

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PNEL – Programa Nacional de Energia Limpa

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PWM – Pulse With Modulation / Modulação por Pulsos

RPM – Rotação por Minuto

R\$ – Reais

SIN – Sistema Interligado Nacional

V – Volt

Voc – Tensão de circuito Aberto

W – Watt

Wh – Watt-hora

Wp – Watt-pico

°C – Graus Celsius

1. INTRODUÇÃO

Com o ápice econômico da década de 1960, quando os países industrializados enfrentaram uma forte aceleração do consumo e do desenvolvimento do sistema de produção, foi observado o surgimento dos danos ambientais, tais como: contaminações de rios, poluição do ar e vazamento de produtos químicos nocivos, o que ocasionou danos à saúde e perdas de vidas humanas.

Esses acontecimentos chamaram a atenção da sociedade, bem como da comunidade científica.

O avanço da tecnologia tem como base a produtividade, competição e o poder, tendo como consequência uma aparente “evolução humana”. Esta evolução comumente é vista de forma completamente positiva, mas foi a partir dos danos ambientais ocorridos na segunda metade do século passado, que iniciou a reflexão sobre o real custo-benefício desse modelo de desenvolvimento da nossa civilização.

Assim foi possível entender que as atividades humanas podem ter como consequência os impactos ambientais, que podem ser nocivos e irreparáveis, trazendo um entendimento que os recursos naturais e o sistema ambiental podem ser finitos. Dessa forma, é necessário que o desenvolvimento humano seja sustentável (Pott & Estrela, 2017).

O tema desenvolvimento sustentável, emergiu com a publicação do relatório intitulado “Limites do Crescimento” publicado em 1972 na Conferência de Estocolmo, o qual utilizou com base em uma simulação computadorizada dos efeitos do sistema contínuo de produção e consumo sobre a natureza. Foi a primeira previsão científica, alertando sobre a possibilidade de um colapso do ecossistema mundial.

Em 1987, no Relatório Brundtland sob o nome “Nosso Futuro Comum”, com a Comissão Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUDS), criada em 1983 houve a apresentação de um conceito de desenvolvimento sustentável como um desenvolvimento social e produtivo que ocorre dentro dos limites impostos pela natureza, com a seguinte definição:

“O desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (Agnelli, 1991, p. 46)

Essa definição introduz o sentido de equidade e integração social. Assim, percebe-se a importância de pensar na sustentabilidade com os conceitos éticos e sociais, de forma que nenhuma população do planeta no futuro, seja acometida com algum sofrimento em função da bem-estar de determinado grupo, em algum local do mundo, no presente ou no passado (Sobrinho, 2008).

Paralelamente ao tema desenvolvimento sustentável, em 1988, ocorreu a primeira reunião com líderes políticos e cientistas de vários países, com o objetivo de discutir as mudanças climáticas. Realizado na cidade canadense de Toronto, onde foi sugerido, que somente uma guerra nuclear poderia causar danos maiores que o previsto para os impactos das mudanças climáticas.

Em 1990, foi criado o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) — Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, com caráter científico e o propósito de alertar sobre o aquecimento do planeta. Nesse ano, constataram que as alterações climáticas são provocadas, principalmente, pelo CO₂ (dióxido de carbono) emitido pela queima de combustíveis fósseis (Giometti, 2008).

Cinco anos após ao Relatório Brundtland, os assuntos “desenvolvimento sustentável” e “Mudanças Climáticas” voltaram a ser tratados de forma bem mais contundentes, na Cidade do Rio de Janeiro, entre os dias 3 a 14 de junho de 1992. O congresso ficou conhecido como ECO-92 ou Rio 92.

Diferentemente da Conferência de Estocolmo, a Eco-92 teve um caráter especial em razão da presença de 179 países, demonstrando assim a importância da questão ambiental.

O evento contou também com um grande número de Organizações Não Governamentais (ONGs), que realizaram de forma paralela o Fórum Global. Neste fórum, aprovaram a Declaração do Rio (ou Carta da Terra), transmitindo maiores responsabilidades para os países mais ricos, referente a preservação do planeta.

Na ocasião, duas importantes convenções foram aprovadas: uma sobre biodiversidade e outra sobre mudanças climáticas. Outro resultado de fundamental importância, foi a assinatura da Agenda 21. Esta era um plano de ações com metas para a melhoria das condições ambientais do planeta, o documento continha 40 capítulos, entre os quais encontram-se; Cap 2 - Cooperação Internacional para acelerar o desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento e políticas internas correlatadas, Cap 3 – Combate à pobreza e Cap 4 – Mudanças no padrão de consumo (BRASIL M. D., 2021).

Em 1995, o IPCC declarou que já existiam sinais claros das mudanças climáticas.

Em dezembro de 1997, foi realizada a terceira Conferência das Partes (COP) sobre mudanças climáticas na cidade de Kyoto, Japão, local onde foi assinado o Primeiro Tratado Internacional para controle de emissão dos gases de efeito estufa, mais conhecido como protocolo de Kyoto. Entre as metas, o documento estabelecia a diminuição dos poluentes e dos gases de efeito estufa (GEE).

Com o Protocolo de Kyoto, o conceito dos créditos de carbono foi bem difundido, como uma das medidas para reduzir os impactos ambientais. Aumentou a possibilidade do carbono tornar-se moeda de troca. Com isso, os países assinantes do acordo, poderiam comprar e vender os créditos de carbono.

Em 2004, foi realizada uma reunião na Argentina, na qual os participantes aumentaram a pressão para que países desenvolvidos reduzissem a emissão dos gases de efeito estufa (BRASIL S. F., 2021).

Aconteceram outros encontros que tiveram suas importâncias, no entanto, acabaram não causando impactos significativos. Como por exemplo, o de 1982 que ocorreu em Nairobi, no Quênia e o de setembro de 2002, conhecido como Rio+10 que apesar de receber esse nome, foi realizado em Johannesburgo na África do Sul. Neste encontro, além das questões ambientais, também foram discutidos os aspectos sociais. Bem como, as medidas para reduzir até metade o número de pessoas que viviam abaixo da linha da pobreza (Francisco, 2021).

A Assembléia Geral das Nações Unidas em 2011, apresentava como assunto, de grande importância, a eficiência energética, quando declarou o ano de 2012, sendo o ano Internacional de Energia Sustentável para Todos. O objetivo era aumentar a conscientização sobre o tema e alertar sobre a importância do aumento de acesso à energia renovável em todas as partes do mundo. Nesta ocasião, a ONU priorizava o assunto, prevendo o próximo encontro em junho do ano seguinte, no caso, em 2012 (ONU, 2011).

Na época a Organização informava que:

a) aproximadamente 1,4 bilhões de pessoas no mundo não tinham acesso às fontes modernas de energia;

b) 3 bilhões dependiam de carvão.

Informava ainda, que os serviços de energia têm um efeito profundo na produtividade, saúde e educação. Além da segurança alimentar e nos serviços de comunicação. Acrescentou que a falta de acesso à energia limpa e barata, impede o desenvolvimento sócio-econômico e humano de comunidades inteiras.

O acesso à energia sustentável é também uma das ferramentas para que o mundo alcance os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ONU, 2011).

Na época o então Secretário-Geral das Nações Unidas, Ban Ki Moon, nomeou um Grupo de Alto Nível sobre o tema, que entregou uma Agenda de Ação Global antes da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20). Ban Ki Moon declarou o lançamento da Iniciativa Energia Sustentável para Todos com a seguinte citação:

“A pobreza energética é uma ameaça ao cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Ao mesmo tempo, devemos avançar muito rapidamente em direção a uma economia de energia limpa para evitar o perigoso aquecimento do nosso planeta” (Vezzoli, 2018, p. 37)

A Iniciativa Energia Sustentável para Todos, identificou três objetivos interligados a serem alcançados até 2030 e perseguidos durante a década, necessários para o desenvolvimento sustentável de longo prazo em relação ao acesso à energia:

- a) garantir o acesso universal aos serviços modernos de energia;
- b) dobrar a taxa de melhoria da eficiência energética;
- c) dobrar a participação das energias renováveis na matriz energética global.

A Iniciativa Energia Sustentável para Todos, identificou objetivos significativos a serem alcançados até 2030 (Vezzoli, 2018).

Novamente no Rio de Janeiro, ocorreu entre os dias 13 e 22 de junho de 2012, a conferência (CNUDS) conhecida como RIO+2. Recebeu este nome por ser realizada 20 anos após a Rio-92, e teve como objetivo discutir a renovação dos acordos com o compromisso do desenvolvimento sustentável. O encontro contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável nas próximas décadas e contou com a participação de chefes de estados e governos de mais de 180 nações. (Pimenta & Nardelli, 2015)

A COP 21 - (CNUDS), realizada em Paris entre 30 de novembro de 2015 e 12 de dezembro de 2015, teve como objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Cumpriu seu objetivo principal: aprovação do acordo. No documento ficou estabelecido que o aquecimento global deveria ser contido abaixo de 2 °C, preferencialmente em 1,5 °C.

O compromisso internacional foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e para a entrada em vigor do acordo, que substituiria em 2020, o Protocolo de Kyoto, 55 países que representavam 55% das emissões de gases de efeito estufa precisavam ratificá-lo. Procedimento que ocorreu em 4 de novembro de 2016. Assim, até junho de 2017, 195 países assinaram o acordo, e 147 destes, entre eles o Brasil, o ratificaram. (Kässmaye & Neto, 2016)

Recentemente, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC) publicou, no dia 9 de Agosto de 2021, o relatório do grupo de trabalho I intitulado *AR6 Climate Change 2021: the Physical Science Basis*, mostrando que o aquecimento de 1,5° C a 2° C será ultrapassado, ainda nas próximas décadas, caso não haja forte e profunda redução nas emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa.

O Sexto Relatório de Avaliação aborda a compreensão física mais atualizada do sistema climático e das mudanças climáticas. Reúne, ainda, os mais recentes avanços na ciência climática e combina múltiplas linhas de evidências do paleoclima, observações, compreensão de processos e simulações climáticas globais e regionais.

O Relatório demonstra que as alterações climáticas causadas pela ação humana é uma realidade irrefutável, os danos já causados são irreversíveis e se não houver uma ação concreta, a crise climática irá se agravar nos próximos anos.

Diante da crítica situação, a ONU publicou uma campanha na véspera da COP 26, que ocorreu entre os dias 1 e 12 de novembro de 2021 em Glasgow, na Escócia. Para chamar atenção do momento decisivo que vivemos, um vídeo intitulado *“Don’t Choose Extinction”* foi produzido e informou que segundo a pesquisa desenvolvida pelo Pnud, aproximadamente US\$420 bilhões são gastos em combustíveis fósseis anualmente e essa quantia poderia ser utilizada para mitigar a extrema pobreza no mundo. A vídeo produção alerta ainda para o risco da extinção da humanidade, e finaliza com a frase *“It’s now or never”* (É agora ou nunca, em tradução livre), Nações Unidas. *Don’t Choose Extinction - UNDP | United Nations | Jack Black | Climate Action*. YouTube, 02 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3DOcQRI9ASc>

Ou seja, desde que o homem tomou conhecimento de que os recursos naturais poderiam ser finitos, através de previsões científicas alertando sobre um colapso do ecossistema mundial na conferência de Estocolmo em 1972, toda ação governamental até o momento, tem fracassado (Richard, 2021).

1.1 Relevância e justificativa do tema

Entre as metas do protocolo de Kyoto em 1997, foi estabelecida a diminuição dos poluentes e dos gases de efeito estufa (GEE). No entanto, no Acordo de Paris (COP 21) em 2015, os países envolvidos se comprometeram com as metas para frear a diminuição dos GEEs. O Brasil obteve notoriedade devido à ECO-92 e Rio+20, e também por possuir grande parte da maior floresta do mundo. Se comprometeu em reduzir as emissões dos GEEs, em 37% até 2025 e em 43% até 2030 em relação aos níveis de 2005 (ONU, 2015).

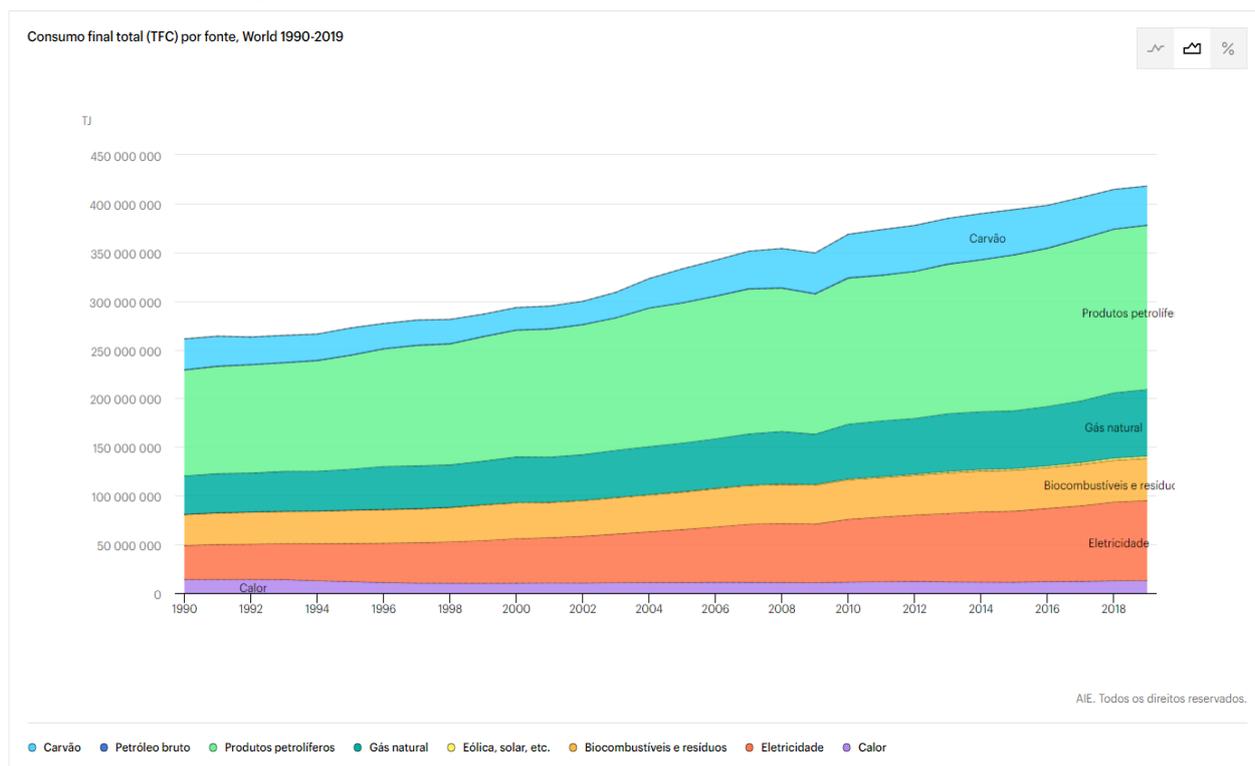
Em 2019 a emissão de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da geração elétrica no Brasil, aumentou em 6,8%. O total de emissões de GEE no Sistema Interligado Nacional (SIN) aumentou 3% somente entre 2018 e 2019, com destaque para o gás natural (+9,6%) e carvão (+9,2%). No entanto, a maior contribuição veio do Sistema Isolado, cujo aumento em 2019 foi de 134,4%, em relação ao ano anterior, devido ao crescimento das emissões oriundas da geração a óleo diesel (+72,9%) e da forte entrada de termelétricas a gás natural (+4.066,7%) (EPE, 2020).

Apesar do Brasil possuir uma matriz energética com 82% de fontes renováveis (considerando hidráulica 64%, Eólica 9%, Biomassa 8% seguida por energia solar com 1%), para alcançar as metas firmadas, será necessário expandir o uso de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis, além da energia hídrica, principalmente pelo aumento da participação das fontes solar, eólica e biomassa (EPE, 2020).

Energias limpas produzidas a partir de fontes renováveis, podem substituir o consumo de energias derivadas de combustíveis fósseis, onde os principais tipos são: petróleo, carvão mineral e o gás natural. A queima destes combustíveis emite o dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases de efeito estufa (GEE), responsável por cerca de 60% do efeito-estufa, cuja permanência na atmosfera é de no mínimo centenas de anos, o que contribui de forma significativa para o aumento das mudanças climáticas (IPCC, 1995).

O consumo de energia no mundo cresce ao longo dos anos. À medida que a sociedade humana evolui, a demanda por energia também aumenta, isso se dá devido ao conhecimento humano e as adaptações às novas formas de se viver. O acesso à energia está diretamente atrelado à qualidade de vida. Normalmente, quanto menos acesso à energia certa comunidade tem, menor é a sua qualidade de vida e mais difícil se torna o desenvolvimento humano nessa comunidade. Assim, não é possível reverter o aumento da demanda por energia, até porque ainda há no mundo pessoas sem acesso algum a eletricidade e outras com pouquíssimo acesso. Mas é possível substituir as fontes de energias causadoras do efeito estufa por fontes limpas e renováveis. (Nova, 1999) A Figura 1 apresenta o consumo final total por fonte no mundo, onde se observa o constante aumento do consumo de energia ao longo dos últimos trinta anos.

Figura 1 - Consumo final total por fonte no mundo 1990-2019



Fonte: iea.org/data

A demanda por energia elétrica tende a aumentar no mundo, em países desenvolvidos, isso se dará devido ao grande incentivo para o uso de veículos elétricos, mas quais são as fontes de energia elétrica utilizadas? Em muitos países ainda são utilizadas fontes poluentes. Já em países subdesenvolvidos ou em

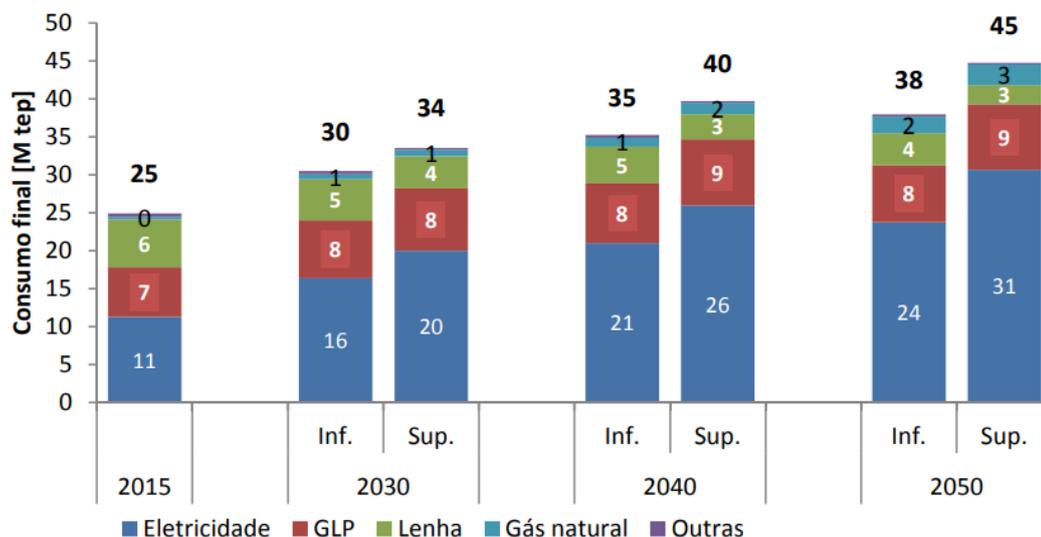
desenvolvimento, além da demanda devido ao aumento de utilização dos veículos elétricos, existe a carência de energia para o próprio desenvolvimento do país (International Energy Agency , 2020).

Atualmente o mundo vive um colapso energético, isso se deve a vários fatores como, aumento da demanda, período pandêmico, guerras, inflação e crises financeiras. Conseqüentemente, muitos países aumentaram o uso de carvão mineral como fonte geradora de energia.

A demanda global por energia deveria retornar para seu nível pré-crise no início de 2023 considerando o cenário das políticas declaradas, mas foi adiada para 2025 caso ocorra uma pandemia prolongada e maior declínio, como em um cenário de recuperação atrasada. Antes da crise, a previsão era de que a demanda por energia crescesse 12% entre 2019 e 2030. O crescimento ao longo desse período agora é de 9% no cenário das políticas declaradas e apenas 4% no cenário de recuperação atrasada. Com a demanda em economias avançadas em uma tendência decrescente, todo o aumento vem de mercados emergentes e economias em desenvolvimento, liderado pela Índia (International Energy Agency , 2020).

No Brasil os estudos apontam para um contínuo crescimento do consumo energético. A Figura 02 apresenta a evolução do consumo final de energia do setor residencial por fonte, considerando o consumo real no ano de 2015 e com previsão entre o limite superior e inferior a partir do ano 2030 até 2050.

Figura 2 - Evolução do consumo final de energia do setor residencial por fonte.



Fonte: EPE (2018)

A energia solar é uma fonte abundante e uma das mais importantes fontes de energia limpa e renovável. A utilização de energia alternativa no setor energético ao invés de fontes não limpas colabora significativamente para a redução de emissão do dióxido de carbono (CO₂).

A emissão de dióxido de carbono (CO₂), ameaça agravar a mudança climática global, razão pela qual os estudos sugerem que o planeta deva reduzir de 40 a 70% as emissões de gases de efeito estufa, para limitar o aquecimento global a um máximo de 2°C (ONU, 2015).

No Brasil, o mercado de energia solar tem aumentado nos últimos anos, resultando em maior quantidade de profissionais qualificados, bem como o aumento de distribuidores de materiais e componentes. Resultando na redução do custo para implantação do sistema de utilização da energia solar, porém este recurso ainda não é utilizado nas classes mais pobres.

Portanto, porque não criar incentivos e propiciar o uso de energia limpa como a energia solar, para as classes de baixa renda? A criação de incentivos propiciaria a melhora da qualidade de vida das classes menos favorecidas e a redução de emissão do dióxido de carbono (CO₂). Além do que, é muito provável a diminuição de riscos de incêndios em comunidades pobres, pois é de conhecimento

que existem muitas ligações clandestinas, as quais desprezam as normas de instalações elétricas.

Com a utilização de energia solar em comunidades de baixa renda é possível que a quantidade de ligações clandestinas nas redes elétricas tende a diminuir. As instalações para a utilização de energia solar fotovoltaica precisam ser realizadas por empresas especializadas, e as mesmas devem seguir as normas para aprovação na concessionária. Com isso, o risco de incêndio e acidentes oriundo das instalações elétricas deficientes e irregulares tende a diminuir.

Os custos de energia contribuem consideravelmente para o ônus financeiro de muitas famílias de baixa renda. Segundo um estudo encomendado pela Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (Abrace), o custo com energia representa em média 23,1% do preço final da cesta básica. Já as despesas totais com energia, incluindo a energia contida nas mercadorias e serviços, se aproximam de 18% da renda das famílias (Megawhat., 2022).

As famílias de baixa renda, sem alguma ajuda, são incapazes de implementar medidas de eficiência energética, frente ao forte aumento no preço da energia.

A Portaria 643/2017 do Ministério das Cidades, apresenta as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia para empreendimentos do programa social do governo federal para habitações de baixa renda, com obtenção de maior eficiência energética, contribuindo para a economia de energia e redução de despesas dos beneficiários.

O Sol é uma fonte de energia alternativa confiável, fica disponível durante algumas horas do dia e é uma fonte inesgotável. Considerando a escala de tempo terrestre, a energia proveniente pode gerar eletricidade e calor. A eletricidade é gerada através da conversão fotovoltaica e o calor através do sistema de energia solar térmica (CRESESB, 2006).

A conversão fotovoltaica é a conversão direta da luz solar em eletricidade. Dispositivos fotovoltaicos são robustos, exigem pouca manutenção e uma de suas maiores vantagens é a flexibilidade de sua construção, permitindo a montagem de

sistemas capazes de gerar poucos watts até megawatts. Por isso, podem ser utilizados como fonte de energia para todos os componentes elétricos residenciais.

A energia solar térmica, consiste na utilização do calor emitido pelo sol para o aquecimento de superfícies, como por exemplo a água. Esse método, também é chamado de energia termossolar ou fototérmica, o qual utiliza estruturas como as placas solares também conhecidos como coletores solares, capazes de captar e absorver o calor do sol, a fim de realizar a captar e transferir o calor para a água.

Além de ser sustentável, essa é uma maneira altamente eficiente de garantir água aquecida sem o uso de eletricidade. Esses sistemas podem ser utilizados em indústrias e grandes polos de produção. Porém, suas aplicações não se limitam as industriais, funcionando também em residências para o aquecimento de piscinas, chuveiros e torneiras.

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a irradiação média anual brasileira varia entre 1.500 e 2.400 kWh/m²/ano, valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus. O potencial solar do Brasil é relativamente superior ao dos países mais desenvolvidos.

Devido às características de seu ciclo diário, limitado ao período diurno e com irradiação solar, a utilização de energia solar não substitui investimentos na ampliação e modernização do Sistema Interligado Nacional (SIN), mas pode ser vista como uma fonte economicamente viável para reduzir o pico de demanda diurno, ampliando a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira.

Apresentando maior facilidade de instalação, operação e manutenção, a energia fotovoltaica e térmica estão entre as alternativas para a democratização da geração de energia nas residências de baixa renda e podem ser adotadas nos empreendimentos de interesse social.

A autoprodução de energia elétrica através do sistema fotovoltaico, pode ser realizada onde o consumidor conecta à rede elétrica um micro ou minigerador fotovoltaico. O usuário recebe créditos na fatura de energia pelo excedente

produzido para ser utilizado em dia com menos incidência solar. (ABNT, NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto., 2019)

É possível financiar a instalação de geração fotovoltaica e outras fontes renováveis para consumidores de baixa renda, através do Programa de Energia Renovável Social (PERS), o qual foi instituído pela lei 14.300/22. Para este propósito, os recursos devem ter origem no Programa de Eficiência Energética (PEE). As legislações e normas relacionadas a este tema serão abordadas nos capítulos posteriores.

Entretanto, a energia solar fotovoltaica e térmica contribui significativamente com o desenvolvimento de cidades sustentáveis, pois reduz o consumo de combustíveis fósseis, diminuindo o impacto ambiental na geração de energia (SOUSA, 2023).

Dentre as vantagens da energia solar fotovoltaica e térmica destacam-se:

- a) *É uma energia limpa contribuindo com a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa;*
- b) Economia financeira para o usuário;
- c) Economia de energia contribuindo com o crescimento sustentável;
- d) Contribuição para diminuição de apagões;
- e) Geração de emprego e renda;
- f) Quanto ao sistema fotovoltaico, a eficiência do sistema é de no mínimo 80%, após 25 anos;
- g) *Quanto ao sistema térmico as placas não perdem eficiência e duram em média 20 anos;*
- h) A manutenção dos sistemas é relativamente baixa e fácil de ser realizada;
- i) No caso de condomínio de baixa renda, como no Vale da Mata, é possível a redução da inadimplência na taxa condominial, propiciada pela redução das contas de energia elétrica.

1.2 Objetivos do trabalho

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise do custo-benefício do uso da energia solar em edificações e capacitar o processo de tomada de decisão de projetos de construção. Com uma análise comparativa entre sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar, com base nos aspectos ambientais e financeiros. Serão apresentados três modelos de projetos a serem instalados em residências de baixa renda. Dessa forma, será possível entender e tomar decisão de qual tipo é o mais adequado para comunidades com interesse social, bem como, os benefícios, através do uso de energia renovável conservando os recursos naturais, quanto gerar economia e conforto para as famílias de baixa renda. Além de contribuir com o incentivo do uso democrático de energia solar e fomentar a geração de emprego e renda.

1.2.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivo específico, analisar o custo-benefício de modelos de projetos propostos de energia solar e realizar uma análise comparativa a partir dos resultados obtidos entre eles. Dessa forma, entender qual é o mais vantajoso para a comunidade de baixa renda, tanto sobre o aspecto financeiro quanto ecológico.

Será utilizado como modelo a característica construtiva de uma residência unifamiliar, pertencente ao condomínio Vale da Mata situado em Xerém, Duque de Caxias – RJ, o qual foi promovido pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

Serão simulados três modelos de projetos propostos com utilização de energia solar:

a) o primeiro com energia solar fotovoltaica, considerando um sistema em que é gerada toda energia consumida pela residência, isto é, com balanço energético zero;

b) o segundo modelo proposto utilizará o sistema fotovoltaico com uma carga predefinida de 680W;

c) com relação ao terceiro, será adotado o sistema de aquecimento solar (SAS) para aquecimento da água de banho.

A simulação dos modelos, tem como objetivo adquirir os resultados onde será possível realizar uma análise de cada um, bem como criar parâmetros para comparar os três projetos propostos.

Com a comparação entre os três modelos de projetos propostos, será possível avaliar o custo-benefício entre eles, a partir de uma análise financeira e ecológica onde serão alinhados os parâmetros obtidos nos resultados. Como o levantamento do custo de implantação, a avaliação do payback (o tempo necessário para recuperar o custo de um investimento), tempo de retorno ao longo da vida útil de cada projeto e a redução das emissões de CO₂.

Assim, para o caso estudado o trabalho resultará em conhecer se é vantajoso para este tipo de condomínio utilizar os seguintes sistemas: tradicional (quando o sistema gera toda energia consumida pela residência); com carga pré-definida (onde pode ser considerado em muitos casos um projeto padrão sem a necessidade de elaborar projeto específico para cada caso particular); e por fim, a utilização do sistema de aquecimento solar - SAS; ou até mesmo, dependendo do resultado, a possibilidade de utilizar um sistema híbrido.

Deseja-se também que o presente estudo possa ajudar a democratizar e difundir a utilização da energia solar, fomentar e incentivar o financiamento para implementação desses sistemas nas residências, bem como, inclusão nos financiamentos de empreendimentos imobiliários voltados para as classes de menor renda.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por nove capítulos. Sua organização se dará, conforme apresentado a seguir:

O capítulo 1 consiste em uma introdução com base nas conferências internacionais abordando como originou-se a preocupação humana com o tema desenvolvimento sustentável. A relevância do tema abordado nesta dissertação e o objetivo também são abordados neste capítulo.

O capítulo 2 apresenta um resumo do cenário energético atual. São descritos os cenários de geração de energia elétrica mundial e nacional.

O capítulo 3 aponta uma correlação entre o consumo de energia com o IDH e a necessidade de atendimento as classes mais pobres, tendo em vista a escassez dos recursos naturais e o aumento da demanda energética, alertando sobre a importância para utilização de energia solar.

No capítulo 4, é apresentada uma breve bibliografia sobre o uso de energias renováveis em edificações, contendo um subcapítulo para abordar de forma mais específica o uso de energia solar em projetos de construção.

Quanto ao capítulo 5, são apresentados os conceitos de energia sustentável, renovável e limpa. E ainda, exemplos dessas energias com suas respectivas vantagens e desvantagens.

No Capítulo 6, é relatada a legislação brasileira quanto ao uso de energias no território nacional.

O Capítulo 7 realiza uma abordagem sobre os recursos computacionais que possuem correlação com a metodologia e o estudo de caso do trabalho. Com um subcapítulo para tratar, especificamente, da ferramenta utilizada neste trabalho, o software PVsol.

O Capítulo 8 apresenta a metodologia do trabalho.

O Capítulo 9 é dedicado ao estudo de caso, onde serão elaborados três modelos de projeto com utilização de energia solar, em uma residência tipo, situado em um condomínio de interesse social do Programa Minha Casa Minha Vida, localizado em Xerém, 4ª distrito da cidade de Duque de Caxias -RJ.

O primeiro modelo consiste em projetar um sistema aplicando o método tradicional de energia fotovoltaica com balanço energético zero conectado à rede da concessionária de energia.

O segundo modelo consiste em utilizar energia fotovoltaica conectado à rede da concessionária de energia, no entanto, diferentemente do modelo 1 não tem o objetivo de atender toda a demanda da residência, sendo considerada uma carga pré-definida.

O terceiro modelo de projeto é com utilização do sistema de aquecimento solar –(SAS), onde será utilizado um sistema de aquecimento de água de banho com a finalidade de redução do consumo de energia elétrica.

O Capítulo 10 apresenta os resultados e discussões, com detalhamento dos modelos dos sistemas propostos, além do cálculo da redução de emissão de CO₂ e do payback.

Por fim, o capítulo 11 relata as conclusões gerais da dissertação, levando em conta os principais resultados e fazendo comparações entre os modelos.

2. CENÁRIO ENERGÉTICO

Neste capítulo serão apresentados os temas sobre o cenário energético mundial e nacional; a abordagem sobre as fontes energéticas historicamente utilizadas no mundo e no Brasil; a situação atual e a previsão futura em paralelo com a preocupação sobre as emissões dos gases de efeito estufa.

2.1 Cenário energético mundial

Historicamente, o desenvolvimento das atividades econômicas em todo o mundo foi pautado na utilização de combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte dos problemas ambientais encontrados na atualidade, sobretudo, os relativos ao aquecimento global. Ainda hoje, a maior parte da economia mundial é dependente da exploração de energias não renováveis, especialmente os combustíveis fósseis e, segundo o relatório REN21 – *Renewables Global Status Report* (2017) eles representam mais de 75% do consumo mundial. Por outro lado, este mesmo relatório demonstra uma transição no padrão de produção do sistema energético mundial, com significativa adição de energias renováveis na capacidade instalada global.

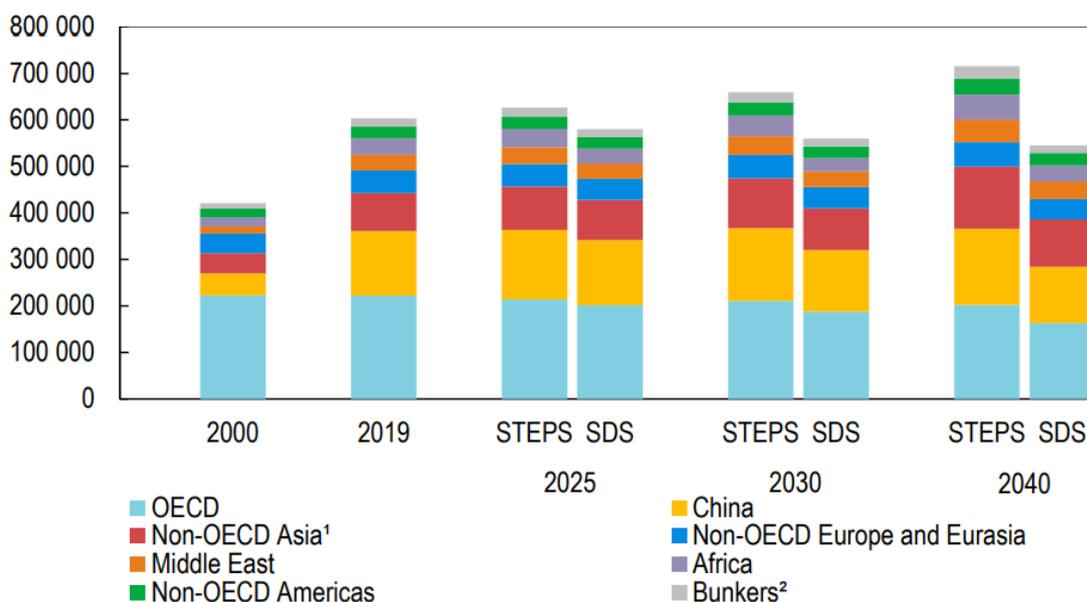
O documento “*International Energy Outlook (IEO)*”, elaborado pela *Energy International Administration* (EIA, 2021), estima que a geração de energia elétrica no mundo aumentará 75% entre 2000 e 2040 no “cenário de políticas declaradas (STEPS)”. No entanto, atualmente com a crise econômica mundial, a demanda de energia elétrica no setor industrial sofre redução devido a diminuição dos produtos manufaturados. A variação positiva da renda nos países emergentes torna-os responsáveis pelo maior crescimento da demanda por energia em todas as classes. Já os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) têm um crescimento de demanda mais lento, por terem padrões de consumo mais regulares e mercados de energia elétrica bem estabelecidos. Em contrapartida, os países que não são membros da OCDE, têm grande quantidade de pessoas ainda sem acesso à energia elétrica. Um exemplo, é a África subsaariana, onde mais de 75% da população continua sem acesso à eletricidade.

Na figura 3, são apresentados dois cenários de previsão de abastecimento de energia por região, são eles:

STEPS: Cenário de Políticas Declaradas engloba as políticas energéticas existentes, bem como uma avaliação dos resultados suscetíveis da implementação das intenções políticas atuais.

SDS: Cenário de Desenvolvimento Sustentável apresenta uma abordagem integrada para alcançar os objetivos acordados, internacionalmente, em matéria de alterações climáticas, qualidade do ar e acesso universal a energia moderna.

Figura 3 - Perspectiva de abastecimento total de energia por região e cenário



Fonte: Key World Energy Statistics 2021 <<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>>

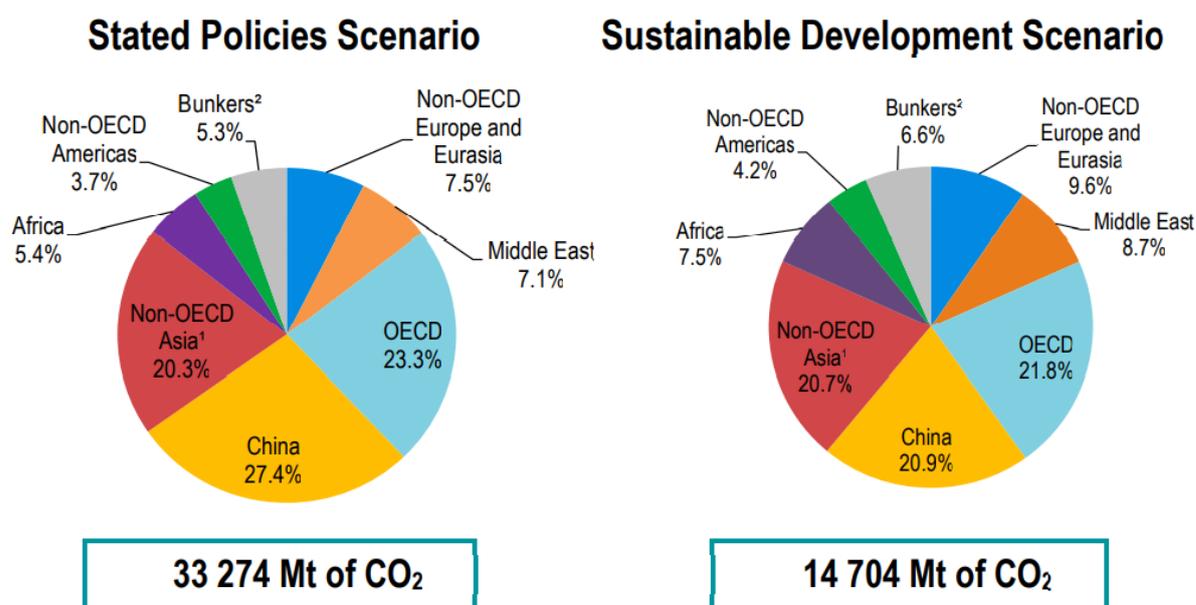
As notas esclarecem o seguinte:

Nota 1 (Non-OECD Asia), são os países da Ásia não pertencentes à OCDE, excluindo a China, pois a mesma está representada pela cor amarela.

Nota 2 (Bunkers), inclui Aviação internacional e Marinha internacional.

Na figura 4, é apresentado a previsão do percentual de emissões de CO₂ por região e cenário em 2040. Considerando o cenário com a política mundial declarada e o cenário com desenvolvimento sustentável.

Figura 4 - Previsão do percentual de emissões de CO₂ por região e cenário, 2040



Fonte: Key World Energy Statistics 2021 <<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>>

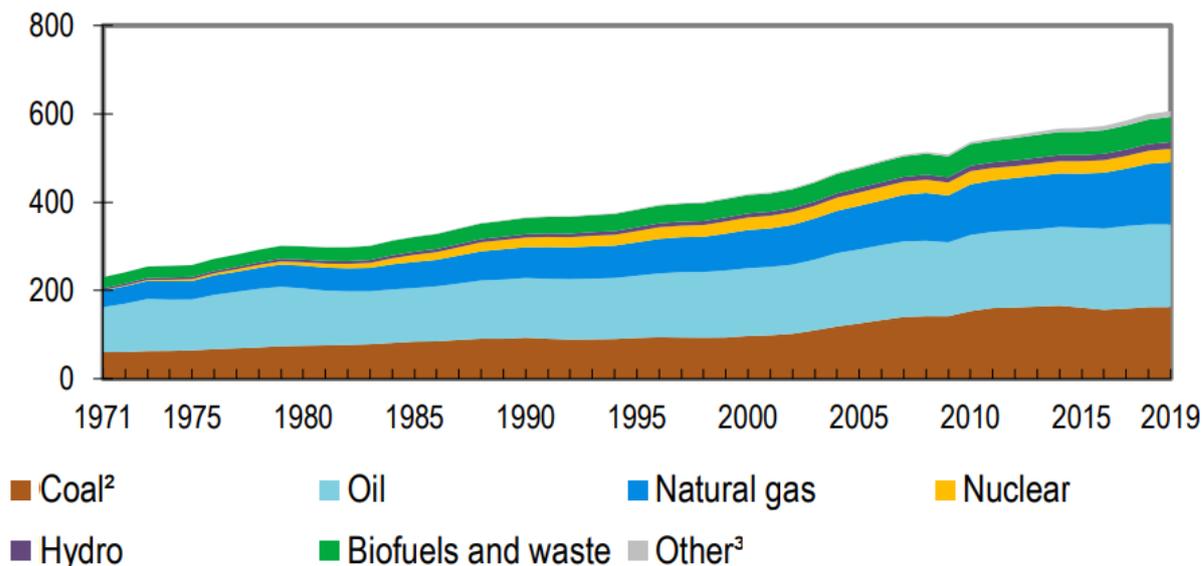
As emissões de CO₂ são provenientes apenas da combustão de combustíveis fósseis.

A energia hidrelétrica é a principal fonte geradora de energia elétrica para mais de 30 países e representa por volta de 20% de toda eletricidade gerada no mundo. No entanto, os países desenvolvidos praticamente já exploraram todos os seus recursos hidrelétricos, com exceção do Canadá e da Turquia. Portanto, são poucos os projetos de hidrelétricas para o futuro, ou seja, ocorrerá o crescimento de outras fontes renováveis, principalmente, a solar e a eólica. Esses países, sobretudo os europeus, possuem políticas governamentais que incentivam a exploração de energias renováveis. Com relação às fontes de energias não renováveis, as com maior destaque na matriz energética mundial são: o petróleo, o gás natural, o carvão e a energia nuclear. Mesmo com a diminuição da utilização do petróleo, o mesmo deverá permanecer nos próximos anos como a principal fonte de energia no mundo. Já o gás natural é o combustível fóssil que mais cresce na participação da matriz

energética mundial, tanto em termos da oferta, quanto de consumo. Isso se deve a substituição de outros combustíveis fósseis por gás natural. No caso do carvão, a participação na oferta de energia mundial cresceu acentuadamente entre os anos de 1973 e 2009. Esse fato ocorreu devido a necessidade energética da China, que teve sua matriz energética baseada no carvão. Até mesmo, por possuir grandes reservas desse insumo no país. Observa-se que as reservas de petróleo, o consumo e a produção são desiguais no cenário mundial (International Energy Agency , 2021).

Na figura 5, é apresentado o fornecimento total de energia mundial por fonte de 1971 à 2019.

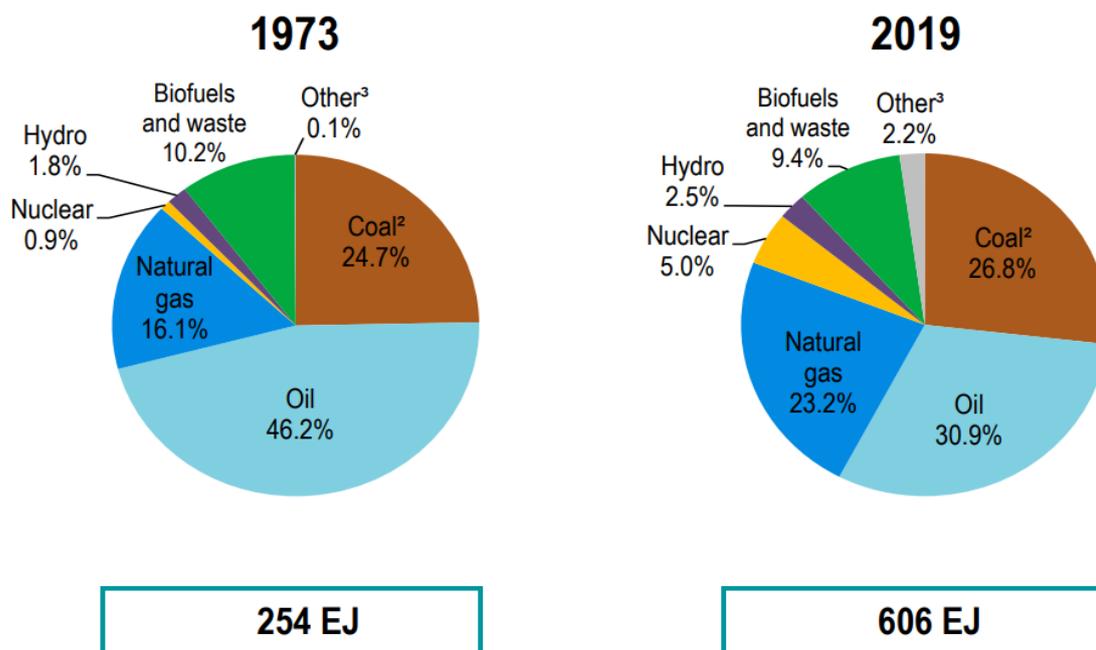
Figura 5 - Fornecimento total de energia mundial por fonte, 1971-2019



Fonte: Key World Energy Statistics 2021 <<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>>

O gráfico da figura 6, apresenta o percentual do fornecimento total de energia a nível mundial por fonte, onde é possível comparar o ano de 1973 com 2019.

Figura 6 - Percentagem do fornecimento total de energia a nível mundial por fonte, 1973 e 2019



Fonte: Key World Energy Statistics 2021 <<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>>

O gráfico revela uma mudança pouco significativa no cenário energético global ao longo das últimas décadas, considerando as energias derivadas de combustíveis fósseis.

Em 1973, a principal fonte de energia do mundo era o petróleo, que representava cerca de 46,2% do fornecimento total de energia. Em seguida, vinham o carvão, com 24,7%, e o gás natural com 16,1%. A energia nuclear ainda era uma fonte incipiente, responsável por apenas 1% da produção mundial de energia.

Em 2019, o quadro teve pouca evolução. O petróleo ainda era a maior fonte de energia, mas sua participação havia caído para cerca de 30,9%. O carvão infelizmente teve um aumento, respondendo por 26,8% da produção global de energia e o gás natural também sofreu um aumento significativo da sua fatia para 23,2%.

O perfil energético mundial reflete a preocupação crescente com as emissões de gases de efeito estufa e o impacto ambiental das fontes de energia tradicionais. A busca por fontes renováveis e mais limpas vem se intensificando nos últimos anos, impulsionada tanto por razões ambientais quanto econômicas.

As energias renováveis são assim definidas por apresentarem ciclos contínuos, que se repetirão em espaços de tempo relativamente curtos, ao contrário dos combustíveis fósseis, utilizados na geração convencional, que apresentam um ciclo de formação de milhões de anos e estão presentes na natureza em quantidade limitada.

2.2 Cenário energético Brasileiro

O cenário energético brasileiro é complexo e diversificado, composto por diversas fontes de energia, entre elas as energias renováveis, que apresentam um grande potencial de crescimento e são consideradas fundamentais para o desenvolvimento sustentável do país.

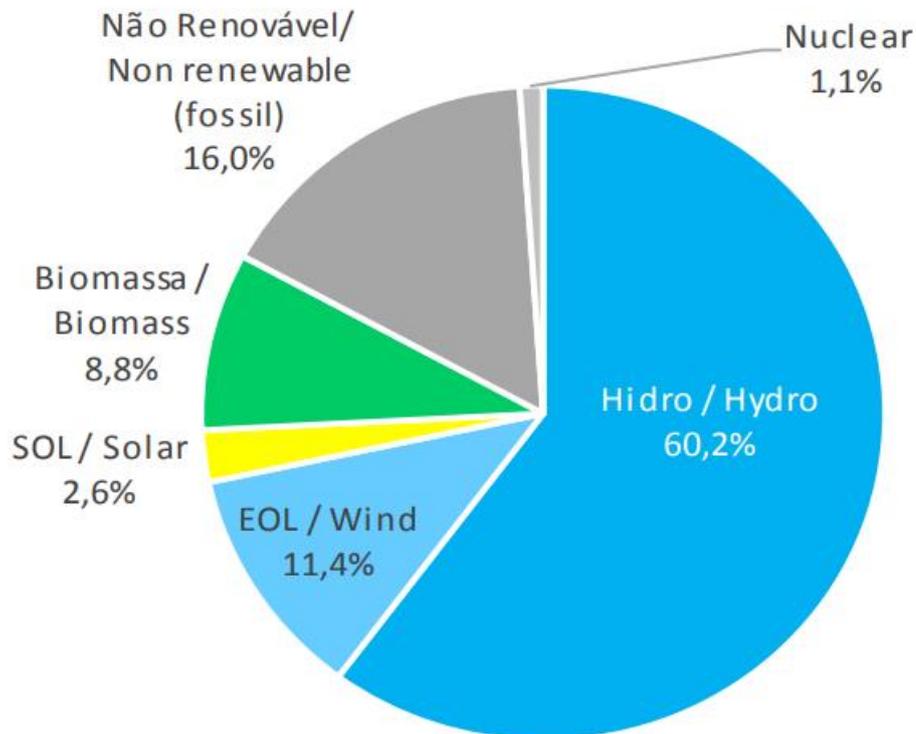
No passado, o Brasil dependia principalmente da energia hidrelétrica, que é uma fonte renovável e limpa (desconsiderando os impactos da instalação de uma usina), mas que apresenta algumas limitações, como a dependência do regime de chuvas e a necessidade de grandes reservatórios para armazenar água. Com o tempo, outras fontes de energia foram sendo incorporadas à matriz energética brasileira, como a energia térmica, produzida a partir da queima de combustíveis fósseis, e a energia nuclear.

No entanto, nos últimos anos, houve um movimento crescente em direção às energias renováveis, que são consideradas mais limpas e sustentáveis do que as fontes de energia tradicionais. O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de energia renovável, especialmente a partir das fontes solar, eólica e de biomassa.

De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a capacidade instalada de energia eólica no Brasil atingiu 72,3 TWh em 2021, o que representa uma participação de 11,4 % na matriz energética brasileira. Já a

capacidade instalada de energia solar ultrapassou 8,5 GW, com uma participação de 2,6 % na matriz energética. Conforme o gráfico abaixo, é apresentado a participação das fontes por capacidade instalada (EPE, 2022).

Figura 7 - Participação das fontes por capacidade instalada



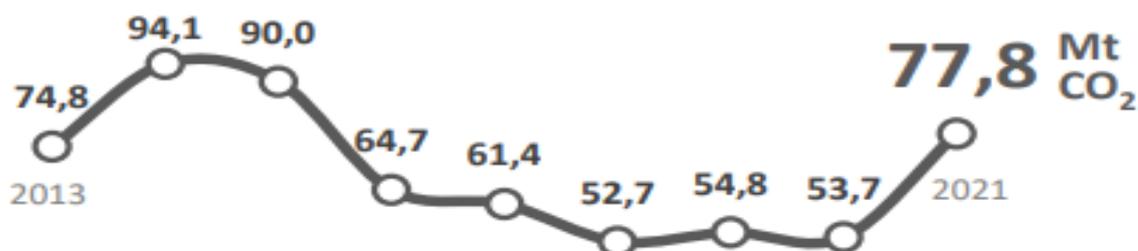
Fonte: EPE 2022 < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>

No entanto, apesar de possuir um grande potencial para a produção de energia renovável, o Brasil ainda enfrenta desafios para a transição energética. O país é um dos maiores produtores de combustíveis fósseis, como petróleo e gás natural, o que coloca a possibilidade de atingir as metas de redução de emissões de CO₂ estabelecidas pelo Acordo de Paris. (EPE, 2022)

Segundo o anuário estatístico de energia elétrica de 2022, elaborado pela EPE, no Brasil em 2021, as emissões dos gases de efeito estufa provenientes da geração de energia elétrica totalizaram 77,8 milhões de toneladas (Mt) de CO₂, cerca de 45% superior ao ano anterior, o que demonstra ser um dado preocupante com

relação ao compromisso do Brasil em diminuir as emissões dos GEE (EPE, 2022), conforme figura 8.

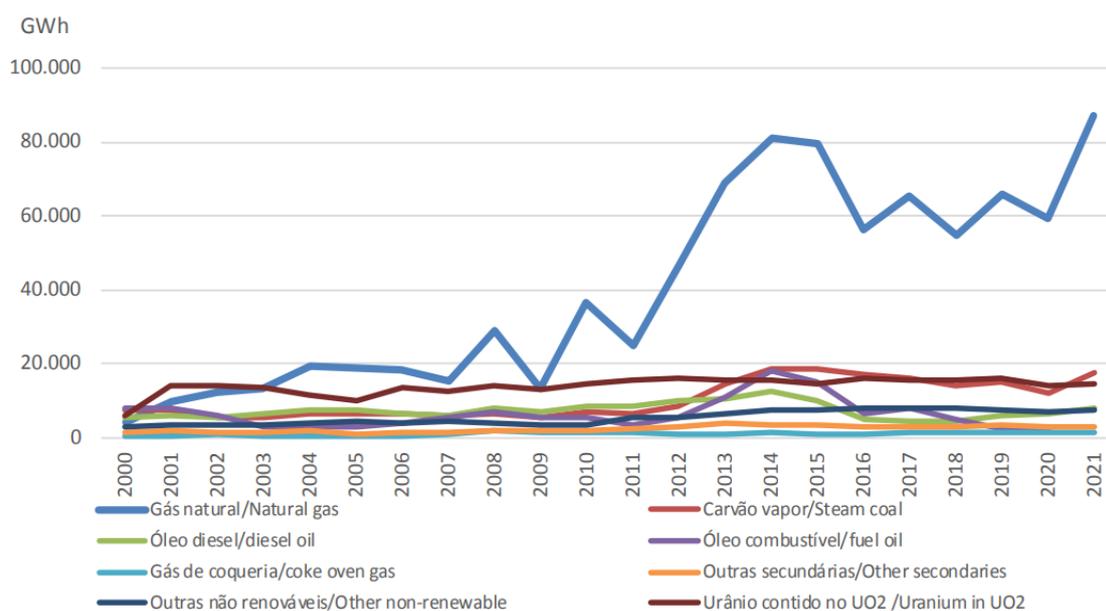
Figura 8 - Emissão dos GEE provenientes da geração elétrica no Brasil



Fonte: EPE 2022 < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>>

Percebe-se que este salto das emissões referente ao período de 2020 para 2021 pode ser reflexo da geração de energia elétrica proveniente do gás natural que vem aumentando no Brasil desde o ano 2000, onde é possível observar no gráfico da figura 9, referentes a geração de energia elétrica de fontes não renováveis, um salto no mesmo período de 2020 – 2021.

Figura 9 - Geração de energia elétrica: fontes não renováveis



Fonte: EPE 2022 < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>

Para atingir suas metas de redução de emissões de CO₂, o Brasil precisa investir em fontes de energias renováveis e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis. Isso pode ser feito por meio de políticas públicas que incentivem a produção e o consumo de energia limpa e renovável, como o Programa Nacional de Energia Limpa (PNEL), lançado em 2021 pelo governo brasileiro.

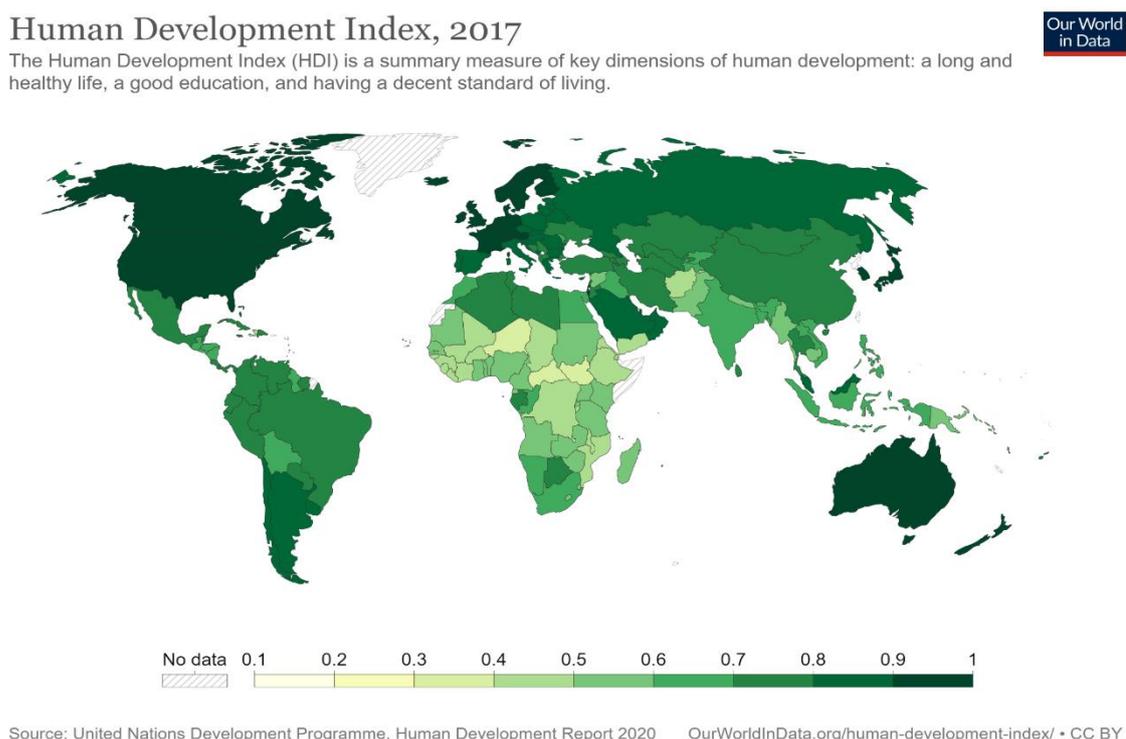
O Brasil precisa adotar medidas para aumentar a participação das energias renováveis na matriz energética, como a energia eólica e solar, as quais possuem um grande potencial no país.

3. IDH E CONSUMO DE ENERGIA

O índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é o índice que mede as dimensões chaves para o desenvolvimento humano. As três dimensões chave são: (1) Uma vida longa e saudável - medida da expectativa de vida; (2) Acesso à educação - medida da expectativa de anos de escolaridade - idade inicial e média dos anos de escolaridade da população adulta; (3) Parâmetros de vida através da renda - medido pela renda per capita ajustada pelo nível de preços do país.

O IDH foi criado para enfatizar que pessoas e suas capacidades deveriam ser o principal critério para balizar o desenvolvimento de um país, e não o crescimento econômico somente. Na figura 10, observa-se o IDH mundial.

Figura 10 - Índice de Desenvolvimento Humano no mundo



Fonte: Our World In Data based on BP Statistical Review of World Energy

Muitos autores já investigaram a relação entre o grau de desenvolvimento de um país e seu grau de consumo energético. Grande parte dos estudos encontraram correlação entre consumo de energia e o padrão de vida com nível

baixo de consumo de energia nos países subdesenvolvidos, bem como níveis mais altos de consumo nos países desenvolvidos (Nova, 1999), (Carvalho, 2019).

O Brasil foi classificado em 2016 como um país de alto desenvolvimento humano, ocupando a 79ª posição, com um IDH de 0,754. O país em 1990, tinha um IDH de 0,611, em 2002 esse valor já tinha chegado a 0,699, passando por um período de queda e estagnação até 2006, quando começou a se recuperar e chegar ao patamar atual em 2013, seguido por um novo período de estagnação.

Steinberger (2016) apresentou uma comparação entre o IDH e o consumo de energia per capita utilizando dados do ano de 2012. Nesse comparativo, o Brasil se encontrava com um IDH próximo a 0,74 e um consumo de energia per capita de 63 giga joules (GJ). A autora afirma que nesse ano um alto desenvolvimento humano é atingido, passando de 50 GJ per capita, o que equivale a um IDH acima de 0,7 (STEINBERGER, 2016).

Pode-se observar nos dados que o consumo de energia correlaciona com o IDH, havendo uma saturação em que um aumento de energia não leva a incrementos significativos do IDH, e também que para um mesmo consumo de energia há grande variação no IDH, provavelmente, influenciado por fatores culturais de cada país.

O objetivo deste capítulo é apresentar a divisão de países com os maiores e menores IDHs do mundo e relacionar esses dados com o consumo de energia per capita desses mesmos países. Desse modo, pode-se analisar como esses dados estão ligados entre si. Os dados foram apresentados pelo Relatório de Desenvolvimento Humano elaborado pelo Programa de Desenvolvimento das nações unidas. *UNDP, Human Development Report (2019-2020)*.

Considerando os cinco países de maior IDH e os cinco países com o menor IDH temos os dados conforme as tabelas 1 e 2 e a figura 11.

Tabela 1 - Países com maior IDH

País	IDH
Norway	0,95
Switzerland	0,94
Australia	0,94
Ireland	0,94
Germany	0,94

Fonte: United Nations Development Programme, Human Development Report 2020
OurWorldInData.org/human-development-index

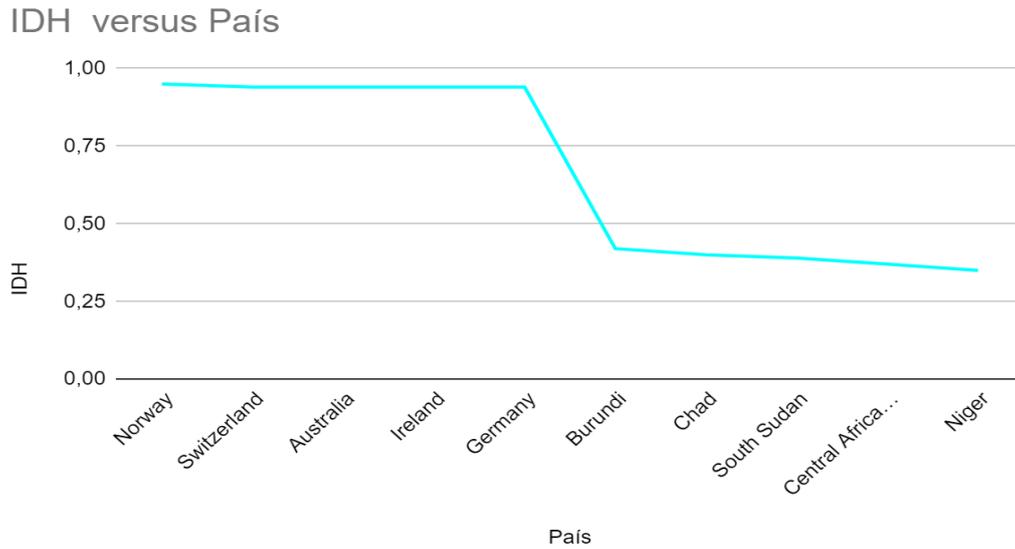
Tabela 2 - Países com menor IDH

País	IDH
Burundi	0.42
Chad	0.40
South Sudan	0.39
Central African Republic	0.37
Niger	0.35

Fonte: United Nations Development Programme, Human Development Report 2020
OurWorldInData.org/human-development-index

Uma observação importante é que os cinco países mais pobres estão situados no continente africano, e dos cinco países mais ricos, quatro estão localizados no continente Europeu e um localizado no continente da Oceania. Observa-se uma correlação de consumo de energia e IDH não só entre os países, mas também entre os continentes.

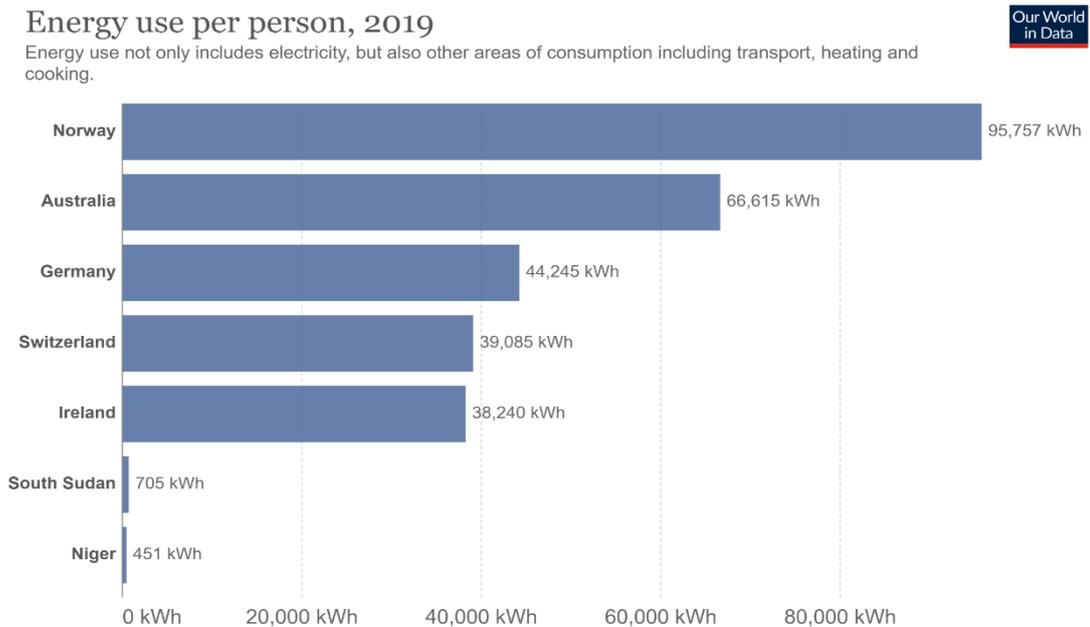
Figura 11 - IDH dos países mais ricos e mais pobres



Fonte: United Nations Development Programme, Human Development Report 2020
 OurWorldInData.org/human-development-index

Considerando o gasto de energia per capita desses mesmos países no ano de 2019, adquirimos os valores em kWh conforme as figuras 12 e 13:

Figura 12 - Consumo de energia dos países mais ricos e mais pobres

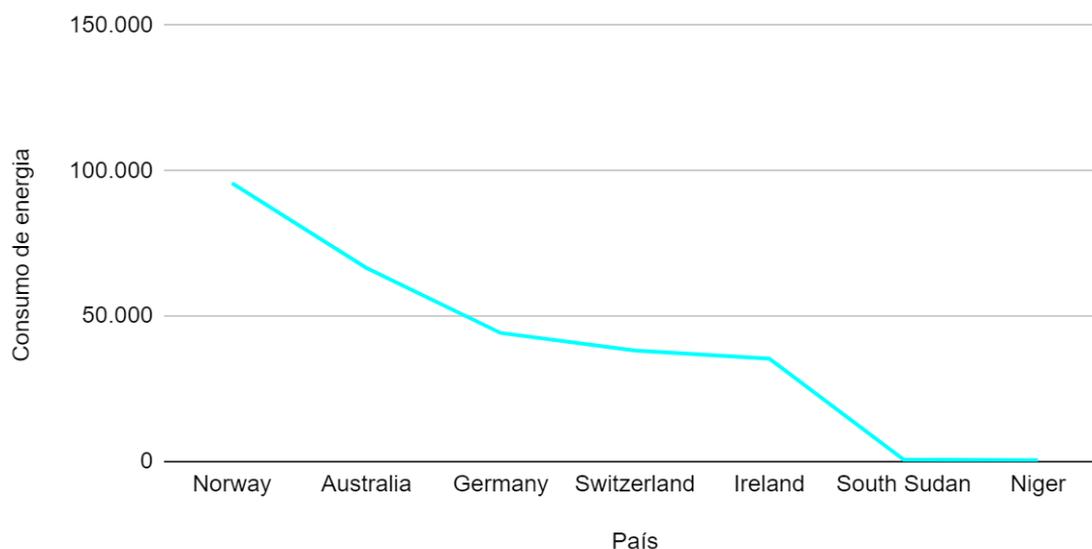


Source: Our World in Data based on BP & Shift Data Portal
 OurWorldInData.org/energy • CC BY
 Note: Energy refers to primary energy – the energy input before the transformation to forms of energy for end-use (such as electricity or petrol for transport).

Fonte: Our World In Data based on BP Statistical Review of World Energy

Figura 13 - Países com maior e menor consumo de energia

Gráfico dos países com maior e menor consumo de energia (2019)



Fonte: Our World In Data based on BP Statistical Review of World Energy

Através desses gráficos é possível analisar a relação direta do Índice de Desenvolvimento Humano com a taxa de consumo de energia dos países. O país com o maior IDH do mundo é a Noruega com 0,95. Quanto mais próximo de 1, maior o IDH daquele país. Em contrapartida, o menor IDH se localiza em Níger com apenas 0,35. E com relação ao consumo de energia, a Noruega consome 125,24 Twh enquanto Níger consome apenas 1,4 Twh.

Considerando esses dados de comparação entre o consumo de energia e o IDH, percebe-se que a relação do IDH não é somente atrelado ao consumo, mas é possível correlacionar também ao acesso à energia. Um entendimento primário dessa correlação é que com o aumento do poder aquisitivo as pessoas passam a consumir mais energia, isso somente se dá para aqueles que já tem algum acesso a mesma. No entanto, a questão é: se fomentarmos o acesso à energia de forma mais econômica e acessível, isso não interferiria na qualidade de vida e consequentemente ao IDH?

Os resultados empíricos suportam a hipótese de neutralidade no curto prazo, no que diz respeito à energia total ou consumo de eletricidade, implicando uma ausência de causalidade em qualquer direção. A curto prazo, o consumo de energia, assim como o de eletricidade, tem um efeito neutro no IDH. (Ouedraogo, 2013)

A longo prazo, os resultados fornecem um claro suporte de uma relação de cointegração entre consumo de energia e o IDH, bem como, uma relação positiva entre a eletricidade, consumo e IDH.

É importante entender que se o crescimento econômico aumenta o consumo de energia ou se o consumo de energia causa crescimento econômico é porque as escolhas apropriadas de políticas ambientais e energéticas dependem da natureza da relação causal entre o consumo de energia e o crescimento econômico.

De fato, o crescimento econômico é um fator importante na redução da pobreza e na geração dos recursos necessários para o desenvolvimento humano e a proteção ambiental, mas não garante por si só o desenvolvimento humano. Pois não leva em conta importantes fatores de bem-estar social que não estão diretamente ligados à produção econômica, como expectativa de vida, saúde e educação. Assim, a política energética baseada nos resultados dos estudos empíricos sobre o consumo de energia e o PIB podem falhar na promoção da prosperidade humana e do desenvolvimento econômico. (Ouedraogo, 2013)

Ao analisar o mapa noturno da superfície terrestre é possível observar que a taxa de luminosidade entre o país com maior IDH é significativamente maior que os países de menor IDH, conforme as figuras abaixo:

Figura 14 - Mapa noturno da Noruega



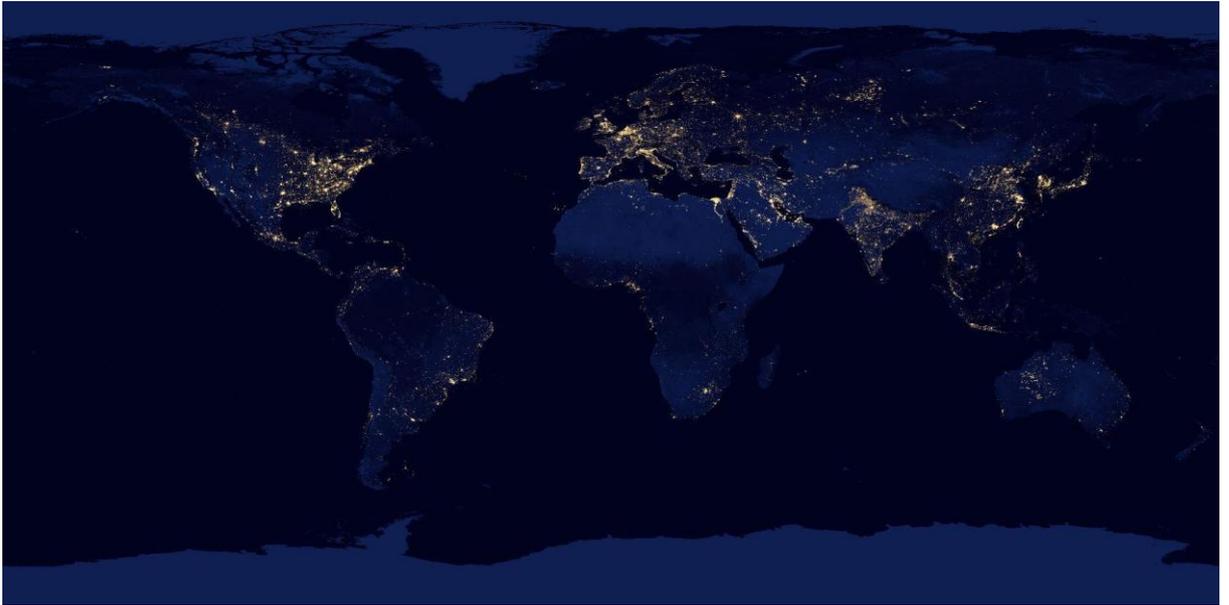
onte: Google Earth

Figura 15 - Mapa noturno do Niger



onte: Google Earth

Figura 16 - Mapa noturno do mundo



Fonte: Earth Observatory from NASA.

Available:<https://earthobservatory.nasa.gov/features/NightLights/page3.php>

4. USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS EM EDIFICAÇÕES

Ao longo de todo o seu ciclo de vida, os edifícios consomem cerca de 40% dos recursos naturais, produzem quase 40% do dióxido de carbono (CO₂) predominante e são responsáveis por 40% da geração geral de resíduos (Najjar, 2019). O *International Energy Outlook* (IEO) no cenário de políticas declaradas, previu que a geração de eletricidade no mundo aumentará entre 2000 e 2040 em (75%), enquanto a Agência Internacional de Energia (IEA) anunciou que a demanda global de energia tende a aumentar em (12%) entre 2019 e 2030 (EIA, 2021). Portanto, a conscientização sobre a melhoria da eficiência energética em edifícios está crescendo em todo o mundo (Najjar, 2019).

A queima de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, emite CO₂, um dos principais gases de efeito estufa (Alola, 2023). Nesse contexto, a energia limpa ganha destaque com o crescimento do setor de energias renováveis. Este tipo de energia é produzido a partir de fontes renováveis e é considerada a melhor alternativa para substituir a energia derivada de combustíveis fósseis (W. Ahmed, 2023), (Najjar, 2017). Espera-se que gere centenas de bilhões em atividades econômicas usando o desenvolvimento responsável, incluindo energia solar, eólica, hídrica, geotérmica, bioenergética e nuclear (Y. Li, 2023).

Por sua vez, a demanda por energia solar para gerar energia renovável aumentou rapidamente devido à facilidade da luz solar (Khare, 2023). Este sistema poderia reduzir a degradação e poluição ambiental, aumentar a eficiência energética, bem como criar novas oportunidades de emprego (Zheng, 2023). Árvore solar e sistemas de energia solar flutuante são dois métodos modernos, usados para aplicar e instalar sistemas solares para reduzir o uso de áreas de terra específicas (Khare, 2023).

No entanto, é importante ressaltar que sistemas de energia renovável, como sistemas solares fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar, requerem planejamento e análise cuidadosos para otimizar seu desempenho. Os recursos computacionais podem desempenhar um papel fundamental nesse sentido, permitindo uma simulação, modelagem, dimensionamento e projeto mais rápidos (Buonomano, 2018). Aproveitando essas ferramentas, engenheiros e designers

podem reduzir o tempo e o esforço necessários para desenvolver soluções eficazes de energia renovável (I. Overland, 2019).

No contexto brasileiro, muitos aspectos devem ser aprimorados em relação à matriz energética. Embora o Brasil tenha uma matriz energética com 82% de fontes renováveis (considerando hidráulica em 64%, eólica em 9%, biomassa em 8%, seguida de energia solar em 1%), seria necessário expandir a participação de energias renováveis para além da hídrica energia, principalmente pelo aumento do percentual de fontes solar, eólica e biomassa (EPE., 2020). Isso levaria a um sistema de energia mais sustentável e ecologicamente responsável para o país.

Nesse âmbito, a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, divulgou diversas normas técnicas referentes à eficiência energética e sistemas de energia renovável em projetos de construção. Por exemplo, a norma brasileira ABNT NBR 15569 estabelece os requisitos mínimos para projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas de aquecimento solar em edificações. Ele define critérios para dimensionamento do sistema, escolha de componentes, métodos de instalação e teste de desempenho (ABNT, 2021).

Adicionalmente, a ABNT NBR 15575 é outra norma brasileira que avalia os critérios de desempenho térmico para edificações residenciais. Inclui requisitos para a utilização de sistemas solares de aquecimento de água, entre outros aspectos relacionados com a eficiência energética dos edifícios (ABNT, 2013). Além disso, a ABNT NBR 16690 trata dos requisitos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Ela estabelece diretrizes para instalação, projeto, operação e manutenção desses sistemas. Aborda também a segurança elétrica e a conexão à rede elétrica (ABNT, 2019).

Apesar desses esforços, a construção civil brasileira ainda tem espaço para melhorar. Este setor carece de uma discussão mais abrangente sobre o uso da energia solar tanto na pesquisa quanto na prática. Para elaborar mais sobre o tema do uso de energia solar na indústria de construção brasileira, é importante considerar o estado atual da indústria e os potenciais benefícios da implementação de sistemas de energia solar. Uma área-chave que requer maior exploração é o uso de energia solar em estudos de caso reais, com foco na análise de custo-benefício e

processos de tomada de decisão relacionados à eficiência energética e sustentabilidade.

4.1 O uso da energia solar em projetos de construção.

A energia solar tem sido aplicada em projetos de construção de forma passiva ou ativa com base nas classificações climáticas, nos requisitos do ambiente construído circundante e nas demandas de energia dos edifícios para aquecimento, resfriamento e eletricidade (Hojjatian e col, 2021). Desenvolvimentos recentes em eficiência energética em edifícios, testemunharam uma transição de paradigma para avaliar a adoção e aplicação de inteligência artificial (IA), para aumentar a eficiência energética e melhorar o conforto térmico em projetos de construção (Bosu e col, 2023). Os novos estudos incluíram os métodos de IA de controle de HVAC (Sha e col, 2019), sistemas de detecção de ocupação de edifícios (Sun e col, 2020), previsão do uso de energia em edifícios (Wang e Srinivasan, 2017) e o desenvolvimento de técnicas de IA relacionadas ao rastreamento de ponto de potência máxima digital inteligente para sistemas fotovoltaicos (Mellit e Kalogirou, 2014).

Wang (Wang e Col, 2020) comparou os sistemas de aquecimento passivo e ativo da China para otimizar o custo e o consumo de energia em edifícios com base na ventilação natural, orientação do edifício e isolamento térmico dos componentes da construção. Da mesma forma, Fereidani et al. (N. Azimi Fereidani, 2021) revisou as contribuições científicas para avaliar os efeitos energéticos dos sistemas passivos e ativos de aquecimento e resfriamento em diferentes classificações climáticas no Oriente Médio. Os autores ilustraram que, apesar do atraso na adoção de sistemas de energia limpa e soluções energeticamente eficientes nos países do Oriente Médio, há um alto potencial para usar design passivo, aplicar sistemas de ar condicionado eficientes e integrar energia renovável em edifícios localizados na região.

Elnagar e Köhler (Elnagar e Köhler, 2020) avaliaram o papel de abordagens passivas para reduzir a demanda de energia em Edifícios Multifamiliares de Energia Quase Zero (nZEB) em diversas cidades europeias em diferentes condições climáticas (ou seja, Stuttgart na Alemanha, Kiruna na Suécia e Palermo

na Itália). Os autores destacaram que alcançar o objetivo de seu estudo visa o melhor trade-off e otimização das abordagens passivas mais promissoras usadas em edifícios. Abdou et al. (Abdou e col, 2021) realizou um estudo multiobjetivo para otimizar as medidas de eficiência energética passiva para nZEB em Marrocos. Os autores apresentaram que os sistemas de energia renovável podem cobrir até 45% da demanda de energia do edifício em todas as classificações climáticas marroquinas. No entanto, espera-se que as áreas limitadas para geração eficiente de energia local de coletores fotovoltaicos e solares térmicos representem um desafio importante na maioria das cidades marroquinas. A mesma questão foi confirmada por Pérez et al. (Pérez e col., 2022) em seu estudo investigando a aplicação de sistemas de energia solar em Cuba.

5. CONCEITOS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DE ENERGIAS RENOVÁVEL, SUSTENTÁVEL E LIMPA

Neste capítulo são abordados os conceitos de energias renováveis, sustentáveis e limpas. É relevante o esclarecimento desse assunto, pois apesar de ser um tema bastante comentado popularmente, não é comum a diferenciação entre estas definições.

Serão explicitadas algumas dessas energias, bem como suas vantagens e desvantagens.

5.1 Energias renováveis

A energia renovável é a energia de fontes que são naturalmente reabastecidas a um nível maior do que são consumidas. Dessa forma, considera-se que as fontes de energias renováveis são recursos inesgotáveis considerando a escala de tempo terrestre. As energias renováveis vêm sendo impulsionadas visto que se compreende a necessidade de promover ações em prol da mitigação dos impactos ambientais. (EPE, Fontes de Energia, 2023) disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acessado em 09 de janeiro de 2023.

5.2 Energias sustentáveis

A energia sustentável vai além em termos de eficiência energética do que a energia renovável. A otimização do fornecimento de energia e o uso que leva a um desperdício mínimo, leva a uma maior eficiência energética (Beckett, 2012).

A base de energia renovável e a eficiência energética são os dois pilares da energia sustentável. Sistemas, tecnologias ou recursos de energia sustentável apoiam as necessidades de desenvolvimento econômico e humano, ao mesmo tempo que conservam o meio ambiente, reduzem os riscos das mudanças climáticas, reduzindo as emissões de gases, dando oportunidades iguais para todas as pessoas acessarem a energia e também melhorando a segurança energética (Aguilar, 2012).

A energia sustentável é a necessidade do momento e está ganhando força, devido ao seu potencial de geração de baixo carbono, muitas vezes acompanhado de seus benefícios. A transição da energia convencional baseada em combustível fóssil para a energia sustentável ajudará na gestão eficaz da poluição do ar, mitigação das mudanças climáticas e estimulará o crescimento econômico sustentável, além de melhorar os padrões de vida das pessoas com equidade e qualidade ambiental.

5.3 Energias limpas

Ao conceito de energia limpa é inerente o caráter renovável e alternativo, isto é, são limpos os tipos de energia que são produzidos a partir de fontes que se repetem na natureza e tendem a não impactar significativamente o ambiente. São consideradas nesse construto as energias de tipo hídrica, eólica, geotérmica, biomassa, solar e marítima. Sendo a energia solar a fonte mais abundante no planeta (Moreira & Giometti, 2008).

5.4 Energia solar

A energia proveniente do Sol vem sendo apropriada pelo homem ao longo de toda sua história. Através dele, por exemplo, são supridas necessidades básicas de aquecimento, iluminação e alimentação (via fotossíntese e cadeias alimentares). No entanto, o uso do Sol como fonte direta para a produção de eletricidade é relativamente recente, datando de meados do século passado. Com esta finalidade, distinguem-se duas tecnologias de geração: a fotovoltaica, que consiste na conversão direta da luz em eletricidade; e a heliotérmica, que é uma forma de geração termelétrica, na qual um fluido é aquecido a partir da energia solar para produzir vapor.

A rápida expansão da sua capacidade instalada nos últimos anos, atrelada à forte redução de custos; o imenso potencial técnico de aproveitamento; e o fato de não emitir poluentes durante sua operação, fez com que o mundo voltasse sua atenção para a energia solar como alternativa de suprimento elétrico.

As tecnologias solares podem fornecer calor, resfriamento, iluminação natural, eletricidade e combustíveis para uma série de aplicações. As tecnologias solares convertem a luz solar em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos ou através de espelhos que concentram a radiação solar.

Embora nem todos os países sejam igualmente dotados de boa incidência solar, uma contribuição significativa para a matriz energética da energia solar direta é possível para todos os países. O custo de fabricação de painéis solares diminuiu consideravelmente na última década, tornando-os não apenas acessíveis para a classe média, mas muitas vezes a forma mais barata de eletricidade. Os painéis solares têm uma vida útil em torno de 25 anos e vêm em variedade de tons, dependendo do tipo de material usado na fabricação.

No entanto, a falta de conhecimento tecnológico em energias renováveis, por parte de todos os agentes, inclusive consumidores, prejudica sua maior inserção. O desafio de entender e mensurar os riscos desses ativos faz com que os bancos, por exemplo, tenham dificuldades em financiar projetos de geração fotovoltaica, em especial de geração distribuída. Portanto, a disseminação do conhecimento em energias renováveis é uma importante medida para que esses parceiros invistam nessas tecnologias (OVERHOLM, 2015).

No sistema fotovoltaico ocorre uma transformação direta da radiação solar para a eletricidade. E isso acontece da seguinte forma: adapta-se um material semicondutor, sendo o silício o mais usado para que, conforme vai sendo estimulado pela radiação, haja o fluxo eletrônico entre partículas positivas e negativas. Quanto maior a intensidade da luz, maior o fluxo de energia elétrica. O sistema não precisa do brilho do Sol para operar e pode gerar eletricidade mesmo em dias nublados.

A energia heliotérmica, por se tratar de uma planta termelétrica, possui maior inércia na geração de energia, desse modo, se torna menos suscetível às variações da irradiação. Além disso, tem como vantagem sua maior facilidade de funcionar com armazenamento ou em conjunto com outra fonte de backup, o que permite sua operação depois que o sol se põe. No entanto, não houve uma redução de custos no uso dessa fonte como fotovoltaica nos últimos anos, se mantendo como uma das energias renováveis mais caras (REN21, 2019). O que acaba dificultando sua expansão nas matrizes energéticas.

5.4.1 Vantagens e desvantagens da energia solar

O Brasil se encontra em uma região privilegiada em relação ao posicionamento para captar os raios solares, o que permite que incida elevados índices de irradiação em quase todo território nacional. Soma-se a isso a proximidade com a linha do Equador, o que faz com que a variação na incidência solar durante o ano seja pouca, e dá ao Brasil uma vantagem no aproveitamento energético do recurso solar.

Como vantagens do uso de energia solar verificamos ser uma energia que não polui, sendo uma energia limpa, renovável e sustentável. Com isso, contribui para a preservação do meio ambiente, reduz a conta de energia, tem boa durabilidade, agrega valor ao bem, possui baixo custo de manutenção, contribui quanto a diminuição da dependência de hidrelétricas em tempo de escassez hídrica quando há aumento das bandeiras tarifárias.

Com relação as desvantagens, ainda possui alto custo de aquisição, principalmente para as classes mais pobres. Não gera energia durante a noite ou gera menos em dia com menor incidência solar, o que torna o sistema dependente da rede elétrica de concessionárias ou de banco de baterias tornando-o assim ainda mais caro.

5.5 Energia eólica

A energia eólica é a eletricidade criada a partir do ar que flui naturalmente na atmosfera da Terra. Como um recurso renovável e limpo ele não se esgota com o uso, seu impacto no meio ambiente e na crise climática é significativamente menor do que a queima de combustíveis fósseis.

Energia eólica descreve o processo pelo qual o vento é usado para transformar a energia mecânica em eletricidade. A função de uma turbina eólica é usar pás para captar a energia cinética do vento. À medida que o vento flui sobre as pás, ele as levanta, assim como levanta uma vela para empurrar um barco. Esse empurrão do vento faz as pás girarem, movendo o eixo de acionamento ao qual estão conectadas. Esse eixo então aciona uma bomba, levando essa energia para um

gerador que cria eletricidade, que pode ser usada imediatamente ou armazenada em uma bateria. (EPE, Fontes de Energia, 2023) disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acessado em 09 de janeiro de 2023.

Pode ser criada por algo tão simples, quanto um conjunto de turbinas de 8 pás posicionadas para capturar os ventos predominantes, que então giram uma pedra e moem grãos (um moinho). Ou pode ser tão complexo quanto uma palheta de 150 pás, girando um gerador que produz eletricidade para ser armazenada em uma bateria ou implantada em um sistema de distribuição de energia. Existem até turbinas eólicas sem pás.

Os componentes básicos de qualquer sistema de energia eólica são bastante semelhantes. Existem lâminas de algum tamanho e forma que são conectadas a um eixo de acionamento e, em seguida, a uma bomba ou gerador que usa ou coleta a energia eólica. Se a energia eólica for usada diretamente como uma força mecânica, como moer grãos ou bombear água, ela é chamada de moinho de vento; se converte energia eólica em eletricidade, é conhecida como turbina eólica. Um sistema de turbina requer componentes adicionais, como uma bateria para armazenamento de eletricidade, ou pode ser conectado a um sistema de distribuição de energia, como linhas de energia.

O vento é produzido naturalmente quando o sol aquece a atmosfera, a partir de variações na superfície da Terra e da rotação do planeta. O vento pode então aumentar ou diminuir como resultado da influência de massas de água, florestas, prados e outra vegetação e mudanças de altitude. Os padrões e velocidades do vento variam significativamente em todo o terreno, bem como sazonalmente, mas alguns desses padrões são previsíveis o suficiente para que haja planejamento

Os melhores locais para colocar uma turbina eólica são os topos de colinas arredondadas, em planícies abertas (ou águas abertas para vento offshore) e passagens nas montanhas onde o vento é naturalmente canalizado (produzindo altas velocidades de vento regulares). Geralmente, quanto maior a elevação, melhor, já que as elevações mais altas costumam ter mais vento.

No Brasil, um estudo feito pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP) mostra um potencial para a geração de energia eólica em cima de prédios por meio de pequenas turbinas. No total, foram utilizados quatro modelos de turbinas de energia eólica de pequeno porte no estudo, onde a que teve

o melhor desempenho foi a Proven 2.5, com uma energia de 4.330 kWh/ano, energia suficiente para alimentar duas casas.

5.5.1 Vantagens e desvantagens da energia eólica

A vantagem mais significativa da energia eólica é uma energia limpa que gera eletricidade sem poluir o ar ou a água e sem adicionar gases de efeito estufa à atmosfera. Mas também tem alguns outros benefícios ambientais e econômicos exclusivos. Além disso, ela é sustentável.

A energia eólica se renova, pois não há escassez de vento e não pode ser esgotado, então a base para a energia eólica é uma fonte renovável e sustentável. Essa energia não precisa ser extraída do solo ou transportada por trem ou caminhão – o que requer energia e emissões adicionais e aumenta o custo das usinas de queima de combustíveis fósseis. E novos modelos de turbinas eólicas estão ficando mais eficientes com passar do tempo.

O tamanho e o número de turbinas eólicas podem variar de acordo com a localização e as necessidades de energia. Embora a ideia de energia eólica possa suscitar imagens de parques eólicos com centenas de turbinas, também existem turbinas de pequeno e médio porte trabalhando sozinhas, em pares ou em três, fornecendo o que é conhecido como energia distribuída para as pessoas que precisam.

A energia eólica também permite a escalabilidade da empresa, já que pequenas turbinas podem abastecer casas, fazendas ou prédios; turbinas maiores podem ser usadas para geração de eletricidade local para necessidades industriais ou comunitárias.

5.6 Energia geotérmica

A energia geotérmica utiliza a energia térmica disponível no interior da Terra. Neste caso, os principais recursos são os gêiseres (fontes de vapor no interior da Terra que apresentam erupções periódicas) e, em localidades onde eles não estão presentes, o calor existente no interior das rochas para o aquecimento da água. A

partir desta água aquecida é produzido o vapor utilizado em usinas termelétricas (ANEEL, 2008).

Uma vez na superfície, podem se utilizar fluidos a várias temperaturas para gerar eletricidade. Essa tecnologia que consiste na geração de eletricidade por meio de depósitos geotérmicos já é consistente e financeiramente viável, e já é usada há mais de 100 anos. Seu calor pode ser capturado e usado diretamente para aquecimento, e seu vapor pode ser usado para gerar eletricidade.

A maior parte da energia geotérmica da Terra não borbulha como magma, água ou vapor. Permanece no manto, emanando para fora em um ritmo lento e se acumulando como bolsões de alto nível de calor. Esse calor geotérmico seco pode ser acessado por perfuração e aprimorado com água injetada para criar vapor.

Outro tipo de energia geotérmica é a energia geotérmica de baixa temperatura que pode ser acessada e usada imediatamente como fonte de calor. A energia geotérmica de baixa temperatura é obtida de bolsões de calor de cerca de 150°. A maioria dos bolsões de energia geotérmica de baixa temperatura são encontrados a poucos metros abaixo do solo.

A energia geotérmica de baixa temperatura pode ser usada para aquecer estufas, casas, piscinas e processos industriais. A energia de baixa temperatura é mais eficiente quando usada para aquecimento, embora às vezes possa ser usada para gerar eletricidade.

A tecnologia geotérmica só pode ser usada em locais com condições geológicas específicas. Por esta razão, as principais regiões de desenvolvimento geotérmico estão nas regiões mais vulcanicamente e tectonicamente ativas do mundo.

Muitos países desenvolveram métodos de aproveitamento da energia geotérmica. Diferentes tipos de energia geotérmica estão disponíveis em diferentes partes do mundo. Na Islândia, fontes abundantes de água subterrânea quente e facilmente acessível possibilitam que a maioria das pessoas dependa de fontes geotérmicas como uma fonte de energia segura, confiável e barata.

Outros países, como os EUA, podem perfurar para obter a energia geotérmica a um custo maior. O porte dos empreendimentos atuais, porém, é significativo. A potência instalada no campo de gêiseres da Califórnia é de 500 MW.

5.6.1 Vantagens e desvantagens da Energia Geotérmica

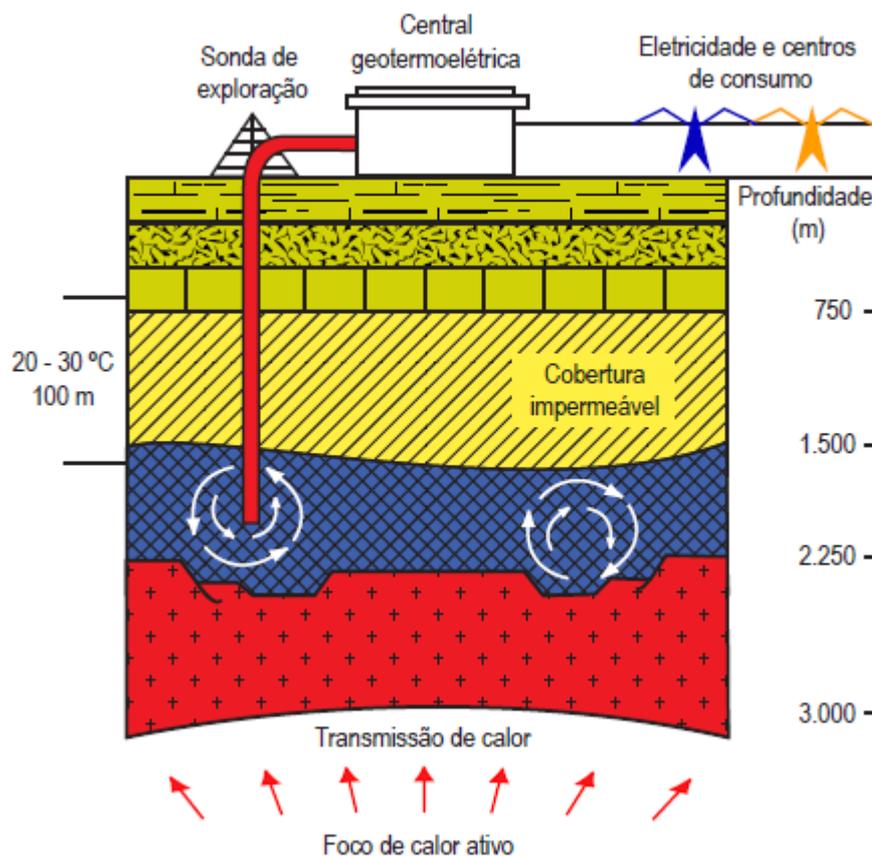
A energia geotérmica, é considerada uma energia limpa, pois é uma fonte sem emissão de poluentes que prejudicam o meio ambiente, e ainda possui capacidade de operar de forma contínua, sem interferência meteorológica, diferente das energias solar e eólica, por exemplo, que necessitam de condições climáticas favoráveis para gerarem energia.

Podemos enfatizar a capacidade de reutilização do fluido extraído, que é reinjetado na crosta terrestre, o que torna esse recurso geotermal também uma fonte renovável de energia. Somando-se a isso, sua sustentabilidade está no fato de não haver exploração de recursos naturais e/ou outras fontes de energia como acontece com o carvão mineral e o petróleo.

Entretanto, a instalação de uma usina geotérmica possui alto custo a ser aplicado, apesar do baixo custo utilizado considerando a produção, que pode garantir 98% de sua capacidade e o lucro a ser obtido. Sua condição de operação também é uma grande desvantagem pois depende de condições propícias em zonas geológicas, existentes em menos de 10% do planeta.

Apesar de ser uma energia renovável, deve haver uma precaução, pois uma usina geotérmica pode impactar através da liberação de gases dissolvidos na atmosfera, como o H₂S (sulfeto de hidrogênio), por exemplo, e o aumento da temperatura no entorno onde a usina está instalada, devido a liberação desses vapores na atmosfera, na figura 17 é apresentado o esquema de um reservatório geotérmico de alta pressão.

Figura 17 - Reservatório Geotérmico de alta temperatura



Fonte: www.educ.ar

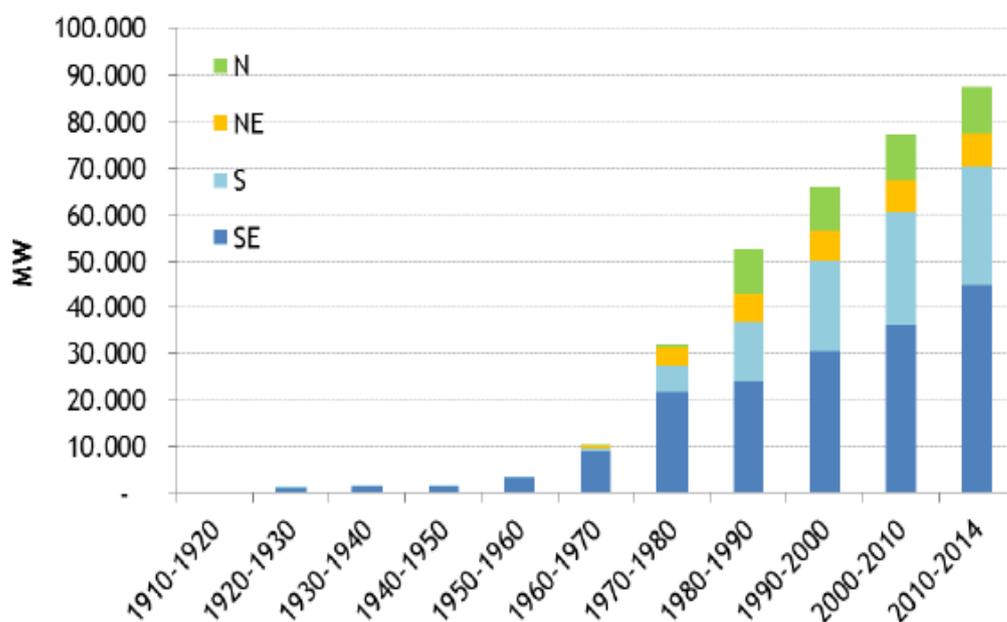
5.7 Energia hidráulica

Energia hidrelétrica ou energia hidráulica é a energia que é derivada da força ou energia da água em movimento, que pode ser aproveitado para fins úteis. Levando em conta o fato de que a água é muito mais densa que o ar, mesmo um fluxo lento de água ou ondulações moderadas do mar podem produzir quantidades consideráveis de energia. Existem várias formas de energia hidráulica atualmente em uso ou em desenvolvimento. As categorias amplas incluem hidroeletricidade, que se baseia na geração de energia elétrica através do uso da força gravitacional de queda ou fluxo de água; e energia oceânica, que se refere principalmente à energia transportada pelas ondas do mar e das marés. (EPE, Fontes de Energia, 2023)

disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acessado em 09 de janeiro de 2023.

A energia hidráulica tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro por várias décadas, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético a nível nacional.

Figura 18 - Evolução do parque hidrelétrico por região geográfica



Fonte: Elaboração EPE, com base em ANEEL (2016) e EPE (2015c).

5.7.1 Vantagens e desvantagens da Energia Hidráulica

Apesar da energia hidrelétrica ser uma fonte de energia renovável, o relatório da Aneel aponta que sua participação na matriz elétrica mundial é pequena e está se tornando ainda menor. O desinteresse crescente seria um resultado das externalidades negativas decorrentes da implantação de empreendimentos de tal porte.

Um impacto negativo da implantação de grandes empreendimentos hidrelétricos é a mudança no modo de vida das populações que residem na região, ou no entorno do local, onde será implantada a usina. É importante também

ressaltar que, essas comunidades muitas vezes são grupos humanos identificados como populações tradicionais (povos indígenas, quilombolas, comunidades ribeirinhas amazônicas e outros), cuja sobrevivência depende da utilização dos recursos provenientes do local no qual vivem, e que possuem vínculos com o território de ordem cultural.

Apesar de ser considerada por muitos como uma fonte de energia “limpa” por não estar associada à queima de combustíveis fósseis, a geração de energia hidrelétrica contribui para a emissão de dióxido de carbono e metano, dois gases potencialmente causadores do aquecimento global.

A emissão de gás carbônico (CO₂) se dá devido à decomposição das árvores que permanecem acima do nível d'água dos reservatórios, e a liberação de metano (CH₄) ocorre pela decomposição da matéria orgânica presente no fundo do reservatório. À medida que a coluna d'água aumenta, a concentração de metano (CH₄) também aumenta. Quando a água atinge as turbinas da usina, a diferença na pressão causa a liberação do metano para a atmosfera. O metano também é liberado no percurso da água pelo vertedouro da usina, quando, além da mudança de pressão e temperatura, a água é pulverizada em gotas.

5.8 Energia Oceânica

Mudanças na salinidade, gradientes térmicos, correntes de maré ou ondas oceânicas podem ser usadas para gerar eletricidade - e fornecer energia confiável, sustentável e com custo competitivo.

Os oceanos contêm uma enorme quantidade de energia. Capturar essa energia pode ter benefícios substanciais. A energia das ondas do mar são uma forma de energia solar concentrada que é transferida por meio de interações complexas de ondas de vento. Os efeitos da variação da temperatura da Terra devido ao aquecimento solar, combinados com uma infinidade de fenômenos atmosféricos, geram correntes de vento em escala global. A geração, propagação e direção das ondas oceânicas estão diretamente relacionadas a essas correntes de vento (EPE, Fontes de Energia, 2023) disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acessado em 09 de janeiro de 2023.

Por outro lado, as marés oceânicas são variações cíclicas na elevação da água do mar e na velocidade do fluxo como resultado direto do movimento da Terra em relação à lua e ao sol e a interação de suas forças gravitacionais. Uma série de fenômenos relacionados à inclinação rotacional da Terra, taxa de rotação e interação entre as forças gravitacionais e rotacionais fazem com que as condições da maré variem significativamente ao longo do tempo. As condições da maré são mais aparentes nas áreas costeiras onde os canais restritos aumentam o fluxo de água e aumentam a densidade de energia.

O movimento interminável das ondas, correntes e marés pode ser usado para produzir eletricidade limpa e renovável para nossas casas, escolas e indústrias. Para colher a energia do oceano, são usados dispositivos especiais. Para capturar a energia, certas partes desses dispositivos se movem à medida que a água se move, e o movimento gera eletricidade que é então transportada para a costa. Boias e turbinas são dois exemplos de dispositivos que podem ser usados para captar a energia do movimento do oceano.

Boia é uma estrutura flutuante que se move para cima e para baixo com o movimento das ondas, são estruturas que flutuam no mar e sobem e descem com o movimento das ondas. Essas boias estão presas a vários mecanismos, como um cilindro que move um pistão O pistão é um cilindro ou disco bem ajustado que se move dentro de outro cilindro, seja para comprimir ou mover um fluido para lá, como ar ou água, ou para transformar energia, acionando um gerador que pode converter o movimento em eletricidade. As boias podem ser presas a longas colunas chamadas *spar* que é um poste grosso e forte para suportar uma boia, que são ancorados no fundo do mar, ou todo o dispositivo pode flutuar livremente no oceano (Produzindo eletricidade a partir das ondas do mar). Esses dispositivos podem ser colocados nas águas profundas do mar aberto, ou mais perto da costa.

5.8.1 Vantagens e desvantagens da Energia Oceânica

O mar é uma fonte de energia que traz muitas vantagens e pode ser uma ótima opção para a substituição do uso de combustíveis fósseis, os quais são extremamente poluentes ao meio ambiente. A maremotriz é uma energia limpa que é produzida sem o uso de combustíveis fósseis que, quando utilizados para a produção de energia, acabam liberando em seu processo gases que contribuem para o efeito estufa ou poluentes para a natureza.

Tratando-se da energia oceânica, as dificuldades que podem ser encontradas estão no fato de muitos locais não serem favoráveis para a implantação da mesma, além de também, encontrar-se o argumento de algumas pesquisas indicando o projeto de difícil construção por conta dos altos investimentos e baixo aproveitamento energético.

Os projetos de maremotriz exigem condições específicas para serem desenvolvidos. No entanto, é importante salientar que, realmente todo grande projeto exige um grande investimento, e se houvesse uma troca de aplicação nas fontes não-renováveis para que o capital fosse revertido para o de fontes que são inteiramente renováveis, seria muito mais vantajoso para o país e para a natureza. No Brasil, por exemplo, os melhores lugares para este tipo de energia ser implantada se encontram no Amapá, Pará e Maranhão, onde segundo os estudos da região, a maré chega até 6 metros de altura.

A energia vinda dos oceanos não polui diretamente o meio ambiente, porém, existem efeitos negativos vindos da construção da usina em larga escala, pois podem causar mudanças nos locais naturais, até porque é improvável que o ser humano interfira em algum meio natural sem que ocorram as consequências das suas ações refletidas na natureza. O que se pode fazer é amenizar os mesmos, para que os danos sejam os menores possíveis. No entanto, é importante pôr em destaque os danos que a construção de uma barragem por exemplo, pode causar e ainda considerar que pode ocasionar alterações ao ecossistema do local escolhido.

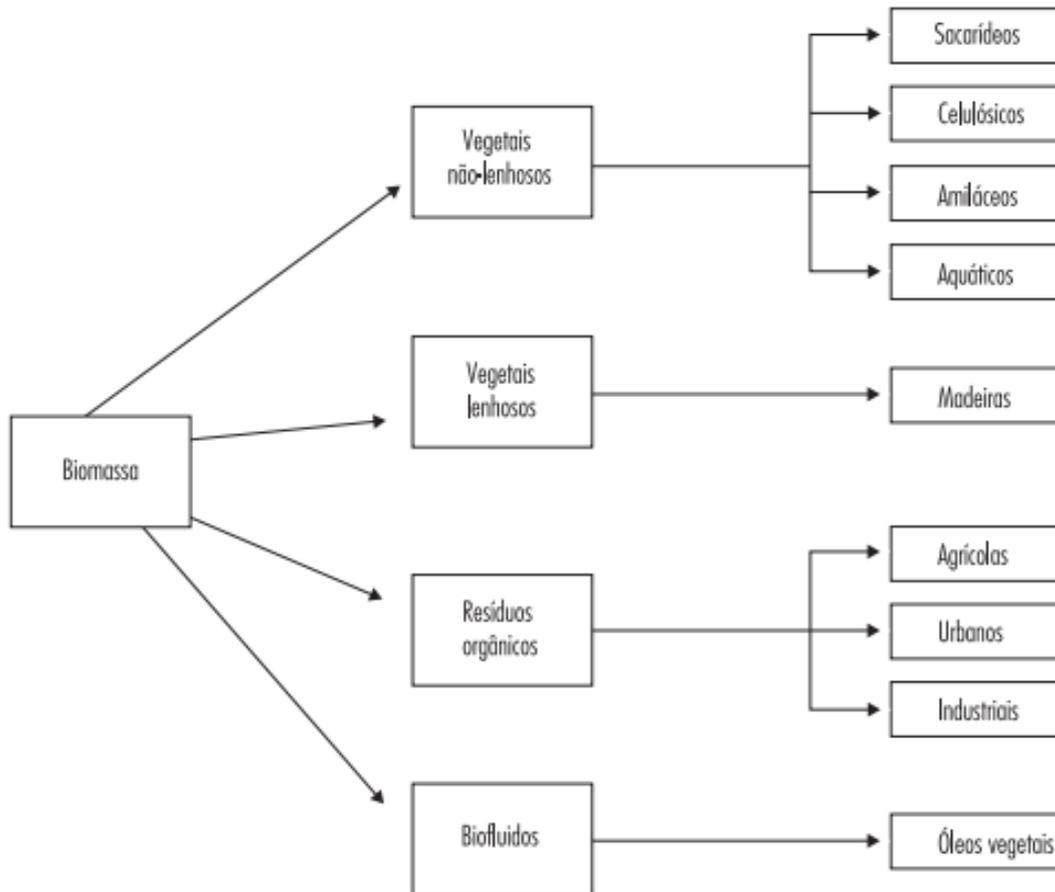
5.9 Energia de biomassa

A biomassa tem origem em resíduos sólidos; animais, vegetais, industriais e florestais. É voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Apresenta diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia (TOLMASQUIM, 2016).

A principal fonte para gerar energia da biomassa está nos resíduos, com destaque para resíduos vegetais. Os resíduos gerados em todo o mundo são recursos de grande potencial para a obtenção de energia apenas sob uma adequada exploração. Houve muitas tentativas para estimar a produção e o uso dos resíduos globais, mas todas apresentaram muitas variações, pela existência dos diferentes usos alternativos, como a ração animal, o controle de erosão, o uso de fertilizante e medicinal; e também pela necessidade de se determinar o que é e o que não é um resíduo reutilizável para a obtenção de energia, e assim determinar sua verdadeira disponibilidade.

O aproveitamento da biomassa para geração de energia pode ser feito por meio de combustão direta, cogeração (produção combinada de energia térmica e mecânica), processos termoquímicos específicos (gaseificação, hidrólise, pirólise, craqueamento, liquefação e transesterificação) e/ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

Figura 19 - Fontes de biomassa



Fonte: Adaptado do Ministério de Minas e Energia

5.9.1 Vantagens e desvantagens da Energia de biomassa.

A biomassa é uma matéria prima de baixo custo e rápido acesso que armazena grande quantidade de energia, carbono, oxigênio e hidrogênio. Trata-se de uma das poucas fontes que pode facilitar a produção de energia em grande escala e de forma sustentável para apoiar o desenvolvimento da sociedade.

No entanto, as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva.

O setor de bioenergia se desenvolveu bastante no Brasil nas últimas duas décadas e segue com grande potencial de crescimento, tendo em vista algumas

vantagens comparativas do país em relação aos outros. Dentre elas: condições climáticas favoráveis, disponibilidade de água e possibilidade de expansão de áreas com plantios energéticos sem competição com a agricultura de alimentos. Essas vantagens, somadas a aperfeiçoamentos tecnológicos em diversas rotas de conversão de biomassa para energia (combustão, digestão anaeróbica, gaseificação, hidrólise enzimática, torrefação etc.), além do aperfeiçoamento de novas fontes de biomassa (gramíneas e florestas energéticas de curta rotação) e das tradicionais, projetam um cenário de potencial redução de custos e expansão da produção de bioenergia.

A geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e das hidrelétricas, diversificando a matriz energética do país sem que esta perca seu caráter renovável.

Embora muito prático e às vezes conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2005).

Devido à baixa densidade de alguns tipos de biomassa utilizados para geração de energia, existe uma preocupação especial na viabilização da coleta e transporte destas matérias-primas. O pensamento corrente é que a biomassa deve ser processada localmente e adensada (carbonização, enfardamento, conversão em briquetes e pellets) para transporte a distâncias superiores a 50 Km, de forma a atingir um nível ótimo entre a economia (e eficiência) de escala da planta de conversão e o custo variável do transporte da biomassa.

Atualmente, a fonte mais explorada no país é o bagaço de cana-de-açúcar, principalmente devido à alta produtividade das lavouras canavieiras, associada à instalação de sistemas de cogeração nas usinas e destilarias destinadas à produção de açúcar e etanol. Outras vantagens importantes desta cultura são: a grande quantidade de resíduos gerados pela atividade principal (produção de açúcar e etanol) que podem ser aproveitados para geração de energia.

Figura 20 - Vantagens e desvantagens das fontes de biomassa.

Fonte	Vantagens	Desvantagens
Resíduo Agrícola	Baixo custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística duvidosa
Resíduo Industrial	Baixo Custo	Dispersão geográfica Logística duvidosa Heterogeneidade
Resíduos de parques e jardins	Baixo Custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística problemática Heterogeneidade
Cultura energética dedicada	Produção localizada Homogeneidade Rastreabilidade Logística racional	Custo de obtenção Certa sazonalidade

Fonte: Mazzarella (2007)

6. LEGISLAÇÃO E NORMA BRASILEIRA NO USO DE ENERGIAS

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997.

A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições: regular a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica; implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos.

Além de estabelecer tarifas; dirimir as divergências, na esfera administrativa, entre esses agentes e os consumidores, e promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal.

Segundo o art. 20, VIII, da Constituição Federal, os potenciais de energia elétrica são bens da União, que deverá autorizar, permitir ou conceder, participação no resultado da exploração de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica em seu §1º, e também os serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos de água (art. 21, XIII, b).

Na forma da Lei, o Poder Público está incumbido de prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos de geração e de distribuição de energia elétrica (art. 175). (BRASIL, Constituição, 1988).

Desse modo, a Lei 9.478, de 1997, que dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.

Segundo essa Lei, as políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos: I - preservar o interesse nacional; II - promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos; III - proteger os interesses do consumidor quanto a preço,

qualidade e oferta dos produtos; IV - proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia; V - garantir o fornecimento de derivados de petróleo em todo o território nacional, nos termos do § 2º do art. 177 da Constituição Federal; VI - incrementar, em bases econômicas, a utilização do gás natural; VII - identificar as soluções mais adequadas para o suprimento de energia elétrica nas diversas regiões do País; VIII - utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis; IX - promover a livre concorrência; X - atrair investimentos na produção de energia; XI - ampliar a competitividade do País no mercado internacional. XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional.

Já a Lei 9.991, de 2000, as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico, e no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final.

Além disso, desde 2019 nomeia-se como “Taxação do Sol”, que seria um imposto da energia solar. Em 2022, a Lei 14.300, (antes conhecida como PL 5829) que representa o Marco Legal da Geração Distribuída, foi aprovada concedendo ao consumidor o direito de produzir sua própria energia por meio de fontes renováveis.

Com isso, todos os projetos desenvolvidos a partir de meados de janeiro de 2023 deixaram de ter compensação de créditos e passaram a ter uma compensação parcial, porque os novos projetos vão passar a remunerar o fio B, que é o fio que remunera a distribuidora de energia, parte do fio A que remunera as transmissoras de energia e os encargos de pesquisa e desenvolvimento e a tarifa de fiscalização do setor elétrico. Projetos desenvolvidos, ainda em 2022, vão manter essa compensação integral.

Existem também algumas normas como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes de Energias Renováveis) – Criado pelo Ministério de Minas e Energia através da Lei nº 10.438/2002 e revisado pela Lei nº 10.762/2003, dispõe da

expansão de energia elétrica emergencial e sobre a universalização do serviço público de energia elétrica.

Já o decreto nº 4.873/2003 institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - "Luz para todos" (PLPT), destinado a propiciar, até o ano de 2008, o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro, que ainda não possui acesso a esse serviço público, ocorrendo prorrogação no período de 10 anos, e o decreto nº 8.387/2014 institui a finalização do PLPT no ano 2018.

Para assegurar o fornecimento de energia no Brasil, a Lei nº 10.848 de 2004 institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

De forma geral, existem várias normas e regulamentos nacionais além daquelas emitidas pela ANEEL, os quais são relacionados ao uso de energias em diferentes setores. Algumas das normas mais relevantes são:

Norma Regulamentadora NR-10: Estabelece os requisitos e condições mínimas para a segurança em instalações e serviços em eletricidade. Essa norma abrange desde a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica até o uso final.

Norma Regulamentadora NR-15: Define as atividades e operações insalubres, estabelecendo limites de tolerância para exposição a diferentes agentes físicos, químicos e biológicos. Isso inclui trabalhos relacionados a energia, como subestações, transformadores, etc.

Norma Regulamentadora NR-17: Estabelece parâmetros ergonômicos para o trabalho, visando proporcionar conforto e segurança aos trabalhadores. Embora não seja específica para energia, é aplicável a ambientes e postos de trabalho relacionados à área energética.

Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE): O PBE estabelece requisitos para a eficiência energética de diversos equipamentos, como eletrodomésticos, lâmpadas, motores elétricos, entre outros. O programa visa informar os consumidores sobre a eficiência dos produtos disponíveis no mercado.

Normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): A ABNT emite diversas normas técnicas relacionadas ao uso de energia, incluindo normas para eficiência energética de edificações, instalações elétricas, iluminação, entre outras.

Com relação a instalação e o uso de sistemas de aquecimento solar e sistemas fotovoltaicos no Brasil, existem normas específicas regulamentadas, as principais normas brasileiras relacionadas a essas tecnologias são:

ABNT NBR 15569: Esta norma estabelece os requisitos mínimos para o projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas de aquecimento solar de água em edificações. Ela define critérios para o dimensionamento dos sistemas, escolha dos componentes, métodos de instalação e ensaios de desempenho. Esta norma é utilizada como parâmetro para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar realizado no modelo de projeto três desse trabalho.

ABNT NBR 15575: Essa norma estabelece os critérios de desempenho térmico para edificações residenciais. Ela inclui requisitos para o uso de sistemas de aquecimento solar de água, entre outros aspectos relacionados à eficiência energética das edificações.

ABNT NBR 16690: Essa norma trata dos requisitos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Ela estabelece diretrizes para a instalação, projeto, operação e manutenção desses sistemas. Também aborda aspectos de segurança elétrica e conexão com a rede elétrica.

Normas da ANEEL, que emite regulamentações e normas específicas para a geração de energia elétrica a partir de fonte solar, tanto para sistemas conectados à rede elétrica quanto para sistemas isolados.

Instrução Normativa INMETRO nº 17/2014: Esta norma estabelece os requisitos para a certificação de equipamentos para sistemas de aquecimento solar de água. Ela define os critérios de eficiência energética e segurança que os equipamentos devem atender para obter a certificação compulsória.

As normas e regulamentos são atualizadas periodicamente, e é essencial consultar as versões mais recentes das mesmas para estar em conformidade com

as exigências técnicas e legais aplicáveis aos sistemas de aquecimento solar e sistemas fotovoltaicos no Brasil.

7. RECURSOS COMPUTACIONAIS NA AREA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Na área de energias renováveis, os recursos computacionais desempenham um papel fundamental no projeto, análise e otimização de sistemas, incluindo a energia solar fotovoltaica e os sistemas de aquecimento solar. Utilizar recursos computacionais tem se tornado cada vez mais crucial, uma vez que a necessidade de diminuir o tempo para elaboração de projetos, análises e dimensionamentos dos sistemas de energias renováveis acontece cada vez mais presente nas indústrias, até mesmo em virtude da demanda do mercado. Isso se deve, em consequência da alta velocidade de mudança e lançamentos de novos equipamentos nesta área, como por exemplo painéis fotovoltaicos, inversores, coletores de aquecimento, boilers, etc. O que ocasiona, também, uma maior demanda com relação aos bancos de dados (Imai e col, 2020).

Na indústria da construção, várias abordagens e métodos são empregados em diferentes etapas dos projetos de construção para melhorar as decisões a serem tomadas ao longo de seus ciclos de vida (Zheng e col, 2023). Uma dessas abordagens é aquela baseada em modelos, que utiliza modelos e simulações digitais para auxiliar no projeto, visualização e gerenciamento de projetos de construção (Kaiser e col, 2019). Isso geralmente é facilitado por tecnologias como Building Information Modeling (BIM) (Najjar e col, 2019).

Por outro lado, a abordagem baseada em conhecimento enfatiza o uso de conhecimento especializado e as melhores práticas do setor para aprimorar a tomada de decisões e alcançar melhores resultados de projeto (Xu e col, 2022). Isso pode ser alcançado, por exemplo, por meio de sistemas especialistas, que são sistemas baseados em computador que replicam as capacidades de tomada de decisão de especialistas humanos (Wang e Gao, 2012).

Na indústria da construção, a abordagem baseada em modelos ganhou popularidade em todo o mundo. Este método utiliza modelos digitais para melhorar a tomada de decisões, fornecendo um ambiente virtual para avaliar e comparar diferentes designs de projetos, facilitando assim a seleção das soluções mais ideais (Jamil, 2023; Neeraj, 2023). Nesse contexto, o uso de modelos digitais oferece

diversas vantagens. Permite avaliar múltiplos cenários e configurações sem a necessidade de construção física. Isso reduz significativamente os custos e o tempo associados à prototipagem e aos testes. Além disso, permite que os pesquisadores avaliem o impacto de diferentes escolhas de projeto na geração, consumo e viabilidade financeira de energia (Bertagna, 2023; Heo, 2020).

Por meio da análise de modelos de construção digital, os tomadores de decisão podem obter informações sobre os possíveis resultados de diferentes opções de projeto. Essas informações os capacitam a tomar decisões informadas com base no desempenho e na viabilidade econômica de cada alternativa (Bjørnskov e Jradi, 2023). Conseqüentemente, a utilização de modelos digitais na tomada de decisão auxilia na identificação de soluções mais viáveis técnica e economicamente, otimizando a alocação de recursos e garantindo melhores resultados nos projetos (Tariq e col, 2022).

7.1 Pesquisas envolvendo simulação e otimização de sistemas fotovoltaicos

Najjar et al. (Najjar et al, 2019) propuseram um projeto experimental baseado em estrutura para maximizar a produção de energia do sistema fotovoltaico. Os autores utilizaram o software PVsol para simular o sistema fotovoltaico, facilitar o processo de projeto e otimizar o processo de instalação de tal sistema em edifícios. Além disso, Ozcan et al. (Ozcan et al, 2019) utilizou os programas PVsol e TRNSYS para determinar a produção anual de um sistema fotovoltaico aplicado. Através de estudos experimentais, os autores determinaram que o programa PVSOL é o método mais eficaz, com uma taxa de sucesso de 94,33%.

Badawy et al. (Badawy et al, 2022) explorou o potencial de integração do sistema fotovoltaico em telhados inclinados no Egito, usando PVsol Premium para todas as superfícies do telhado para otimizar o design ideal. Os autores pretendiam descobrir a importância das tecnologias monocristalinas e de película fina para sistemas fotovoltaicos eficientes conectados à rede em edifícios históricos. Eles usaram o software PVsol para comparar diferentes tecnologias fotovoltaicas,

rendimento anual de energia e taxa de desempenho (PR) em relação aos seus objetivos de pesquisa. Com base nos resultados, concluiu-se que o uso da tecnologia de painéis fotovoltaicos policristalinos não é uma solução sustentável adequada para integração em edifícios históricos com condições climáticas semelhantes.

Othman e Hatem (Othman e Hatem, 2022) conduziram uma análise comparativa entre PVSyst , PVSol e SMA. O autor constatou que os erros anuais dos programas avaliados variam entre -6,99% e +4,65%. Mais especificamente, o desvio do sistema PVSol variou de 19,02% negativo em dezembro para 1,83% negativo em abril e de 0,09% positivo em agosto para 8,73% positivo em junho. O erro total na estimativa do rendimento anual foi de menos 2,09%, o que ainda está dentro dos limites aceitáveis.

Em última análise, Cristea et al. (Cristea et al, 2020) estudou a avaliação econômica de sistemas solares fotovoltaicos residenciais conectados à rede. Neste estudo, o PVsol premium 2019 foi usado para projetar e simular o desempenho do sistema fotovoltaico em vários locais da Romênia. A viabilidade econômica foi determinada por meio de parâmetros representativos e análise de sensibilidade com preços de energia variáveis. Os autores usaram Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Índice de Lucratividade e Período de Retorno Descontado para determinar a viabilidade das estratégias. O PVsol provou ser uma ferramenta altamente amigável e adaptável para refletir com precisão estudos experimentais.

7.2 Softwares para simulação e otimização de sistemas fotovoltaicos

Existem diversos softwares disponíveis para simulação e otimização de sistemas fotovoltaicos, entre eles o PVsol (Valentin Software, 2023), TRNSYS (TRNSYS, 2023), PVSyst (PVSYST, 2023), SOLergo (Canal Solar, 2023), Sunny Design Web (SMA) (SMA, 2023) e HelioScope (HelioScope, 2023). Os pesquisadores usaram esses programas para projetar e instalar sistemas fotovoltaicos, determinar sua produção anual, explorar seu potencial de integração em telhados inclinados e avaliar sua viabilidade econômica.

No presente trabalho, foram utilizados sistemas de energia solar fotovoltaico e térmico. Na área de energia solar fotovoltaica, conforme visto anteriormente os recursos computacionais são amplamente utilizados para dimensionar e simular sistemas, avaliar o desempenho energético, considerar fatores ambientais e econômicos, e auxiliar na tomada de decisões.

Para a simulação dos sistemas fotovoltaicos no presente trabalho, foram pesquisados os programas mais utilizados no dimensionamento de energia solar fotovoltaica. Entre eles, foram observados alguns que se destacam, por serem os mais utilizados no Brasil, os quais são: PVSol, PVSyst, Solergo e HelioScop.

Após uma análise prévia, o mais conveniente para dimensionar os projetos propostos no trabalho foi o PVSOL, o motivo da escolha e a abordagem sobre este programa será apresentado no subtítulo 7.3 o qual foi dedicado exclusivamente para este tema. Com isso, segue abaixo as considerações sobre as ferramentas computacionais citadas.

O PVSyst é uma ferramenta amplamente utilizada para simulação, projeto e análise de sistemas fotovoltaicos. Ele utiliza algoritmos para modelar o desempenho energético das instalações solares. O software leva em consideração variáveis como localização geográfica, inclinação e orientação dos painéis solares, sombreamento, perdas elétricas, efeitos de temperatura, entre outros. Além disso, o PVSyst permite a análise da viabilidade econômica de projetos, incluindo o cálculo do retorno sobre o investimento e do tempo de payback.

No que diz respeito às normas e legislações utilizadas no PVSyst, é importante destacar que o software permite a seleção do país em que o projeto está sendo desenvolvido, o que influencia diretamente os parâmetros utilizados. Para o Brasil, por exemplo, o PVSyst considera as normas técnicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que abrangem aspectos como conexão à rede elétrica, critérios de compensação de energia, limites de potência, entre outros. Além disso, o software leva em conta normas internacionais como a IEC 61724, que estabelece diretrizes para o monitoramento de sistemas fotovoltaicos.

O HelioScope é um software especializado utilizado para projetar e analisar sistemas fotovoltaicos. Ele oferece recursos avançados de mapeamento e modelagem 3D, permitindo uma representação precisa e detalhada do sistema

fotovoltaico e do ambiente ao seu redor. O HelioScope integra dados de mapas topográficos e imagens de satélite para criar modelos 3D do local de instalação do sistema fotovoltaico. Isso inclui informações sobre a topografia do terreno, sombreamento de edifícios, árvores ou outros objetos próximos, permitindo uma análise mais precisa do potencial de geração de energia solar.

O software é capaz de simular o sombreamento ao longo do dia e do ano, levando em consideração a inclinação e orientação dos painéis solares, bem como a posição do sol em diferentes períodos do ano. Essa análise permite identificar áreas sombreadas no sistema e otimizar a disposição dos painéis para maximizar a produção de energia.

Com base nos dados mapeados e nas informações sobre o sistema, o HelioScope oferece ferramentas para dimensionar o sistema de acordo com a demanda energética, considerando as características específicas do local. Ele permite a configuração de diferentes arranjos de painéis solares e stringboxes para otimizar a produção de energia.

O software realiza simulações para prever o desempenho do sistema fotovoltaico ao longo do tempo. Isso inclui a previsão da geração de energia, levando em consideração fatores como a radiação solar, a temperatura, as perdas elétricas e a degradação dos módulos solares.

O este programa também é capaz de importar e exportar dados para outros softwares utilizados no projeto de sistemas fotovoltaicos. Isso facilita a colaboração entre equipes e permite uma integração suave com outras etapas do projeto, como o dimensionamento elétrico, a análise financeira e a criação de relatórios.

Com relação ao Solergo, software desenvolvido pela empresa italiana Electro Graphics, o qual conforme informações contidas em seu site <<https://www.electrographics.com.br/produtos/solergo>> , é informado que o software fotovoltaico é o pioneiro em português inteiramente dedicado à realidade normativa e fiscal brasileira e que o SOLergo permite realizar o dimensionamento completo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição (grid connected), Off-grid (stand alone) e híbridos.

Este programa é uma ferramenta abrangente para projetos de sistemas fotovoltaicos, oferecendo recursos e funcionalidades que auxiliam os profissionais na criação de projetos eficientes e personalizados. Com uma ampla gama de características, ele permite a gestão da ordem de trabalho, arquivo de dados climáticos, definição do sistema, análise de sombreamento e banco de dados integrado.

Com o Solergo, é possível realizar simulações de desempenho, criar layouts 3D, calcular perdas, analisar viabilidade econômica, gerar diagramas elétricos, listar materiais, criar memoriais descritivos, gerar propostas comerciais e gerenciar a documentação do projeto.

Além disso, o programa oferece recursos específicos para diferentes modalidades de projeto, como autoconsumo remoto, geração compartilhada, sistemas off-grid e sistemas com cessão total. O software também leva em consideração as bandeiras tarifárias estabelecidas pela ANEEL, garantindo a conformidade com as normas e regulamentações vigentes.

Em geral, o Solergo é um software abrangente para projetos de sistemas fotovoltaicos, que permite aos profissionais realizar desde a concepção e dimensionamento até a análise econômica e documentação do projeto, garantindo a eficiência e qualidade na implementação de sistemas fotovoltaicos.

Além desses programas, existem vários outros utilizados para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Esses softwares geralmente incorporam normas técnicas e regulamentações específicas, como normas de conexão à rede elétrica e critérios de compensação de energia. Além disso, as normas, legislações e bancos de dados são importantes para garantir a conformidade com os requisitos técnicos e regulatórios.

Conforme mencionado anteriormente, este trabalho utiliza três tipos de modelos de projetos, sendo um com sistema de aquecimento solar (SAS) e dois com energia solar fotovoltaica. Para o modelo com o SAS apresentado neste trabalho, não foi utilizado nenhum software específico, sendo utilizado somente os parâmetros de cálculo e dimensionamento da norma ABNT NBR 15569 – sistema de aquecimento solar de água em circuito direto.

No entanto, também existem vários softwares disponíveis para auxiliar no projeto e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar. Alguns desses softwares são apresentados, brevemente, a seguir:

O TSOL é um software popular para o projeto de sistemas de aquecimento solar. Elaborado pela empresa Valentin software, mesma empresa que desenvolveu o PVsol. Este programa permite dimensionar e simular sistemas solares térmicos, levando em consideração fatores como localização geográfica, demanda de água quente, características dos coletores solares, armazenamento térmico e outros componentes do sistema. O TSOL fornece informações detalhadas sobre o desempenho esperado do sistema e auxilia na escolha adequada dos componentes.

O software canadense RETScreen embora, seja mais utilizado em energia renovável em geral, ele também pode ser aplicado para sistemas de aquecimento solar. O software oferece recursos para avaliação de projetos de eficiência energética, incluindo sistemas de aquecimento solar. Ele permite analisar o potencial de economia de energia, o desempenho e os benefícios financeiros dos sistemas solares térmicos.

O Polysun é um software abrangente que cobre várias tecnologias de energia renovável, incluindo sistemas de aquecimento solar. Ele oferece ferramentas para dimensionar, simular e otimizar sistemas solares térmicos, considerando diferentes parâmetros, como demanda de água quente, tipo de coletores solares, sistema de armazenamento e características do local. O Polysun também fornece análises econômicas e ambientais do sistema.

O System Advisor Model (SAM), é um software desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos Estados Unidos. Embora seja utilizado para projetos de energia fotovoltaica e eólica, também pode ser adaptado para sistemas de aquecimento solar. O SAM permite modelar e analisar sistemas solares térmicos, levando em consideração a demanda de energia, a localização geográfica, o clima e outros parâmetros relevantes. Outra vantagem do SAM é que para baixá-lo pela primeira vez, o software é gratuito, conforme informações contidas em seu site < <https://sam.nrel.gov/download.html> >.

O EnergyPlus é um software de simulação energética que abrange uma ampla gama de tecnologias, incluindo sistemas de aquecimento solar. Embora seja uma ferramenta mais técnica e complexa, o EnergyPlus permite modelar sistemas solares térmicos de forma detalhada, considerando diversos fatores, como a geometria do edifício, o perfil de uso da água quente, o desempenho dos coletores solares e outros componentes do sistema.

Esses são apenas alguns exemplos de softwares disponíveis para projetos de sistemas de aquecimento solar. É importante ressaltar que cada software possui suas características e níveis de complexidade diferentes, e é necessário avaliar as necessidades específicas do projeto ao escolher a ferramenta mais adequada. Além disso, é sempre recomendado consultar as normas e regulamentações locais ao realizar projetos de sistemas de aquecimento solar.

Finalizando a apresentação sobre a diversidade desses recursos computacionais, tanto para sistemas fotovoltaicos como para sistemas de aquecimento solar, é importante seguir as normas e legislações específicas do país e da região em que o sistema será instalado. Essas normas podem abordar aspectos como conexão à rede elétrica, requisitos técnicos, certificações de equipamentos, compensação de energia, segurança elétrica, entre outros.

7.3 Utilização do software PVSOL

Algumas ferramentas computacionais para simulação dos modelos de projetos fotovoltaicos utilizados neste trabalho foram pesquisadas, após uma análise prévia, o mais conveniente para dimensionar os projetos propostos foi o PVSOL. Devido ao software apresentar uma interface, aparentemente, mais amigável e ter recursos interessantes para o dimensionamento em residências, bem como a capacidade de avaliar a redução de CO₂.

O PVSOL é um software bem popular e amplamente utilizado para o dimensionamento, elaboração de projetos, modelagem e simulação de sistemas fotovoltaicos. Ele permite a modelagem detalhada do sistema, considerando aspectos como a inclinação e orientação dos módulos solares, análise de sombreamento, cálculos de perdas e previsão de geração de energia. Sua aplicação

é bastante abrangente, abarcando desde pequenos sistemas residenciais até grandes usinas solares comerciais e industriais, permitindo que os usuários realizem estudos precisos e detalhados. O PVSOL também incorpora normas e regulamentos específicos de cada país, auxiliando na conformidade com as leis locais e é especialmente útil para projetos residenciais e comerciais de pequeno porte como é o caso dos projetos realizados neste trabalho.

Assim como o PVSyst, o PVSOL permite selecionar o país em que o projeto está sendo desenvolvido, o que impacta diretamente as normas e regulamentos aplicados. Para o Brasil, o software considera as normas e regulamentos da ANEEL, assim como a Resolução Normativa 482/2012, que estabelece as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída no país. Além disso, o software também considera diretrizes internacionais, como as normas IEC 61730 e IEC 61215, que tratam dos requisitos de segurança e desempenho para módulos fotovoltaicos.

Na literatura acadêmica, o PVSOL tem sido amplamente utilizado em diversos estudos e pesquisas relacionados à energia solar fotovoltaica. Alguns exemplos de trabalhos acadêmicos nos quais o PVSOL foi empregado incluem:

“Framework for a Systematic Parametric Analysis to Maximize Energy Output of PV Modules Using an Experimental Design” - Este trabalho apresenta um arcabouço que integra diferentes parâmetros de desempenho através do uso de um design experimental para esperar todas as variáveis via análise de regressão linear. A ênfase é colocada em tornar o método prontamente disponível para profissionais e especialistas na área de energia renovável, usando procedimento padrão e utiliza o PVSOL citando-o como software acessível. O trabalho potencializa o processo de tomada de decisão e a sustentabilidade por meio uma análise paramétrica da instalação de módulos fotovoltaicos, para aumentar sua produção de energia em direção a edifícios de energia quase zero. Foi realizado um estudo de caso de um grupo de módulos fotovoltaicos, onde é examinado em quatro cidades com diferentes localizações e dados climáticos, para validar a estrutura proposta. Os resultados demonstraram que a instalação de módulos fotovoltaicos no telhado montado é melhor do que elevações, e a instalação vertical de módulos é a pior inclinação possível para maximizar o rendimento energia. O impacto da inclinação é maior do que a orientação em influenciar a produtividade energética de módulos

fotovoltaicos. Este trabalho especifica a integração de tais módulos montados em telhados e elevações em direção à linha do equador, por uma proporção de inclinação/latitude igual a $85 \pm 3\%$, para maximizar a saída de energia (Najjar, 2019).

"Performance Analysis of a Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System" - Este artigo apresenta uma visão da situação potencial para a Turquia e um estudo de simulação para o projeto e cálculo de sistema fotovoltaico conectado a rede para o prédio do corpo docente da Universidade de Marmara, em Istambul. Este estudo de simulação demonstra que o sistema conectado à rede de 84,75 kWp pode produzir uma ótima potência. O sistema é executado em detalhes com o software PV*SOL. A análise financeira e de desempenho detalhada do sistema conectado à rede para a construção do corpo docente com vários parâmetros também é realizada neste estudo (Akpolat, 2019).

"Increasing Energy Efficiency of Buildings in Serbia—A Case of an Urban Neighborhood" - Este trabalho analisa um bairro com edifícios característicos da área pesquisada, aplicando métodos e cálculos empíricos e teóricos comprovados em vários casos individuais. A principal contribuição do estudo é a demonstração de que implementar métodos para aumentar a eficiência energética dos edifícios e utilizar o potencial da energia solar pode resultar em economias significativas no consumo de energia, aumentar a sustentabilidade energética dos edifícios analisados, e reduzir substancialmente o impacto ambiental negativo. São utilizados alguns softwares para simulações, entre eles o PVsol (Djordjević, 2023).

"Optimization of a photovoltaic system: a case study Kosovo" – Esse estudo tem como objetivo a otimização do sistema fotovoltaico existente para atingir melhores resultados de desempenho energético do sistema. A metodologia utilizada é analítica, e é utilizado o software PV*SOL. Os métodos são usados para obter uma análise mais realista dos resultados alcançados, através da otimização dos sistemas consegue-se um melhor desempenho do mesmo (Bylykbashi, 2023).

Esses são apenas alguns exemplos de trabalhos acadêmicos nos quais o software PVSOL foi utilizado. É importante ressaltar, a literatura científica está em constante evolução e novos estudos estão sendo publicados regularmente, explorando ainda mais o potencial do PVSOL e suas aplicações na área de energia solar fotovoltaica.

8. METODOLOGIA

O presente capítulo irá abordar a metodologia do trabalho com uma pesquisa quantitativa baseada na elaboração de modelos de projetos com utilização de energia solar e a análise financeira de cada projeto, tendo como objetivo entender qual modelo apresenta o melhor custo-benefício.

Uma abordagem baseada em modelos é empregada de forma que os modelos digitais são utilizados para aprimorar o processo de tomada de decisão para a escolha de projetos utilizados em edificações. Esses modelos digitais são criados e usados para simular e analisar vários projetos que incorporam energia solar. Ao empregar modelos digitais, os pesquisadores podem simular o comportamento e o desempenho de diferentes designs de projetos, considerando fatores como geração de energia solar, consumo de energia, análise de custos e outros parâmetros relevantes. Esses modelos permitem uma compreensão mais abrangente da viabilidade técnica e econômica de diferentes alternativas de projeto.

Neste trabalho, a metodologia é aplicada em uma residência de um condomínio residencial de interesse social existente, promovido pelo programa do governo federal denominado Minha Casa Minha Vida.

É importante ressaltar, a metodologia utilizada no estudo de caso desse trabalho é aplicável em qualquer condomínio residencial.

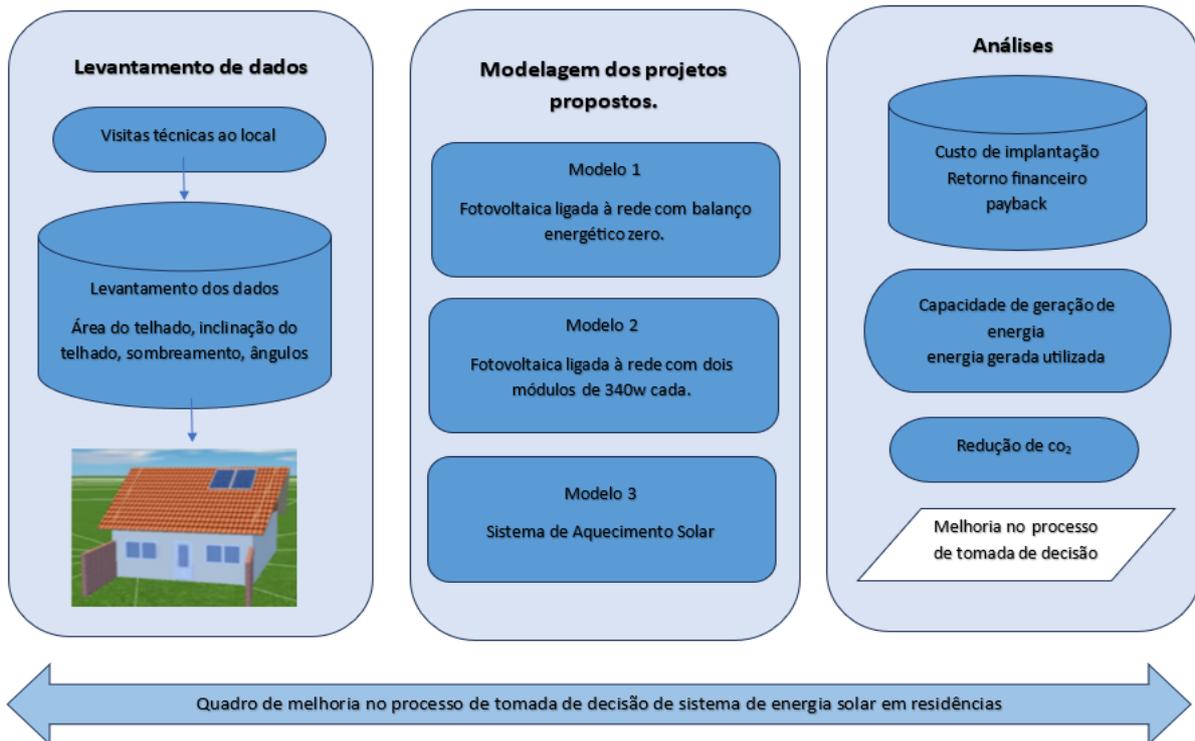
Portanto, a metodologia utilizada consiste nos seguintes passos:

- a) trabalho de campo realizando visitas para obtenção do perfil de consumo dos moradores e conhecimento do condomínio;
- b) levantamento dos dados de instalação na residência como: área do telhado, sombreamento, ângulos azimutais, e inclinação do telhado;
- c) simulação dos sistemas fotovoltaicos (modelos 1 e 2) com utilização do software PVSOL;
- d) dimensionamento do sistema de aquecimento solar (SAS);
- e) elaboração de composição de custos para implantação de cada projeto utilizando pesquisa de mercado e pesquisa de preço nas bases oficiais governamentais;
- f) cálculo da redução de emissão de CO₂ para cada modelo de projeto proposto;
- g) Por fim, análise dos resultados adquiridos como: capacidade de geração de energia, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, payback, retorno

financeiro ao longo da vida útil, capacidade de redução de CO₂ e redução de CO₂ devido a energia utilizada.

Na Figura 21, é apresentado o fluxograma com o passo-a-passo da metodologia proposta neste trabalho.

Figura 21 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor

Na tabela 3, é apresentada uma planilha com o passo-a-passo do processo, onde são definidos os IDs das etapas, de forma a estabelecer as predecessoras e sucessoras, suas respectivas descrições e os rótulos dos conectores. Isso permite exemplificar a metodologia proposta neste trabalho, bem como facilitar a elaboração e o entendimento do esquema apresentado na figura 21.

Tabela 3 - Etapas de processo da metodologia.

ID da Etapa do Processo	Descrição da Etapa do Processo	ID da Próxima Etapa	Tipo de Forma
P100	Trabalho de campo realizando visitas para obtenção do perfil de consumo dos moradores e conhecimento do condomínio.	P200	Início
P200	Levantamento dos dados de instalação na residência, como área do telhado, sombreamento, ângulos azimutais e inclinação do telhado.	P300,P400,P500	Dados
P300	Dimensionamento do sistema fotovoltaicos para o modelo de projeto 1 com utilização do software PVSOL	P600	Processo
P400	Dimensionamento do sistema fotovoltaicos para o modelo de projeto 2 com utilização do software PVSOL	P600	Processo
P500	Dimensionamento do sistema de aquecimento de água para o modelo de projeto 3 conforme ABNT – NBR 15569.	P600	Processo
P600	Elaboração de composição de custos para implantação de cada projeto utilizando pesquisa de mercado e pesquisa de preço nas bases oficiais governamentais.	P700	Processo
P700	Cálculo da redução de emissão de CO2 para cada modelo de projeto proposto	P800	Processo
P800	Análise dos resultados adquiridos (capacidade de geração de energia, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, payback, retorno financeiro ao longo da vida útil, capacidade de redução de CO2 e redução de CO2 devido a energia utilizada.)		Fim

Fonte: Autor

Conforme a metodologia utilizada, serão simulados três modelos de projetos propostos com utilização de energia solar. O primeiro com energia solar fotovoltaica, considerando um sistema em que é gerada toda energia consumida pela residência, isto é, com balanço energético zero. O segundo modelo proposto, utilizará o sistema fotovoltaico com uma carga predefinida de 680W, e no terceiro modelo será adotado o sistema de aquecimento solar (SAS) para aquecimento da água de banho.

A comparação entre os três modelos de projetos propostos tem como objetivo avaliar o custo-benefício entre eles, a partir de uma análise financeira com levantamento do custo de implantação, avaliação do payback e retorno financeiro, ao longo da vida útil de cada projeto.

Assim, a metodologia proposta utilizada neste trabalho, resultará em conhecer se é vantajoso, para este tipo de condomínio, utilizar os seguintes sistemas: tradicional (quando o sistema gera toda energia consumida pela residência); com carga pré-definida (onde pode ser considerado em muitos casos um projeto padrão, sem a necessidade de elaborar projeto específico para cada caso particular); e por fim, a utilização do sistema de aquecimento solar - SAS; ou até mesmo, dependendo do resultado, a possibilidade de utilizar um sistema híbrido.

Conforme o primeiro passo dessa metodologia, foi necessário o trabalho de campo para conhecimento das residências desse condomínio, onde realizou-se o levantamento dos dados de consumo mensal de energia elétrica do morador, os quais serão coletados nas faturas da concessionária, levando em consideração os 12 últimos meses.

Além dos dados de consumo, serão verificados: os dados das instalações na residência do condomínio; a área do telhado onde os módulos possam ser fixados; os sombreamentos; os ângulos azimutais e a inclinação do telhado. Com estes dados, pode-se extrair o resultado mais preciso. Considerando uma situação real de instalação, ou seja, os projetos serão desenvolvidos conforme os procedimentos adotados por grande parte das empresas que atuam na área, pois devido aos custos, somente são instaladas as estruturas para direcionar os painéis para o melhor aproveitamento quando o telhado é totalmente voltado para onde há menos incidência solar. Assim, numa situação real e considerando o caso estudado as perdas pelo sistema não serão minimizadas devido a otimização da posição dos módulos, sendo considerada a instalação com os módulos fixos.

Serão coletados os dados geográficos e climáticos da unidade consumidora, como as coordenadas de localização, a radiação solar, e a temperatura ambiental, isso será realizado com o auxílio do software PVSOL, o qual será utilizado para dimensionar os modelos de projetos fotovoltaicos propostos 1 e 2. Este software possui um vasto banco de dados como; coordenadas geográficas, dados climáticos, radiação solar, temperatura ambiente, módulos fotovoltaicos, inversores, tarifas de consumo e tarifa de injeção (Valentin Software, 2023).

O programa possui os dados tarifários de algumas concessionárias de energia, no entanto é possível incluir esses dados para aquelas que não são encontradas em seu banco de dados.

Na figura 23 é apresentado o banco de dados relativo aos módulos fotovoltaicos onde pode ser observado que no lado esquerdo são apresentadas as empresas fornecedoras dos módulos, e no lado direito os modelos de módulos fornecidos por esses fabricantes. Isso acontece também, com relação a dados de outros equipamentos, como por exemplo os inversores. Durante a elaboração dos projetos, será necessário acessar o banco de dados para obter quais são necessários.

Figura 22 - Banco de dados dos módulos fotovoltaicos

Favorito	Nome	Versão	ID de usuário	Eficiência em %	Tipo de célula	Potência nominal em W	Tensão PMP em V	Corrente em PMP em A	Largura em mm	Altura em mm
★	Enfinity-185M5_PV185007	1		14,49	Si monocristalino	185	36	5,14	808	1580
★	Enfinity-185M5_PV185012	1		14,49	Si monocristalino	185	36,27	5,1	808	1580
★	Enfinity-190M5_PV190003	1		14,88	Si monocristalino	190	37,85	5,02	808	1580
★	Enfinity-190M5_PV190004	1		14,89	Si monocristalino	190	36,2	5,25	808	1580
★	Enfinity-220P6_PV220007	1		13,56	Si policristalino	220	29,3	7,51	992	1636
★	Enfinity-230P6_PV230008	1		14,07	Si policristalino	230	30,2	7,62	991	1650
★	Enfinity-230P6_PV230014	1		14,09	Si policristalino	230	30,36	7,58	990	1650
★	Enfinity-230P6_PV230015	1		14,04	Si policristalino	230	30	7,66	992	1650
★	Enfinity-235M6BLK_PV235010	1		14,36	Si monocristalino	235	30,48	7,71	992	1650
★	Enfinity-235P6_PV235012	1		14,27	Si policristalino	235	30,3	7,71	992	1650
★	Enfinity-235P6_PV235013	1		14,32	Si policristalino	235	30,5	7,71	992	1655
★	Enfinity-235P6_PV235016	1		14,31	Si policristalino	235	29,52	7,96	992	1655
★	Enfinity-240M6_PV240011	1		14,64	Si monocristalino	240	31,1	7,73	992	1655
★	Enfinity-240M6_PV240012	1		14,67	Si monocristalino	240	30,78	7,8	992	1650
★	Enfinity-240M6_PV240014	1		14,68	Si monocristalino	240	29,48	8,14	991	1650
★	Enfinity-240M6BLK_PV240019	1		14,67	Si monocristalino	240	30,05	7,99	992	1650
★	Enfinity-240M6BLK_PV240020	1		14,67	Si monocristalino	240	30,78	7,8	992	1650
★	Enfinity-240P6_PV240025	1		14,66	Si policristalino	240	30,6	7,84	992	1650
★	Enfinity-245M6_PV245008	1		14,97	Si monocristalino	245	29,68	8,25	991	1650

Fonte: PV*SOL premium (R8)

Para o modelo do projeto 3, os cálculos de dimensionamento para obtenção dos resultados foram realizados conforme a Norma ABNT – NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação (ABNT, 2021).

Assim, seguindo a metodologia para o cálculo de fração solar recomendada pela referida norma para o dimensionamento do SAS, expressa no anexo B da mesma, temos as seguintes etapas de cálculo:

Etapa 1: Calcular o volume de consumo de água quente de acordo com a equação 1.

Para calcular o volume de consumo, deve ser apurado o volume que atende aos pontos de utilização, os valores de consumos diários de água quente são sugeridos e podem ser consultados na tabela C.1 da norma. Dessa forma, considerando a vazão das peças, tempo de utilização e sua frequência de uso, conforme a equação (1).

$$V_{consumo} = \sum(Q_{pu} \times T_u \times \text{frequencia de uso}) \quad (1)$$

Onde:

$V_{consumo}$ é o volume de água quente consumido diariamente, expresso em litros (L);

Q_{pu} é a vazão de utilização do aparelho, expressa em litros por minutos (L/min);

T_u é o tempo médio de utilização diário do aparelho, expresso em minutos (min);

frequência de uso é número total de utilização do aparelho por dia.

Etapa 2 Calcular o volume do sistema de armazenamento, conforme a equação 2

Para calcular o volume de armazenamento, além do volume de consumo, é importante considerar as temperaturas de consumo, de armazenamento e ambiente, conforme a equação (2)

$$V_{armazenamento} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armazenamento} - T_{ambiente})} \quad (2)$$

Onde

$V_{consumo}$ é o volume de consumo diário, expresso em litros (L);

$V_{armazenamento}$ é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em litros (L);

$T_{consumo}$ é a temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius (°C);

$T_{ambiente}$ é a temperatura ambiente anual do local de instalação, expressa em graus Celsius (°C).

Etapa 3 Calcular a demanda de energia útil, de acordo com a equação 3

A demanda de energia útil é dada pela equação (3), considerando as propriedades da água, volume de armazenamento e temperaturas do sistema.

$$E_{útil} = \frac{V_{armazenamento} \times \rho \times C_p \times (T_{armazenamento} - T_{ambiente})}{3600} \times 30 \text{ dias} \quad (3)$$

Onde

$E_{útil}$ é a energia útil, expressa em quilowatts hora por mês (kwh/mês);

$V_{armazenamento}$ é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em litros (L)

ρ é a massa específica da água igual a 1, expressa em quilogramas por litro (kg/L);

C_p é o calor específico da água igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma grau Celsius (KJ/kg .°C);

$T_{armazenamento}$ é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius (°C);

$T_{ambiente}$ é a temperatura ambiente média anual do local de instalação, expressa em graus Celsius (°C).

Etapa 4 Calcular a demanda de energia útil, conforme as equações 4, 5 e 6.

Para o cálculo da área coletora, através da equação (4), é levada em consideração uma série de variáveis, como a Irradiação Global Média Anual (IG), a energia perdida no sistema nos circuitos primário e secundário, e a produção média mensal de energia específica do coletor solar; energia esta que, por sua vez, depende de coeficientes adimensionais do coletor solar utilizado.

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,89}{PMDEE \times IG} \quad (4)$$

Onde

Acoletora é a área coletora, expressa em metros quadrados (m²);

IG é o valor da irradiação global média anual para o local da instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia (kWh/m².dia);

PMDEE é a produção média mensal de energia específica do coletor solar, expresso em quilowatts hora por mês metro quadrado kWh/(mês .m²);

Eútil é a energia útil, expressa em quilowatts hora por mês (kwh/mês);

Eperdas: é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expressa em quilowatts hora por mês (kwh/mês), calculada pela soma das perdas ou pela equação (5):

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (5)$$

Para calcular o fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar é utilizada a equação (6):

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times Y^2]} \quad (6)$$

(para 15° < β < 90°)

Onde

FCinstal é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor

β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expresso em graus (°);

$\beta_{\text{ótimo}}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^{\circ}$);

Y é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^{\circ}$).

Dessa forma, com os levantamentos dos dados e dimensionamento dos sistemas 1, 2 e 3, sendo os sistemas 1 e 2 realizados com sistemas fotovoltaicos utilizando o software Pvsol e sistema 3 com utilização do SAS. Conclui-se os passos 2 e 3 respectivamente dessa metodologia. Assim, parte-se para o quarto passo que é a elaboração da composição dos custos de cada sistema. O quinto passo consiste nos cálculos de redução da emissão de CO₂ considerado em cada sistema. Ao final, partindo para o passo seguinte, serão obtidos os resultados gerados para cada modelo, sendo este o sétimo e último passo da metodologia. Com isso, serão comparados os seguintes parâmetros dos resultados adquiridos: capacidade de geração de energia, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, payback, retorno financeiro ao longo da vida útil, capacidade de redução de CO₂ e redução de CO₂ devido a energia utilizada.

9. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso, será considerado um condomínio denominado Condomínio Vale da Mata, construído na Rua Torres, 80 – Xerém - 4º Distrito do Município de Duque de Caxias/RJ.

Segundo o Estudo de impacto de vizinhança – EIV, O empreendimento foi realizado com o intuito de contemplar uma integração entre a urbanização e conforto ambiental sobre o licenciamento e execução das obras, tendo como público alvo as famílias desabrigadas pela chuva ocorrida na região em janeiro de 2013, e ainda, a remoção das famílias que residiam às margens do Rio Capivari em Xerém, sendo viabilizado através do Programa do Governo Federal Minha Casa Minha Vida.

O condomínio em questão foi construído com sistema básico de aquecimento de água por energia solar. Dessa forma, a residência tipo do condomínio será utilizada como modelo para avaliar hipóteses de viabilidades considerando a utilização de energia fotovoltaica e o sistema térmico de aquecimento de água, com o objetivo de conhecer qual modelo apresenta o melhor custo-benefício, analisando dessa forma a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Para isso, foram propostos três modelos distintos, sendo eles:

- a) modelo 1 - um projeto fotovoltaico conectado à rede com balanço energético zero;
- b) modelo 2 - um projeto fotovoltaico conectado à rede com dois painéis solares de 340W cada, ou seja, com uma carga predefinida de 680W;
- c) modelo 3 - um projeto com sistema de aquecimento solar (SAS).

Este último, com uma particularidade, pois não foi utilizado software para realização dos cálculos e obtenção dos resultados, o mesmo foi elaborado conforme a parâmetros da Norma ABNT – NBR 15569.

Enquanto para realização dos cálculos e obtenção dos resultados para os modelos 1 e 2, foi utilizado o software PVSOL.

Quanto ao sistema dos modelos 1 e 2, a micro geração será considerada por fonte solar fotovoltaica, onde a energia produzida no período diurno é consumida diretamente pela residência e a energia excedente é enviada para a rede da concessionária, afim de compensar o uso de energia no período noturno em que as placas fotovoltaicas não produzem energia.

Portanto, a rede substitui a necessidade de utilização de banco de baterias para armazenamento de energia.

A partir deste conceito, o sistema considerado no modelo 1, é calculado para atender toda a demanda energética da residência para o período de um ano, pois há meses em que a incidência solar é maior, e meses com menor incidência solar. Assim neste modelo ,considera-se o balanço energético zero, pois nos meses em que há maior geração de energia, o excedente fica como crédito afim de compensar os meses em que há menor incidência solar.

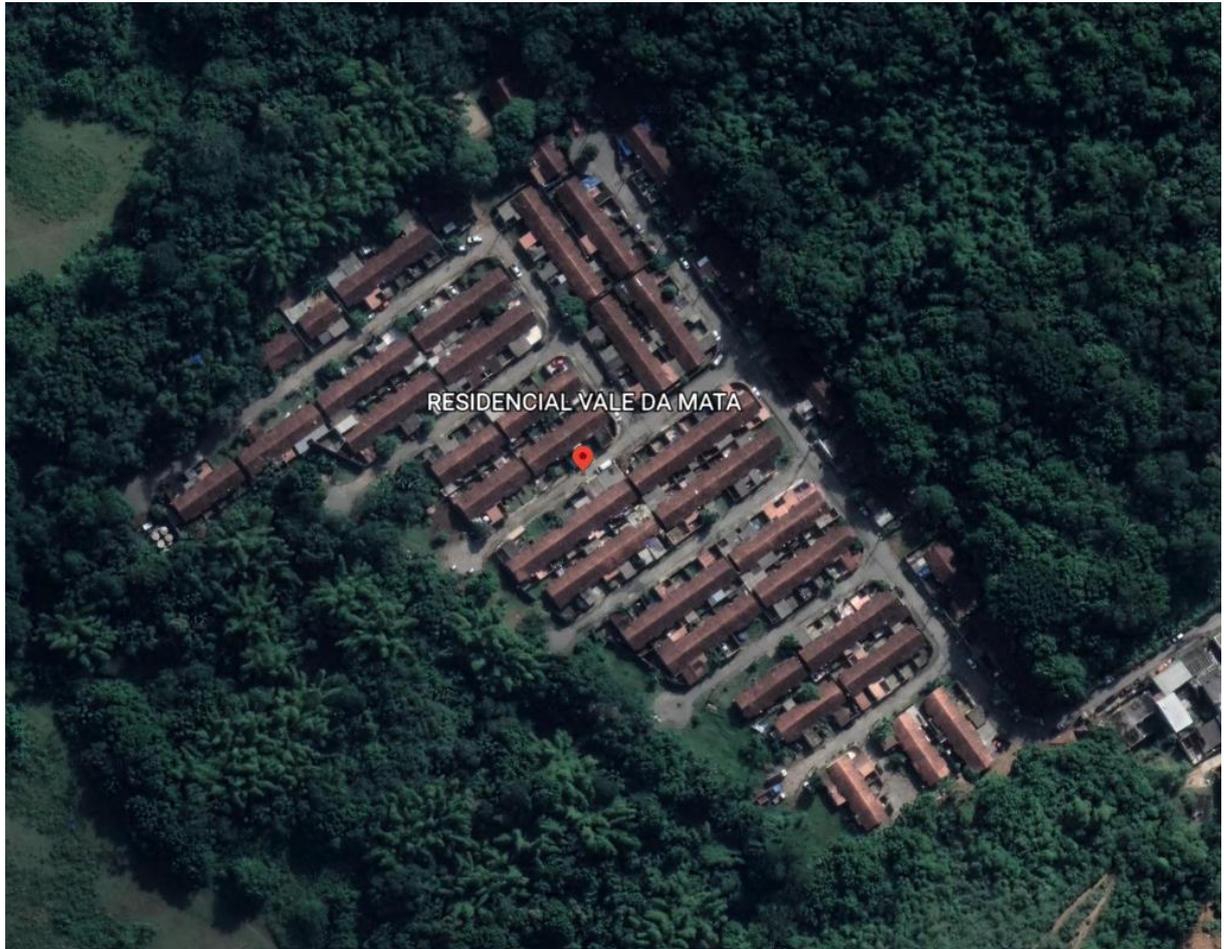
Ao utilizar energia solar como fonte alternativa para geração de eletricidade em uma determinada unidade consumidora, é necessário verificar as características para obter o máximo aproveitamento do sistema.

9.1 Características do condomínio

O Condomínio Vale da Mata, composto por 215 unidades habitacionais, dotado de infraestrutura básica, em uma área de 9.838,99 m², localizado na Rua Torres, 80 – Xerém - 4º Distrito do Município de Duque de Caxias/RJ.

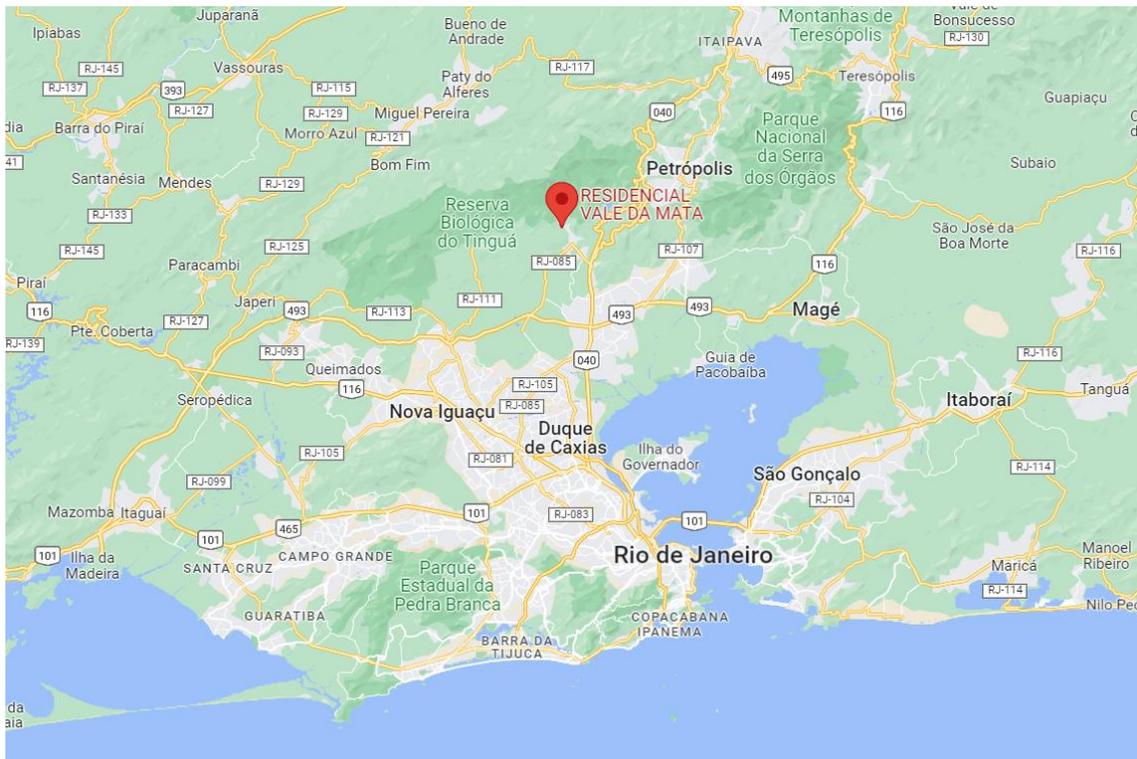
A figura 24 apresenta a imagem de satélite do condomínio estudado.

Figura 23 - Imagem de satélite do condomínio



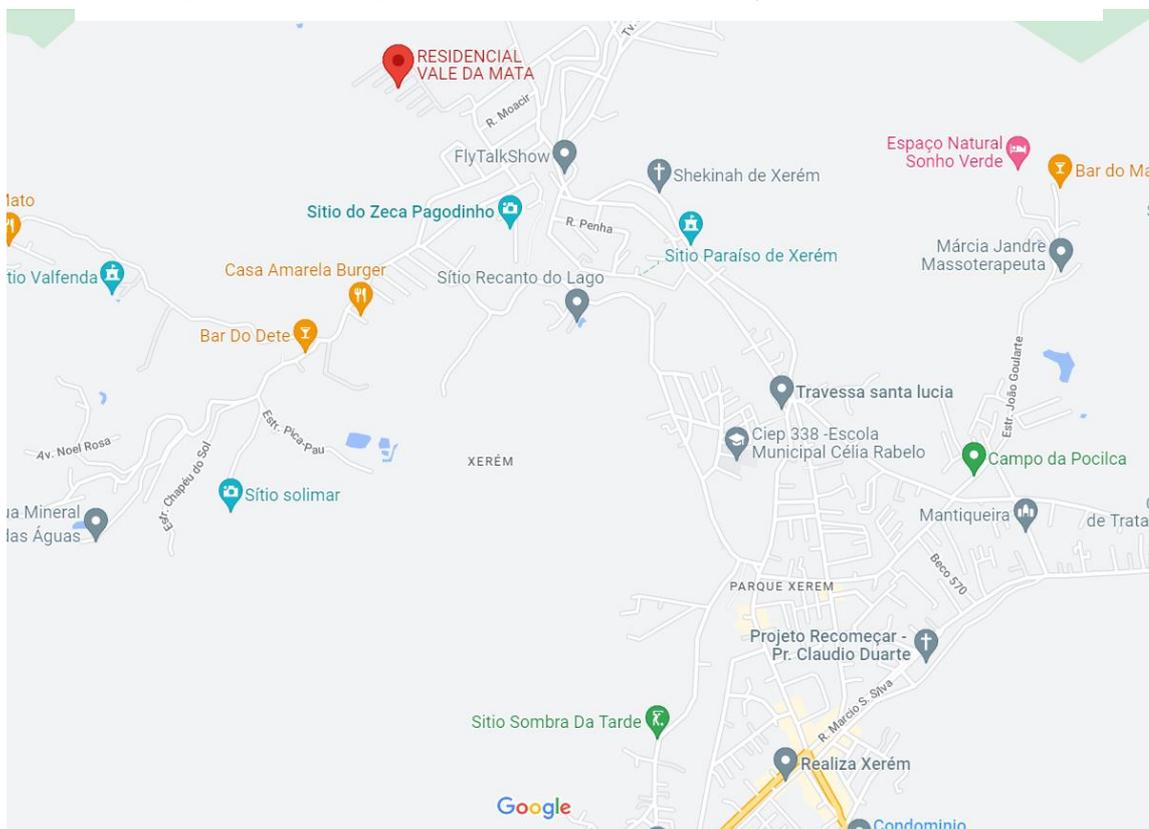
Fonte - earth.google, acessado em 16/09/2022

Figura 24 - Imagem de satélite com a localização ampla do condomínio



Fonte – google.com/map. - acessado em 10/10/2022

Figura 25 - Imagem de satélite de localização do condomínio



Fonte – google.com/map. - acessado em 10/10/2022

Figura 26 - Rua de entrada do condomínio Vale da Mata com a sede administrativa ao lado esquerdo.



Fonte – Autor.

Figura 27 - Rua de entrada do condomínio Vale da Mata com residências construídas.



Fonte – Autor.

Na Figura 28, é possível observar as placas solares para aquecimento de água que foram instaladas durante a construção das residências.

Figura 28 - Casas do condomínio Vale da Mata.



Fonte – Autor.

Figura 29 - Casas do condomínio Vale da Mata.



Fonte – Autor.

Originalmente as casas foram construídas sem os muros externos, na figura acima observa-se que em algumas casas, ainda estão sendo construídos os muros de divisão lateral e frontal por parte dos moradores.

Figura 30 - Residência tipo do condomínio Vale da Mata.



Fonte – Autor

Figura 31- Residência tipo do condomínio Vale da Mata.

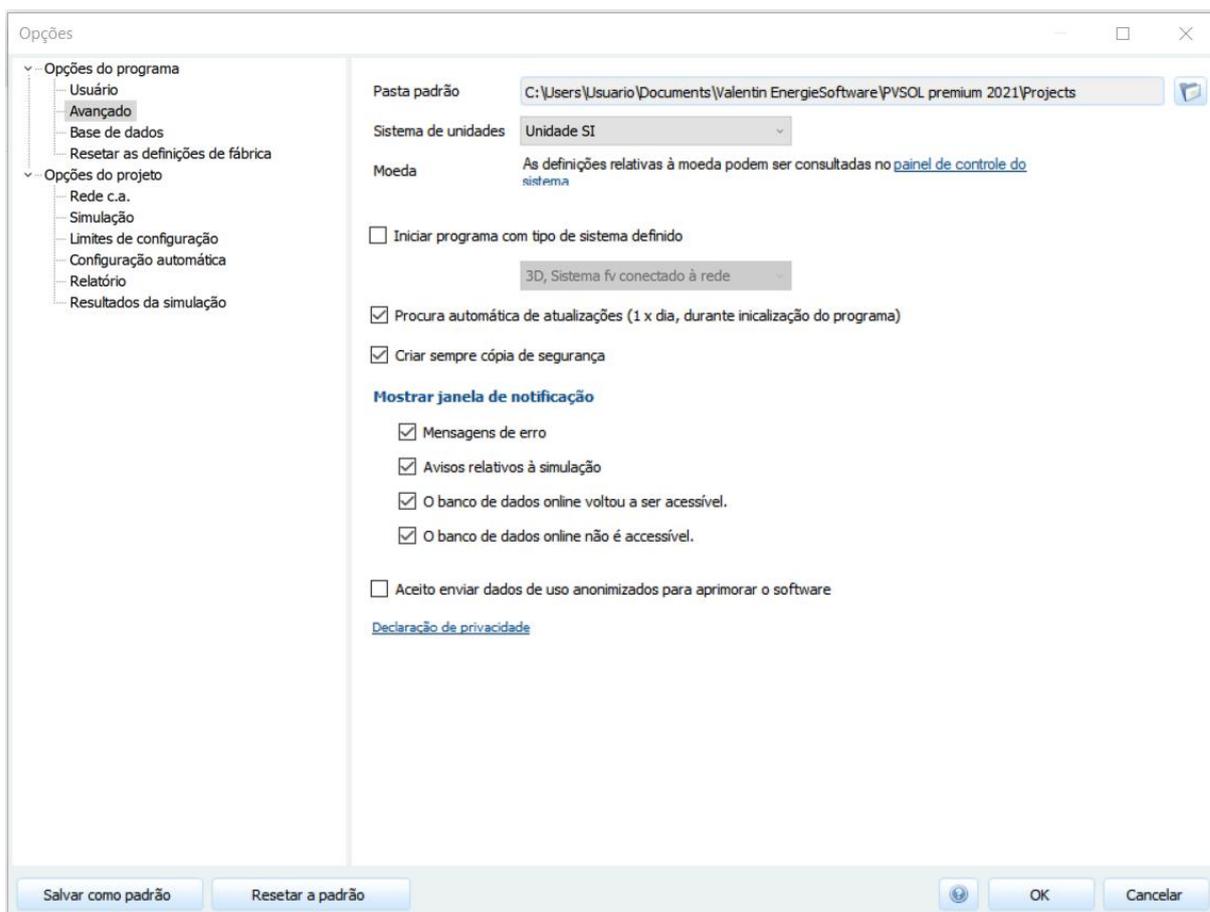


Fonte – Autor.

9.2 Dados de entrada

Para realizar a simulação no software PVSOL, alguns parâmetros devem ser considerados, entrando na guia opções é aberto uma janela para incluir as opções do programa e opções do projeto. Assim em opções de programa, foi definido o sistema de unidades no Sistema Internacional de Medidas – SI. Conforme a figura 33.

Figura 32 – Definição do sistema de unidades.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

9.3 Dados de projeto.

Em seguida, foram adicionados os dados de projeto para a residência do condomínio Vale da Mata localizado na latitude - 22° 33' 45' longitude - 43 18' 48”

Com irradiação local de 1669 KWh/m² e média anual de temperatura em 23,7° para o distrito de Xerém da cidade de Duque de Caxias no estado do Rio de Janeiro.

Os dados acima são encontrados na base de dados do programa PVSOL, quanto aos dados de energia da residência, os mesmos foram obtidos através da fatura de energia da concessionária, assim temos tensão de rede entre fase e neutro = 127V, Quantidade de fases = 3

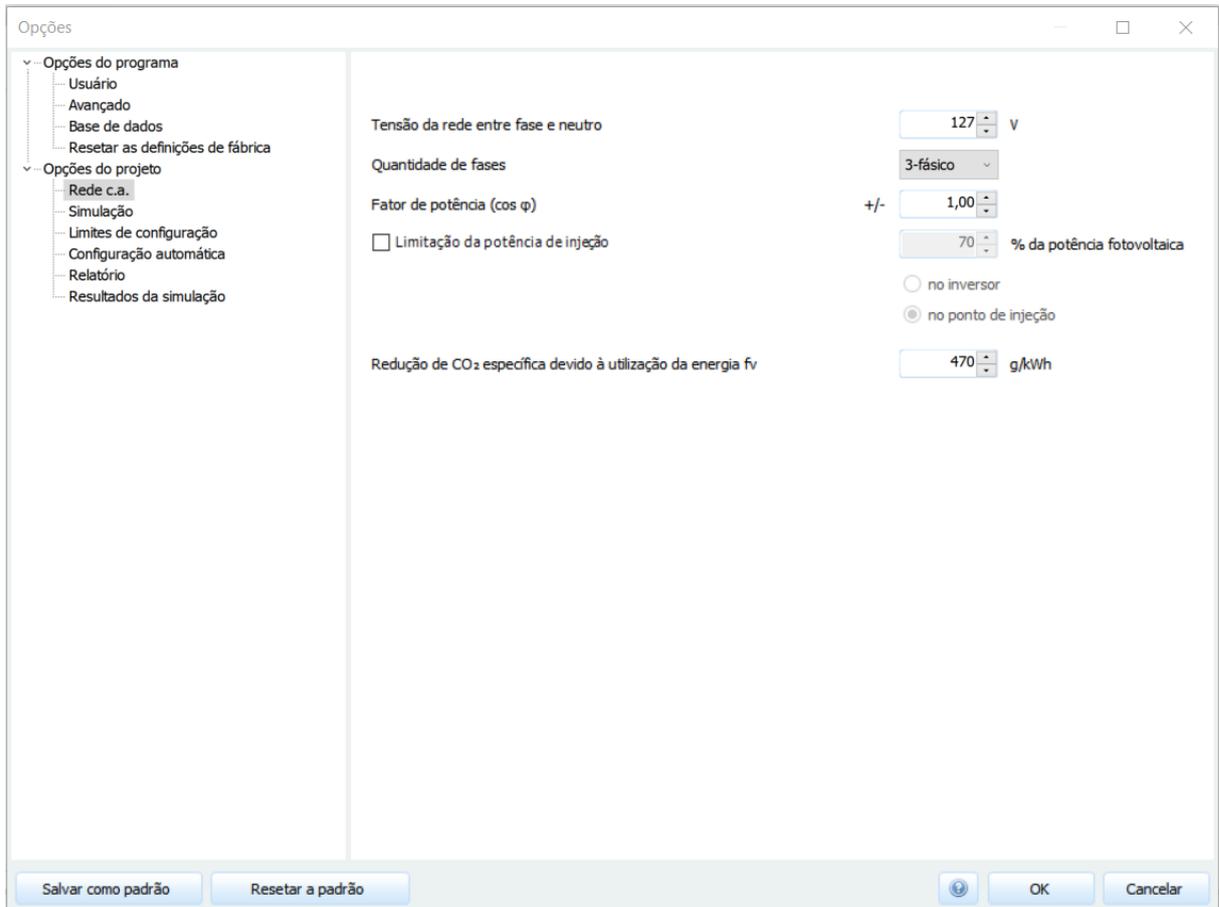
Quanto ao fator de potência, no caso de sistemas residenciais, o inversor precisa ser bem dimensionado, pois ele é quem recebe a energia das placas solares, converte a corrente contínua em alternada e deve gerar somente potências ativas mantendo o fator de potência.

Para uma carga resistiva, como por exemplo uma resistência de chuveiro ou uma lâmpada incandescente, o fator de potência será 1, pois a curva de tensão (V) e corrente (I) estarão juntas ou “em fase”. Elas não precisam possuir a mesma amplitude, mas começam e terminam juntas ao longo do tempo.

Portanto, o fator de potência para o projeto proposto = 1.

Dessa forma, na próxima guia do software ou entrando em opções, opções de projeto, rede c.a, são definidos esses parâmetros de projeto, conforme as figuras abaixo.

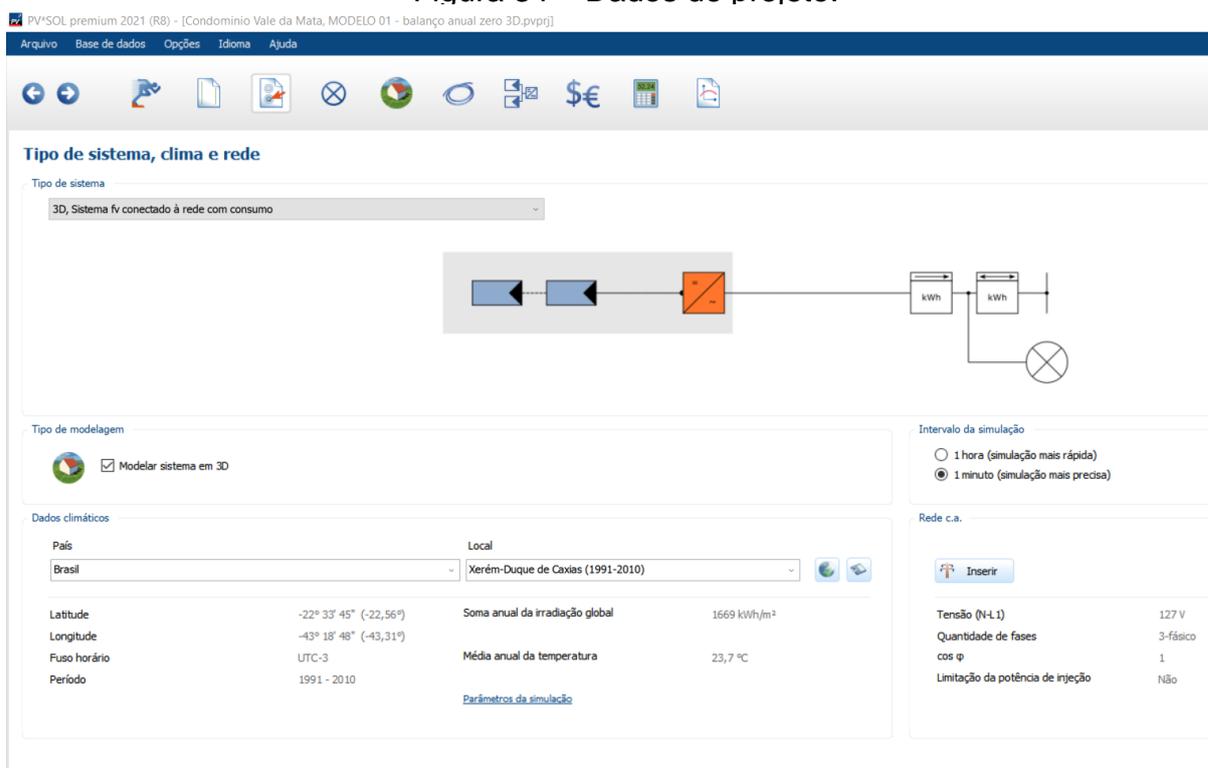
Figura 33 – Dados de projeto para corrente alternada.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Neste guia também, é possível obter a redução de CO₂ com a utilização de energia no sistema fotovoltaico, devido ao banco de dados contido no software onde é definido a quantidade em g/kwh de redução para o sistema, portanto o programa irá calcular a redução após a finalização do projeto.

Figura 34 – Dados de projeto.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

9.4 Perfil de consumo da energia elétrica.

Para a elaboração deste trabalho, foram realizadas algumas visitas no local com objetivo de obter as contas de energia para entender o perfil de consumo médio dos moradores. No entanto, a maioria não concordou em apresentar a conta de energia, mesmo explicando que seria para um estudo acadêmico da UFRJ e apresentando uma carta de comprometimento de sigilo da identidade dos residentes, os moradores foram resistentes.

É possível que alguns fatores sejam responsáveis pela inibição dos moradores em apresentar a conta de energia, destaca-se: a falta de segurança, falta de informação e possivelmente a utilização irregular de energia.

Ainda assim, foi possível obter as faturas de duas residências. Uma delas, foi utilizada como parâmetro neste trabalho.

Para a realização dos projetos propostos, verificou-se inicialmente a conta de energia elétrica para obtenção da média de consumo da unidade, considerando um consumidor denominado hipotético. Os dados de consumo de energia elétrica

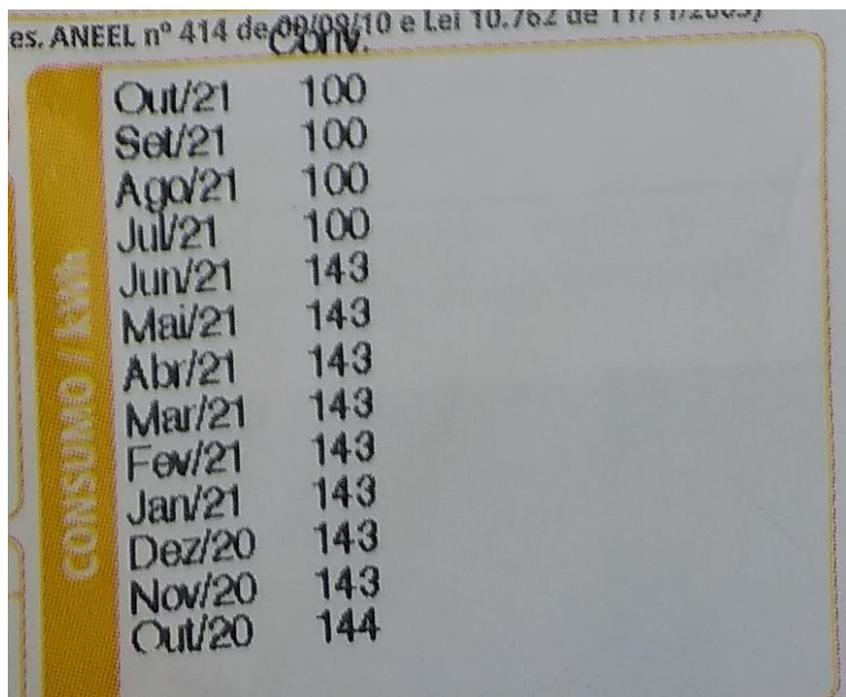
foram obtidos diretamente da fatura de energia do morador, através da média de consumo dos últimos 12 meses, em kWh, conforme consta na tabela a seguir.

Tabela 4 - Consumo de energia da residência

Diagnóstico do perfil de consumo da instalação		
	MÊS	CONSUMO kWh
1	jan/21	143
2	fev/21	143
3	mar/21	143
4	abr/21	143
5	mai/21	143
6	jun/21	143
7	jul/21	100
8	ago/21	100
9	set/21	100
10	out/21	144
11	nov/20	143
12	dez/20	143
Consumo médio mês:		132 kWh
Consumo médio dia:		4,4 kWh

Fonte: autor, extraído da fatura da concessionária de energia.

Figura 35 - Parte da fatura, contendo o consumo de energia da residência



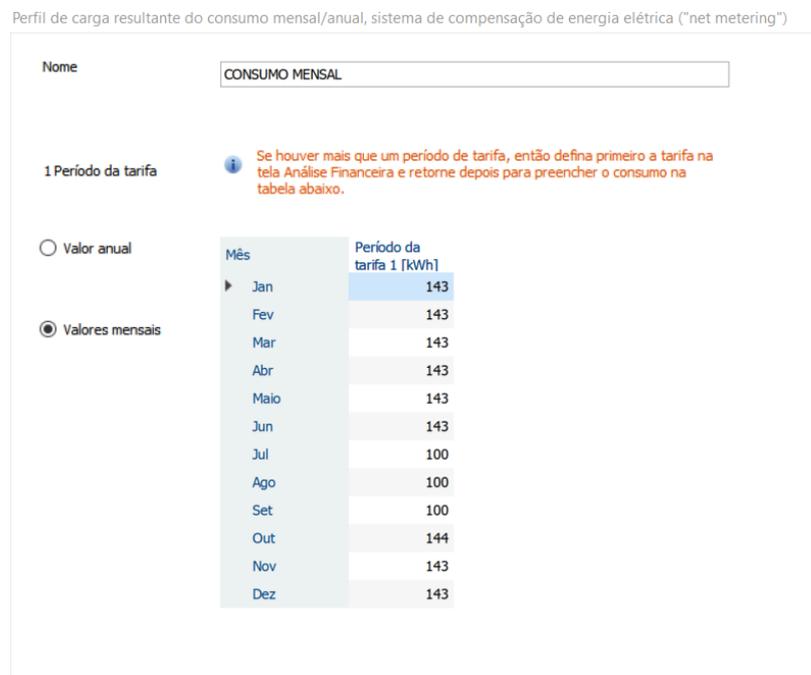
es. ANEEL nº 414 de 09/09/10 e Lei 10.762 de 11/11/2003

Consumo / kWh	Consumo
Out/21	100
Set/21	100
Ago/21	100
Jul/21	100
Jun/21	143
Mai/21	143
Abr/21	143
Mar/21	143
Fev/21	143
Jan/21	143
Dez/20	143
Nov/20	143
Out/20	144

Fonte: autor, fatura da concessionária de energia.

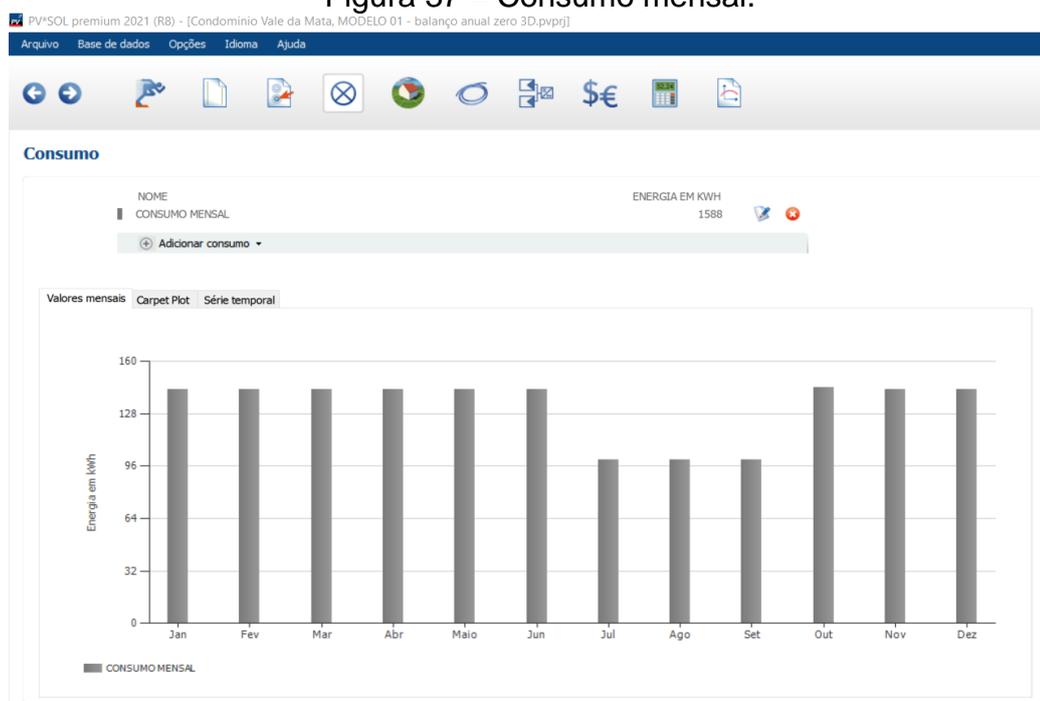
Dessa forma, seguindo para a próxima guia do programa são informados o consumo mensal da residência no período de um ano, conforme as figuras abaixo.

Figura 36 - Inserção do consumo mensal.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Figura 37 – Consumo mensal.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

9.5 Modelagem em 3D para o projeto 1 – (balanço energético zero).

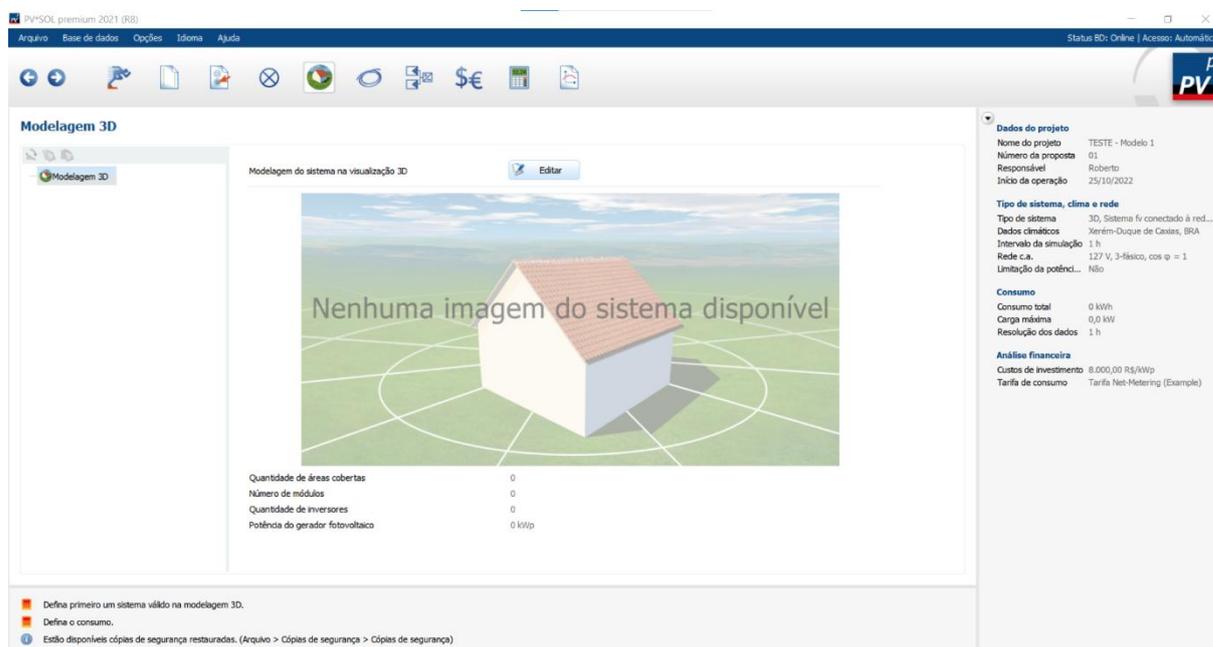
O software possui a opção de dimensionar o sistema no modelo 2D ou 3D.

Na modelagem 3D o dimensionamento possui resultados mais precisos, pois é possível elaborar o desenho da residência e informar as medidas da mesma, inclusive inclinação, o tipo e a área do telhado, bem como, considerar obstáculos periféricos que possam causar interferências na geração de energia devido ao sombreamento. Com isso, além de o programa calcular a perda por sombreamento, ele permite também um melhor entendimento do projeto.

Portanto, neste projeto, foi utilizada a modelagem 3D.

Assim, seguindo para o próximo passo, na guia modelagem 3D, temos a tela inicial conforme a figura a baixo:

Figura 38 – Tela inicial para modelagem 3D.

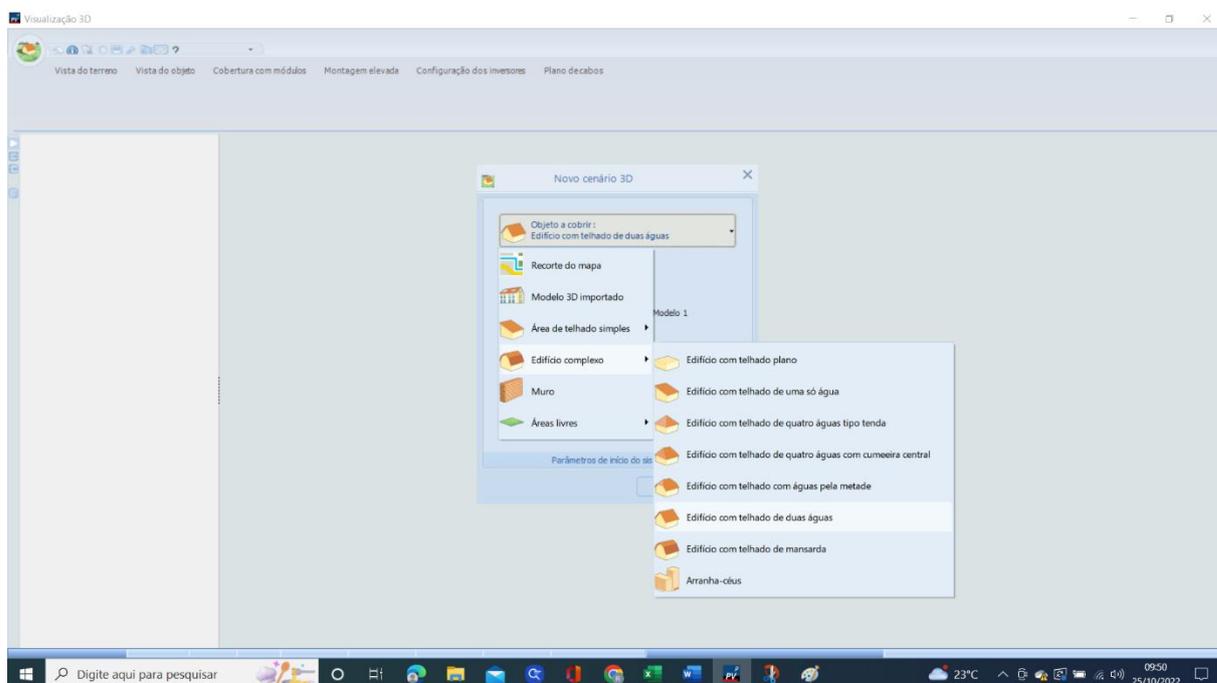


Fonte: PV*SOL premium (R8)

A partir desse ponto, através do botão “editar” é aberta uma nova janela intitulada de “novo cenário 3D” onde é definido o tipo da edificação e do telhado.

Neste trabalho é considerado edifício com telhado de duas águas. Conforme a figura 40:

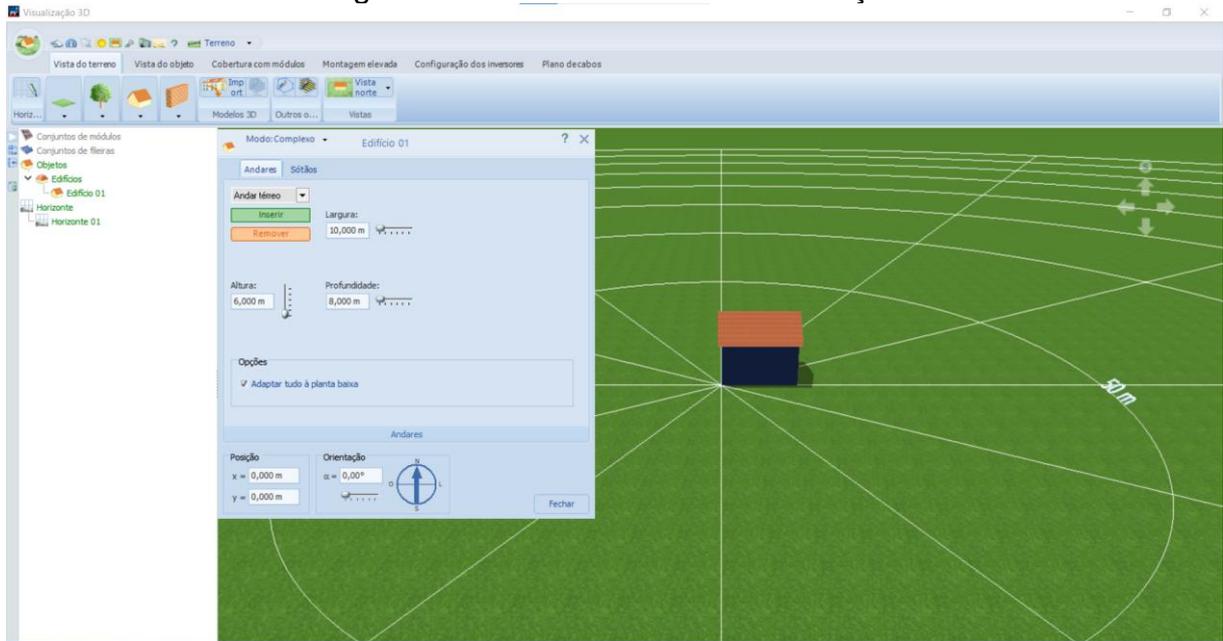
Figura 39 - Janela para novo cenário 3D



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Neste cenário aparece uma residência, onde é possível inserir as características da edificação como as medidas, altura do pé direito, números de andares e até mesmos elementos de aspectos visuais, que não, necessariamente, afetam o dimensionamento, como por exemplo: janelas, portas e muretas laterais. No entanto, qualquer elemento que possa interferir no sombreamento como árvores, edificações periféricas ou qualquer outro objeto, o programa irá considerar no cálculo.

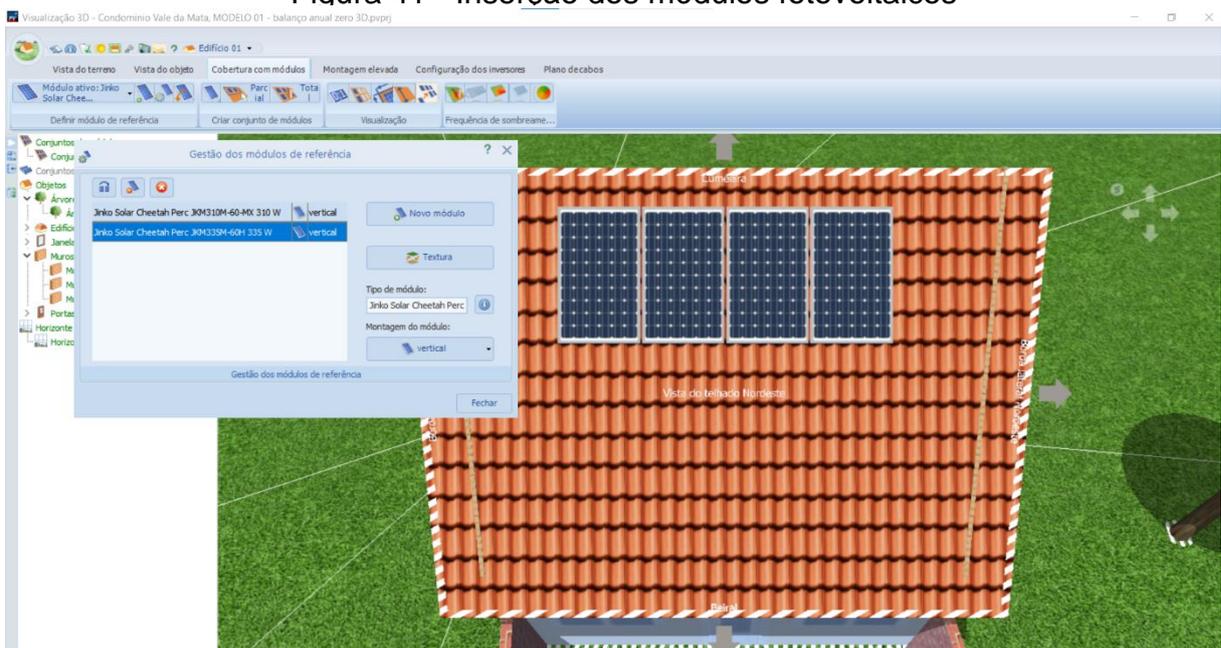
Figura 40 - Características da edificação



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Após a definição das características da edificação, bem como elementos que possam causar sombreamentos. São definidos os módulos fotovoltaicos, neste projeto estão sendo considerados quatro módulos do fabricante ZNShine PV-Tech Co.,Ltd. com 340W cada com a especificação “ZXP6-72-340”, na posição vertical conforme a figura 42:

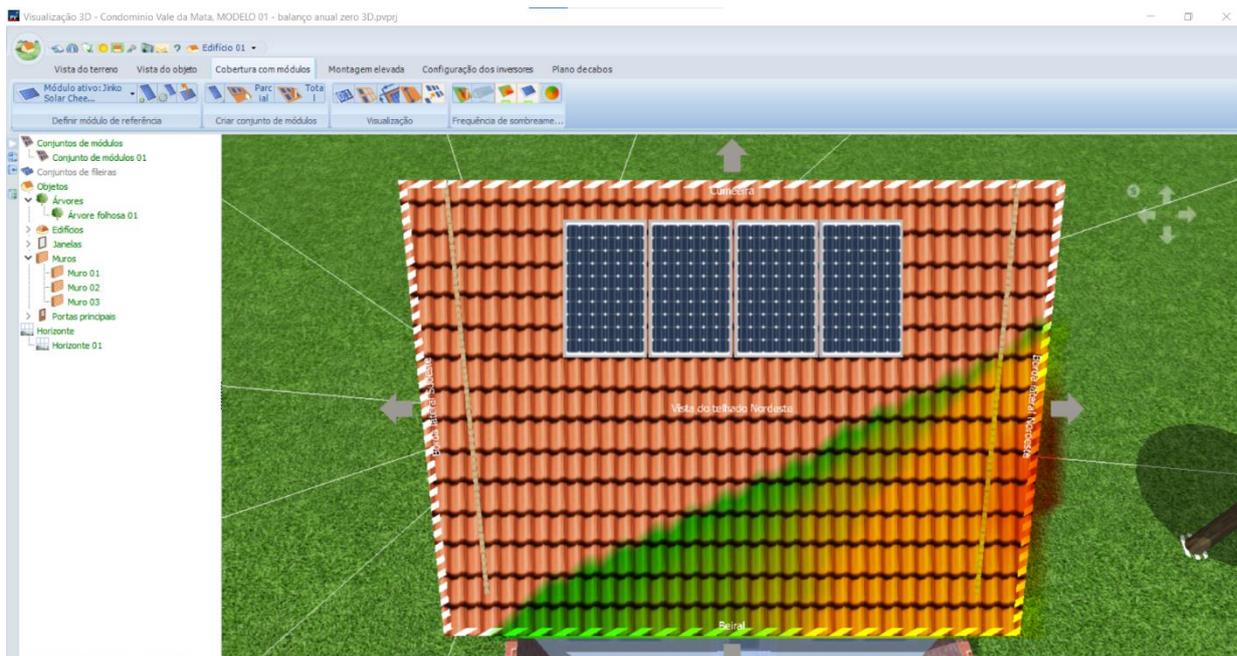
Figura 41 - Inserção dos módulos fotovoltaicos



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Com a definição dos módulos, é possível analisar o sombreamento, conforme a figura abaixo. Neste caso não há interferência, mas se houvesse alguma interferência do sombreamento em que pudesse afetar as placas solares, o programa iria calcular as perdas.

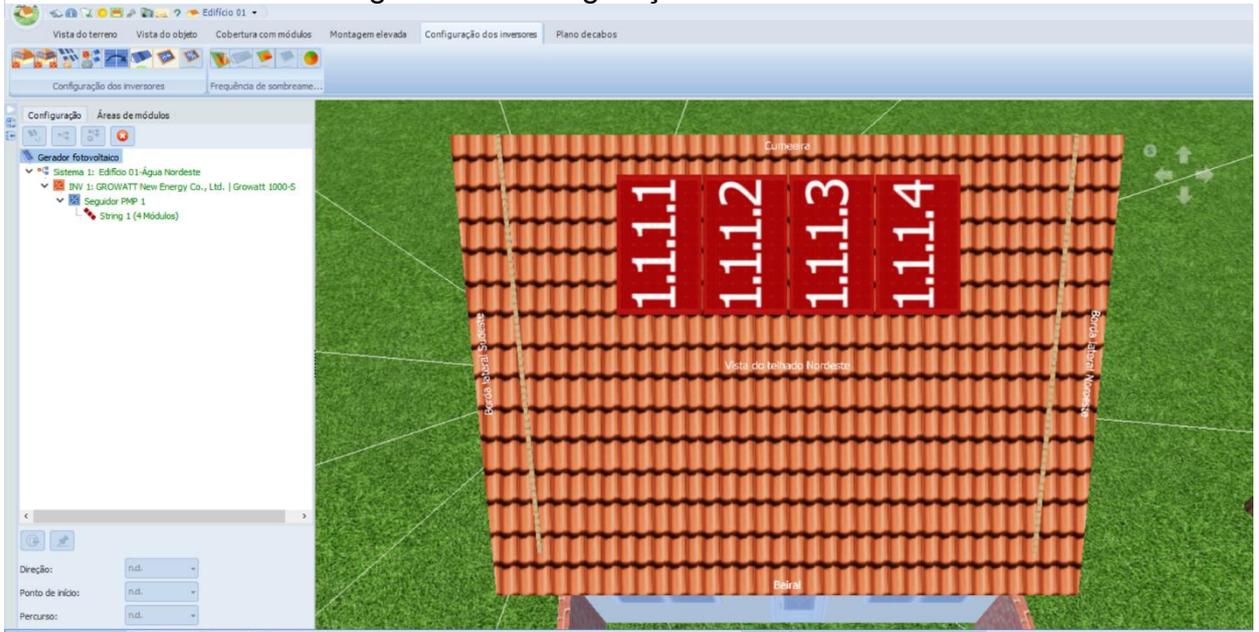
Figura 42 - Análise do sombreamento



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Em seguida foi realizado a configuração dos inversores, considerando um inversor de 1,5kw do fabricante GROWATT para o um string com quatro módulos fotovoltaicos, com a especificação “GROWAT New Energy Co., Ltd. | Growat-1500-S”. Conforme a figura 44:

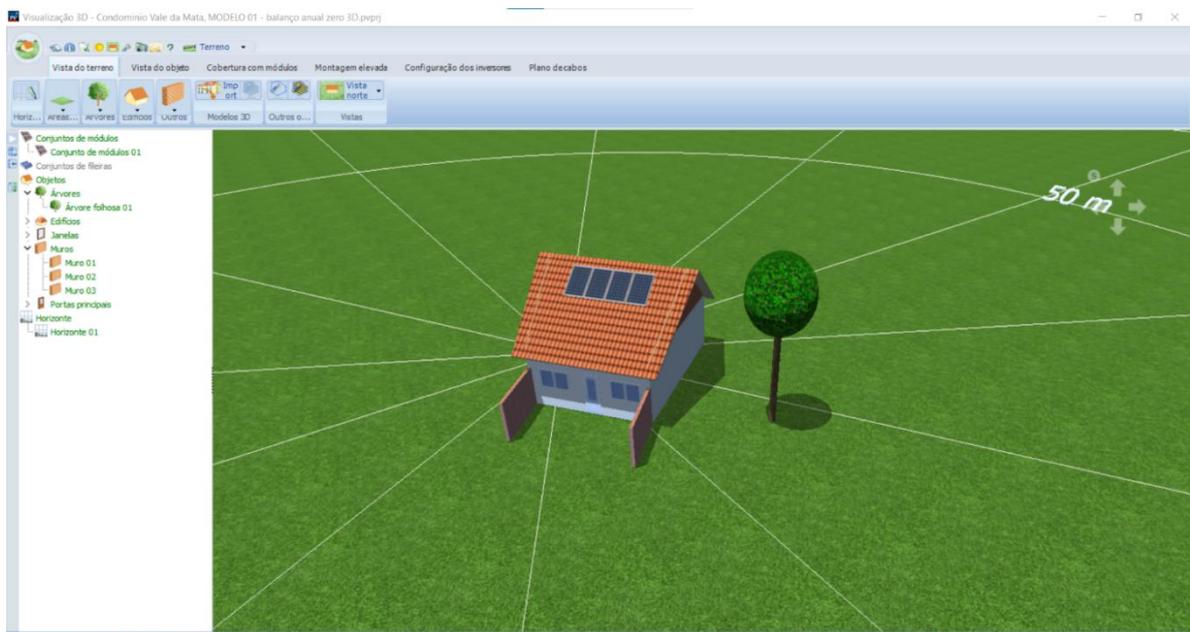
Figura 43 - Configuração dos inversores



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Após a definição das características da residência, elementos periféricos, módulos solares e inversor, temos a edificação conforme a figura 45:

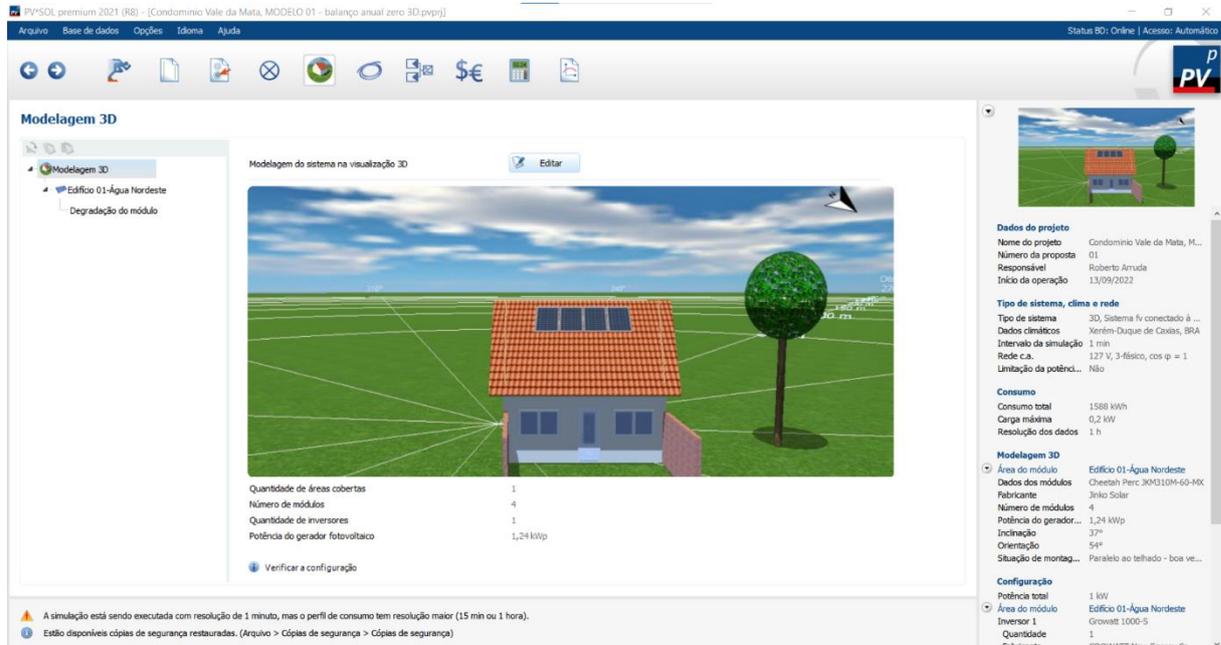
Figura 44 - Configuração da edificação em 3D



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Nesta etapa, é preciso determinar o cabeamento, com isso saindo da modelagem 3D temos a figura 46:

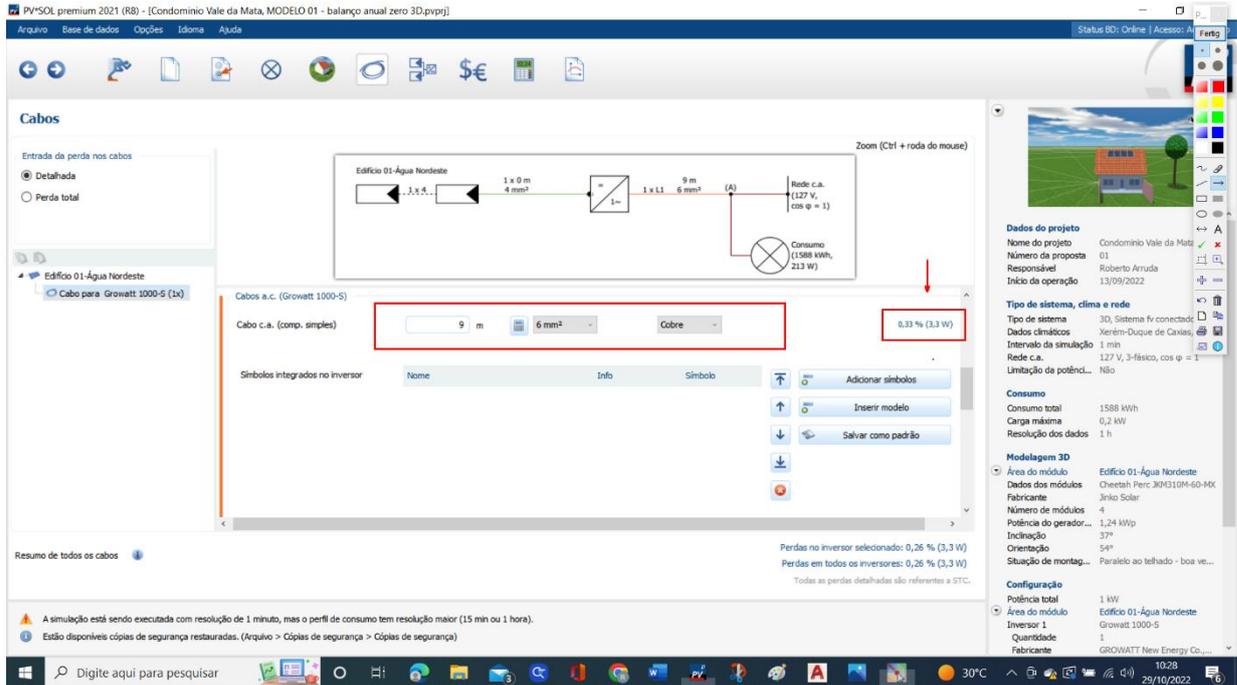
Figura 45 - Configuração do cabeamento



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Seguindo com a configuração do cabeamento, o software apresenta o diagrama elétrico, onde é possível definir o comprimento, material e seção de todos os cabos. Dessa forma, é possível avaliar as perdas, conforme esses dados. Assim para o cabeamento de corrente alternada com um comprimento de 9m, utilizando um cabo de cobre de 6mm², a perda fica em 0,33 (3,3 W) conforme a figura 47:

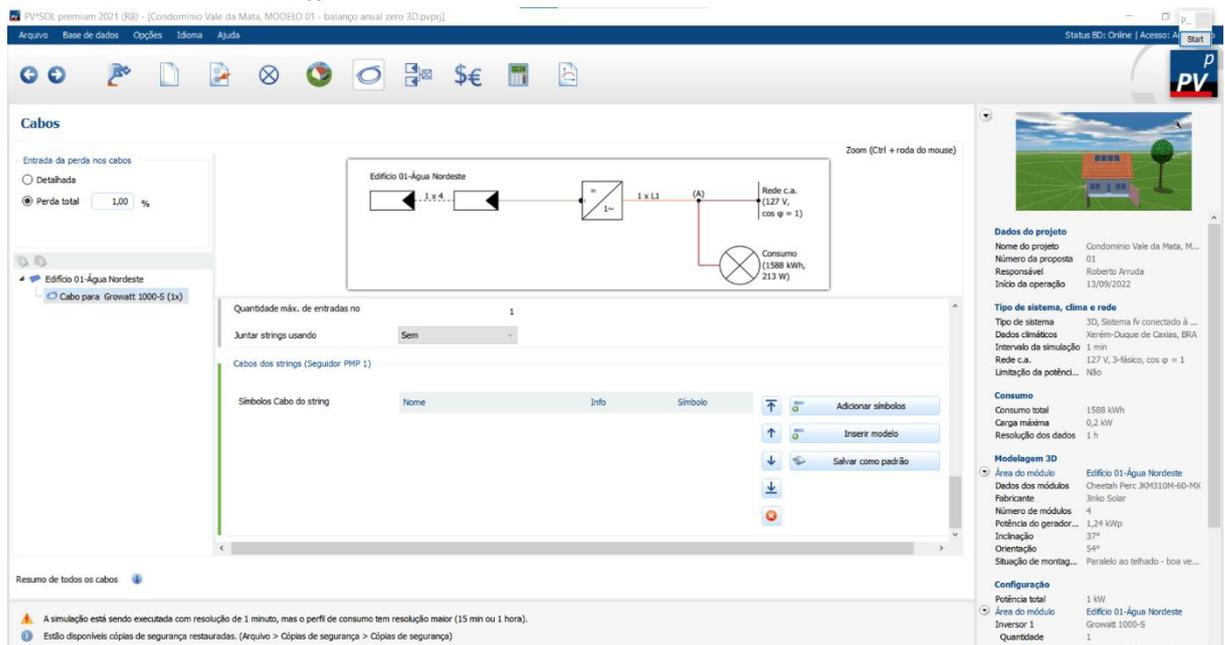
Figura 46 - Diagrama elétrico



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Assim, é possível determinar as perdas do cabeamento em corrente contínua que ligam os modelos fotovoltaicos ao inversor, quanto aos cabeamentos em corrente alternada que levam a energia elétrica para os pontos de consumo da residência. Pode-se também optar em adotar um valor de perda total para o sistema, assim no presente trabalho foi considerado uma perda total de 1%, conforme figura 48:

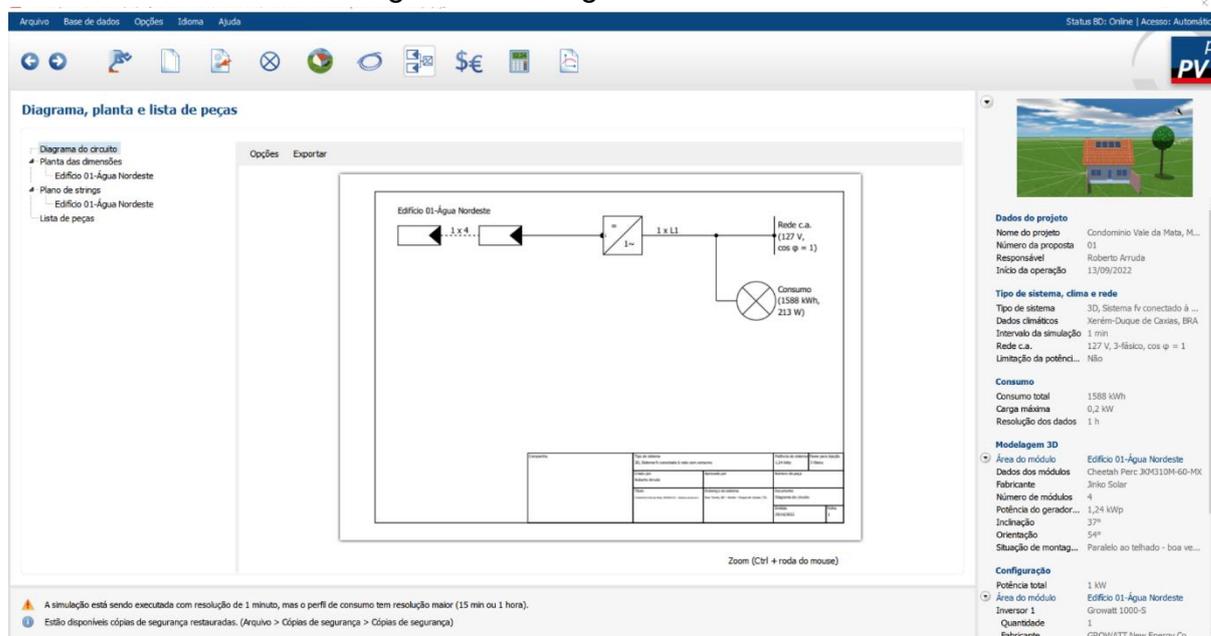
Figura 47 - Perda devido ao cabeamento em cc.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Prosseguindo para a próxima guia do programa é apresentado o diagrama do circuito, conforme a figura 49:

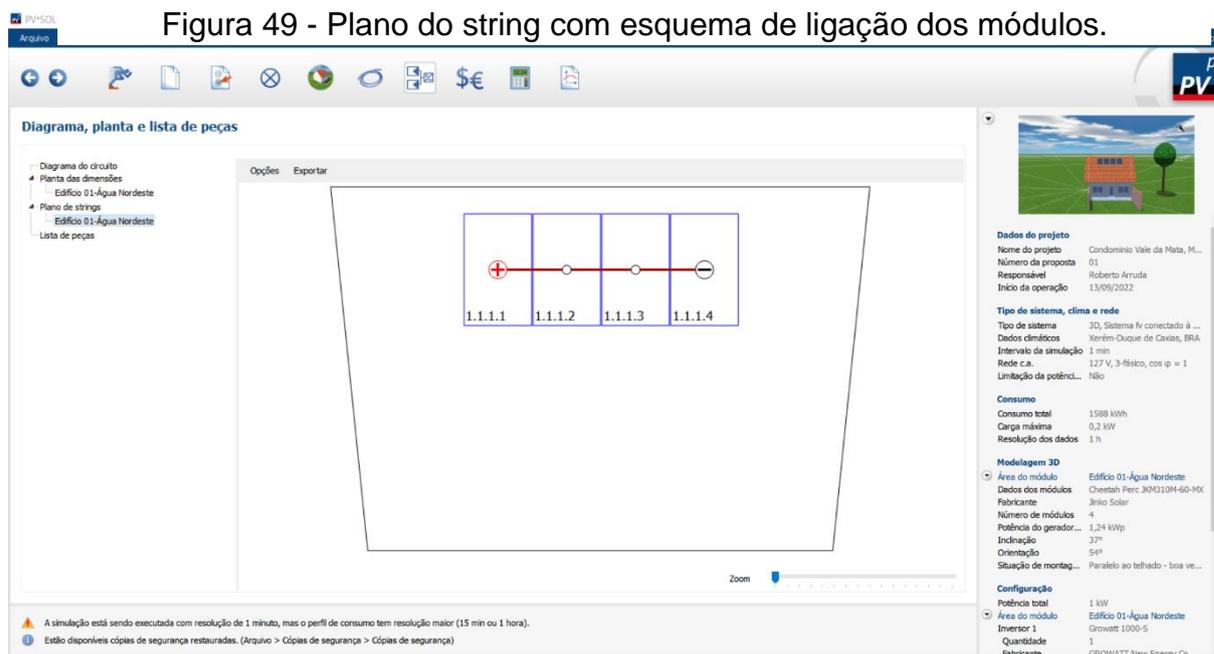
Figura 48 – Diagrama do circuito



Fonte: PV*SOL premium (R8)

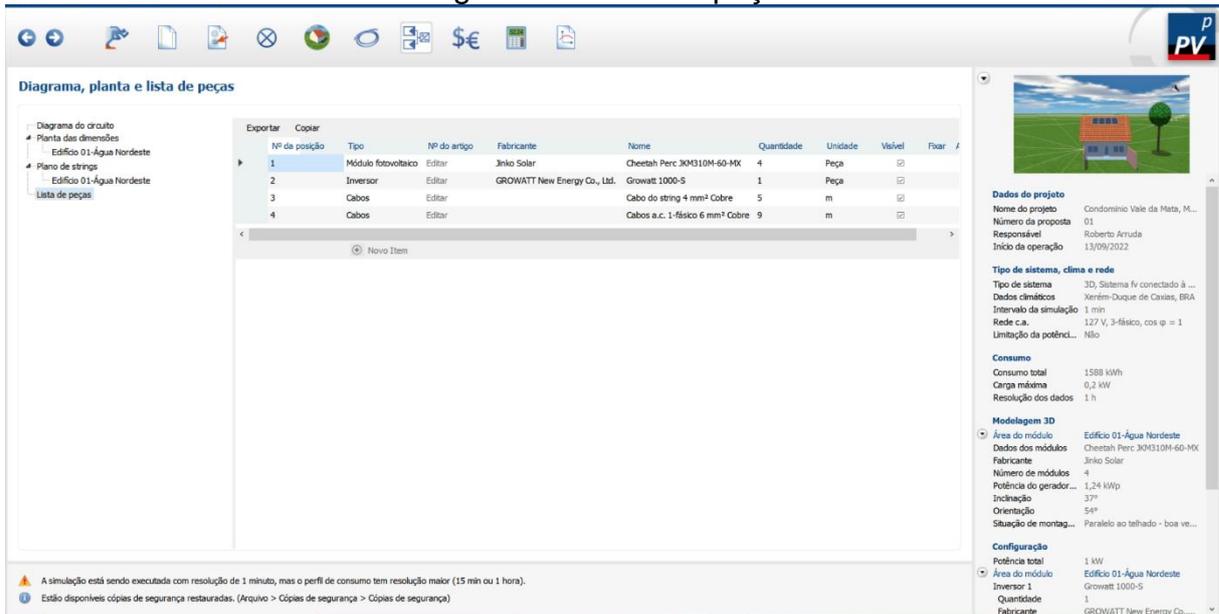
Nessa guia é possível obter também a planta do telhado, o plano de strings, com o esquema de ligação das placas e a lista de material, conforme as duas figuras seguintes, 50 e 51:

Figura 49 - Plano do string com esquema de ligação dos módulos.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

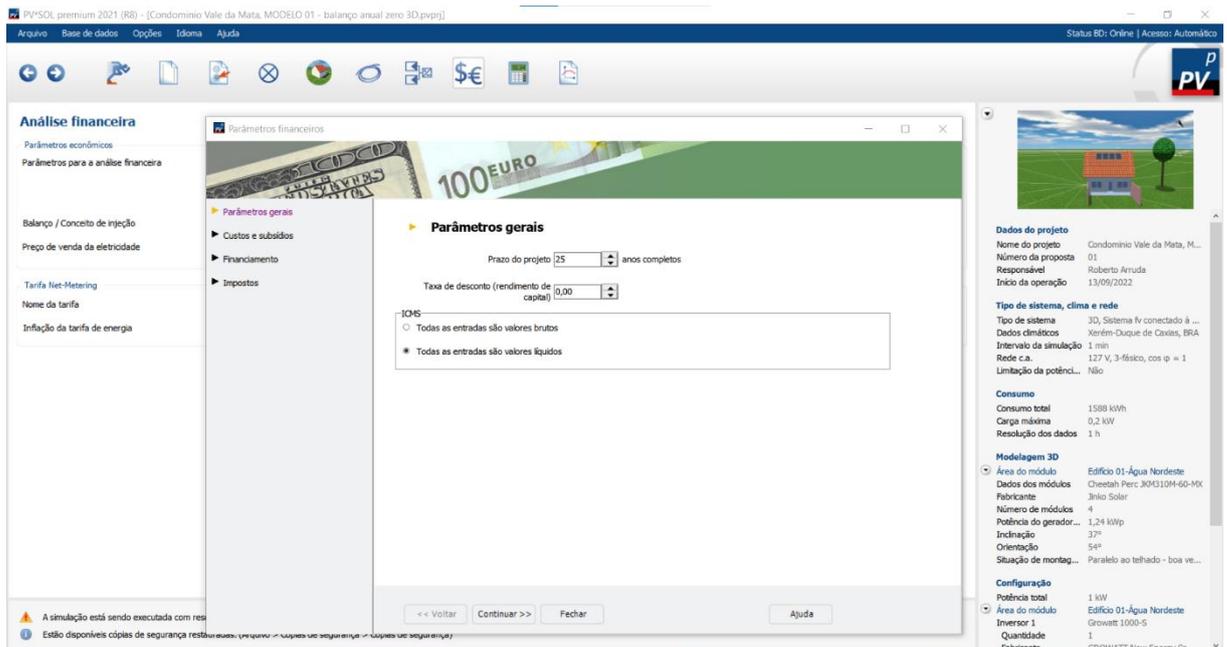
Figura 50 - Lista de peças



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Em seguida, a última para entrada de informações é a análise financeira. Assim, na próxima guia são informados os dados gerais para os parâmetros financeiros, considerado o prazo de projeto em 25 anos, que é o tempo em que as placas começam a perder seus rendimentos:

Figura 51 - Parâmetros gerais para os dados financeiros



Fonte: PV*SOL premium (R8)

9.5.1 Composição de custos para o modelo de projeto 1

Na próxima guia foram inseridos os parâmetros de custos e subsídios, onde é necessário informar os “investimentos amortizáveis” que é o custo inicial para implantação do sistema, para inserir esse dado foi aplicado um método comumente utilizado para orçamento e propostas do mercado de energia solar. Assim, foi necessário fazer uma pesquisa de mercado para levantar os custos dos componentes, a maior dificuldade foi encontrar no mercado os painéis e inversores compatíveis com o banco de dados do programa, isto porque há inúmeras marcas e modelos tanto dos módulos, quanto para os inversores. Nas figuras 53 e 54, constam a pesquisa de mercado dos módulos fotovoltaicos e do inversor:

Figura 52 - Cotação do custo com painéis fotovoltaicos

The screenshot shows a checkout page for 'MINHA CASA SOLAR'. The page includes a navigation bar with the company logo, a search bar, and an 'Atualizar' button. Below the navigation bar, there are two main sections: 'SUA SACOLA DE COMPRAS' and 'RESUMO DO PEDIDO'.

SUA SACOLA DE COMPRAS

Descrição do produto	Quantidade	Preço unitário	Total
 PAINEL SOLAR 340W POLICRISTALINO HALFCELL ZNSHINE - ZXP6-HLD144	4	R\$ 849,00	R\$ 3.396,00

RESUMO DO PEDIDO

Possui cupom?

Digite o cep do endereço de entrega:
25245-670

Não sabe o CEP?

Movvi Standard	301,35	Em até 4 dias úteis
Solistica	343,46	Em até 6 dias úteis
DHL	391,79	Em até 6 dias úteis

SUBTOTAL R\$3.396,00
TOTAL R\$3.396,00

Buttons: CONTINUAR COMPRANDO, FINALIZAR COMPRA, FINALIZAR COMPRA, and a circular refresh icon.

Fonte: altor

Figura 53 - Cotação do custo com o inversor.

Home ENERGIA SOLAR Inversor Inversor Solar Fotovoltaico On Grid
Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Inversor Mic1500ti-x 1.5kw Monofasico 220v 1mppt Monitoramento

Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Inversor Mic1500ti-x 1.5kw Monofasico 220v 1mppt Monitoramento

CÓDIGO: A68207-00

Disponibilidade: 1 dia + frete

Quantidade: 1 **COMPRAR** **R\$ 2.040,55 à vista**

ou **R\$ 2.040,55 à vista**

Calcular o frete e prazo de entrega

25245-670 **OK**

Não sei meu CEP

Serviço	Prazo	Valor
Envio SoSolar	15 dias úteis	R\$ 172,43
PAC	6 dias úteis	R\$ 89,84
Sedex	1 dias úteis	R\$ 129,84

OUTRAS FORMAS DE PAGAMENTO

COMPARTILHE

Fonte: altor

Foi possível observar que o banco de dados do programa não acompanha a velocidade com que o mercado lança novos modelos, principalmente se tratando dos módulos fotovoltaicos.

Para um melhor detalhamento e seguindo a metodologia comumente utilizada no mercado de instalação de energia solar para orçamentação, foi criada uma planilha orçamentária para calcular o valor da implantação do sistema, conforme a tabela abaixo:

Tabela 5 - Planilha de composição de custos do sistema.

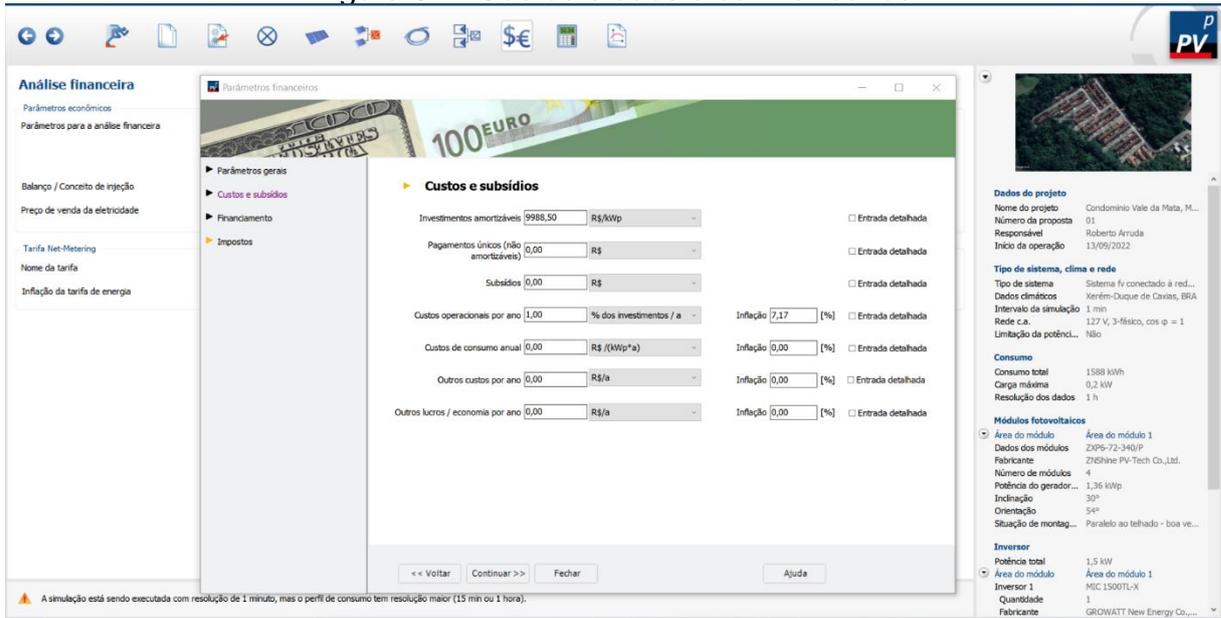
Referência	Data da pesquisa	Descrição	UNID.	Quant.	Valor unitário	Valor Total
https://checkout.minhacasasolar.com.br/Carinho/Home	04/11/2022	PAINEL SOLAR 340W POLICRISTALINO HALFCELL ZNSHINE - ZXP6-HLD144	UN	4	R\$ 849,00	R\$ 3.396,00
https://checkout.minhacasasolar.com.br/Carinho/Home	04/11/2022	FRETE PARA PLACA SOLAR	UN	1	R\$ 301,35	R\$ 301,35
https://sosolar.com.br/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-inversor-mic1500tl-x-	04/11/2022	Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Inversor Mic1500tl-x 1.5kw Monofasico 220v 1mppt Monitoramento	UN	1	R\$ 2.040,55	R\$ 2.040,55
https://sosolar.com.br/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-inversor-mic1500tl-x-	04/11/2022	FRETE PARA O INVERSOR	UN	1	R\$ 89,84	R\$ 89,84
https://www.aldo.com.br/produto/86610-1/estrutura-solar-fotovoltaico-solar-group-asmtc240x000md04-4-paineis-fixador-	07/11/2022	ESTRUTURA SOLAR FOTOVOLTAICO SOLAR GROUP (86610-1) ASMTc240X000MD04 4 PAINES FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL SMART	UN	1	R\$ 628,00	R\$ 628,00
https://www.embrar.com.br/estrutura-instalacao-painel-solar/p?idsku=14102	07/11/2022	Estrutura (Perfil) em Alumínio para Fixação de PAINEL Solar Fotovoltaico – Barra com 4,2m	UN	1	R\$ 169,62	R\$ 169,62
https://www.planetapc.com.br/conector-mc4-conector-32-0016-17p0002-02-pares-	07/11/2022	STAUBLI CONECTOR MC4 32.0016+17P0002 - 02 PARES DE CONECTORES MC4	UN	1	R\$ 30,32	R\$ 30,32
https://www.magazineleuza.com.br/cabo-fotovoltaico-6mm-10m-preto-10m-vermelho-mc4-staubli-reicon/p/fd65kkf558/ep/eapa/?&seller_id=tagsolar2&utm_source=google&utm_medium=	07/11/2022	Cabo Solar Fotovoltaico 6mm - 10m Preto + 10m Vermelho, fabricante reicon certificada ISO9001 cabo certificado pela TÜV Rheinland do Brasil uso em Sistema Fotovoltaico conforme nbr 16612, NM-280, 16690, 5410 e IEC60228	UN	1	R\$ 196,00	R\$ 196,00
https://planetaledbrasil.com.br/produto/kit-string-box-solar-cc-cnc-2-dps-600vdc-2-	07/11/2022	String Box Solar CNC 2/2 - com 2 DPS de 600vcc e 2 Disjuntor 2x16a,	UN	1	R\$ 453,90	R\$ 453,90
www2.rio.rj.gov.br - (SCO -RIO / Cod: IP 60.05.0150 (/))	07/11/2022	Servico de apoio as instalacoes requeridas a empreiteira, sendo: 1 eletricista e 1 ajudante . Turma Tecnica. Horário diurno.	H	20	R\$ 31,09	R\$ 621,80
		Total Parcial				R\$ 7.927,38
		BDI - Benefícios e Despesas Indiretas = 26%				R\$ 2.061,12
		CUSTO TOTAL DO SISTEMA				R\$ 9.988,50

Fonte: autor

É importante salientar, que esse custo pode ser menor, uma vez que os revendedores desses materiais oferecem desconto na faixa de 10% a 27% para quem realiza a compra com cadastro de CNPJ, no caso da planilha orçamentária acima, não houve o cadastro, portanto não houve desconto para os valores inseridos na planilha.

Com o valor total para implantação do sistema, é possível partir para a próxima guia do software, onde são inseridos os dados de custos. Assim, foram considerados o valor de R\$ 9.988,50, conforme a planilha orçamentária, custos operacionais por ano de 1% que equivale a R\$ 99,98 para realização de limpeza dos módulos. Considerando uma inflação média de 7,17%, de acordo com os dados oficiais do IBGE, o valor acumulado em doze meses do IPCA entre janeiro e setembro de 2022. (IBGE, 2022), conforme a figura 54.

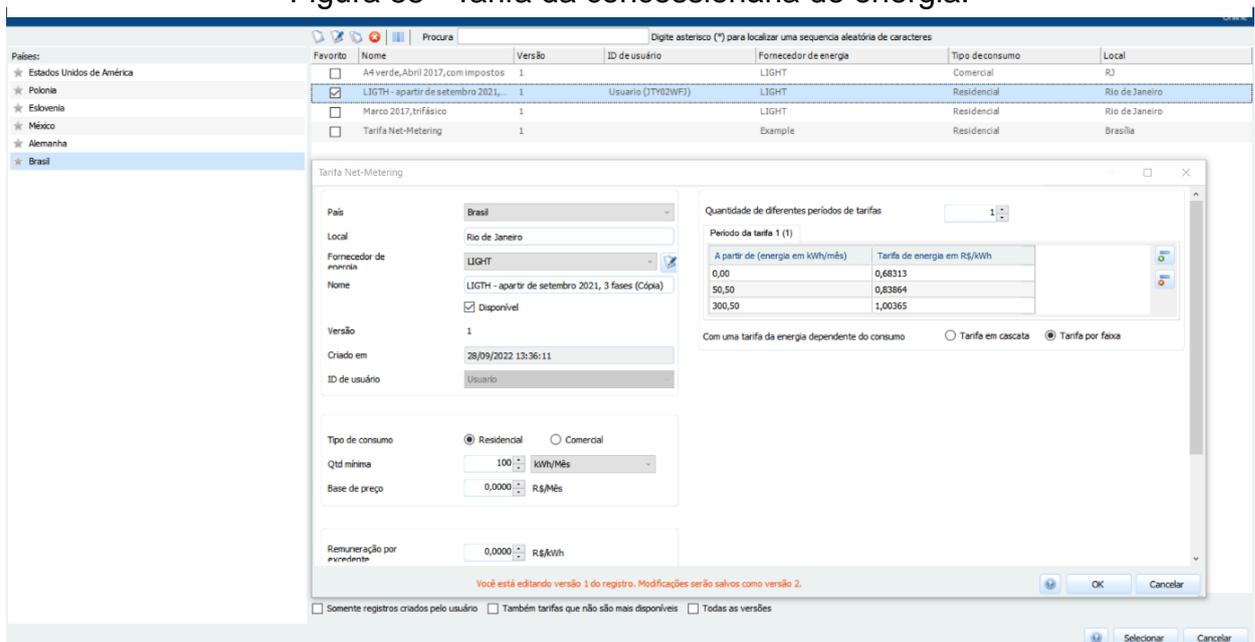
Figura 54 - Custos e subsídios financeiros



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Na próxima guia são inseridos os dados da tarifa de energia, neste caso as tarifas obedecem a três faixas de preço que são; a primeira faixa de 0 kwh/mês a 50kwh/mês, a segunda acima de 50kwh/mês até 300 kwh/mês e a terceira acima 300kwh/mês. Os dados são obtidos através da conta de energia e da concessionária, neste caso a concessionária é a empresa LIGTH. O programa permite incluir essas faixas de preços conforme a figura 56:

Figura 55 - Tarifa da concessionária de energia.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

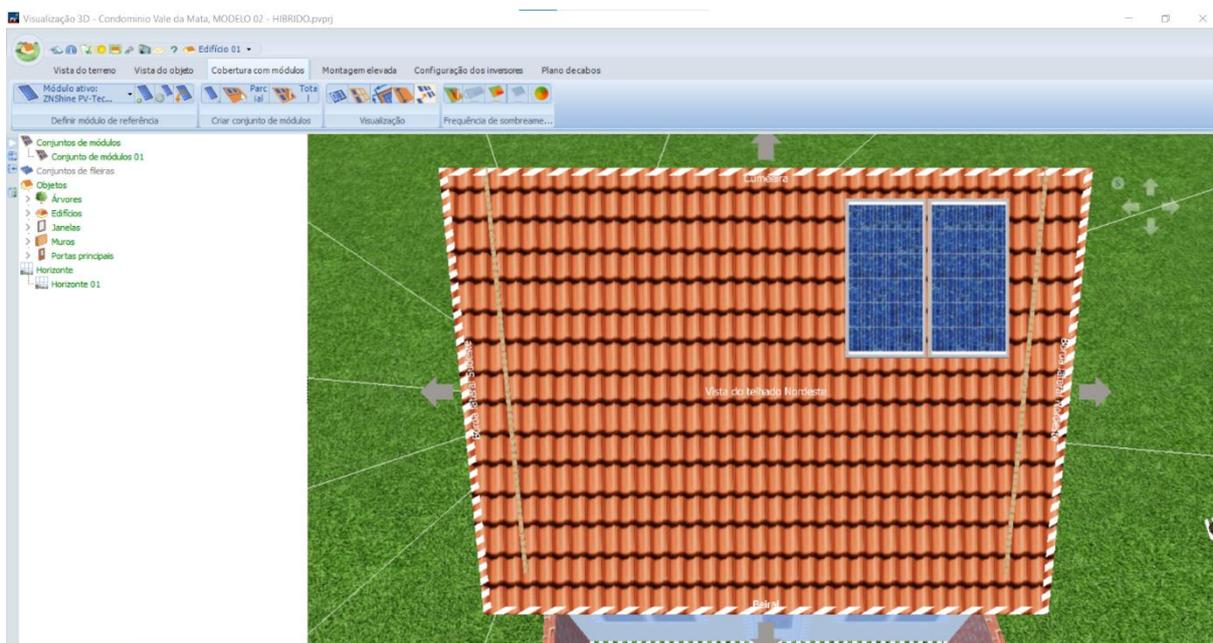
Com todos os dados necessários inseridos, na guia avançar do programa ele irá calcular a simulação do sistema de hora em hora ao longo do ano, e serão gerados os resultados, os quais são apresentados no capítulo seguinte.

9.6 Modelagem em 3D para o modelo de projeto 2 – (sistema fotovoltaico com carga pré determinada de 680w.)

A partir dos dados iniciais do projeto anterior, será criada uma nova modelagem para o modelo de projeto 2, assim foi salvo o modelo 1 e inicia-se nova modelagem a partir da guia, modelagem 3 D.

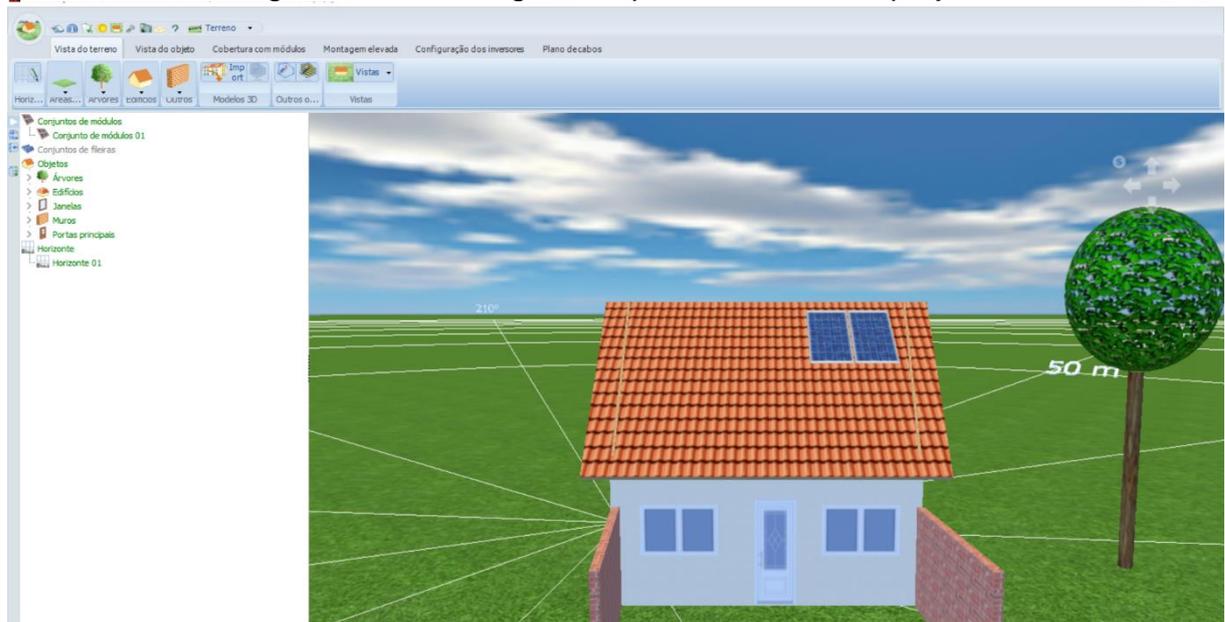
Após a definição das características da edificação e inserção de elementos que possam causar sombreamentos, conforme já determinados no projeto 1. São definidos os módulos fotovoltaicos, para o modelo de projeto 2, onde estão sendo considerados dois módulos do fabricante ZNShine PV-Tech Co.,Ltd. com 340W cada, com a especificação “ZXP6-72-340”, na posição vertical, conforme as figuras 57 e 58.

Figura 56 - Modelagem 3D para o modelo de projeto 2.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

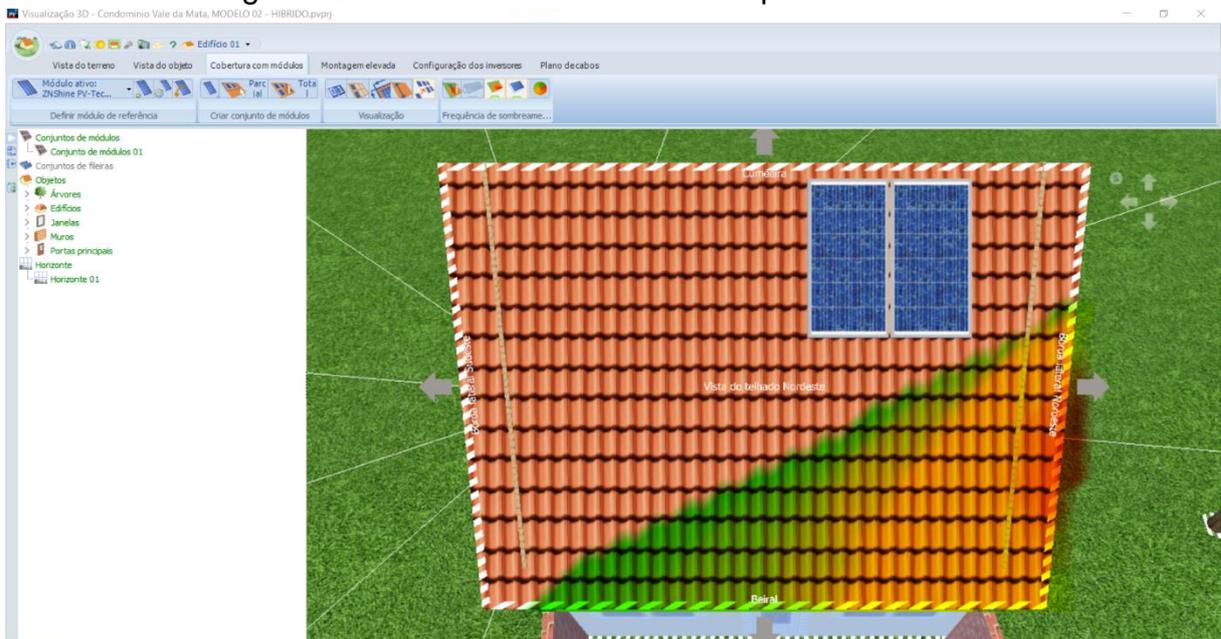
Figura 57 - Modelagem 3D para o modelo de projeto 2.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Após a definição dos módulos, é realizada a análise do sombreamento, com isso as placas podem ser ajustadas de forma que tenham menos sombreamento possível e sobre espaço para colocação de um sistema de aquecimento solar de água para uso no chuveiro, conforme a figura 59.

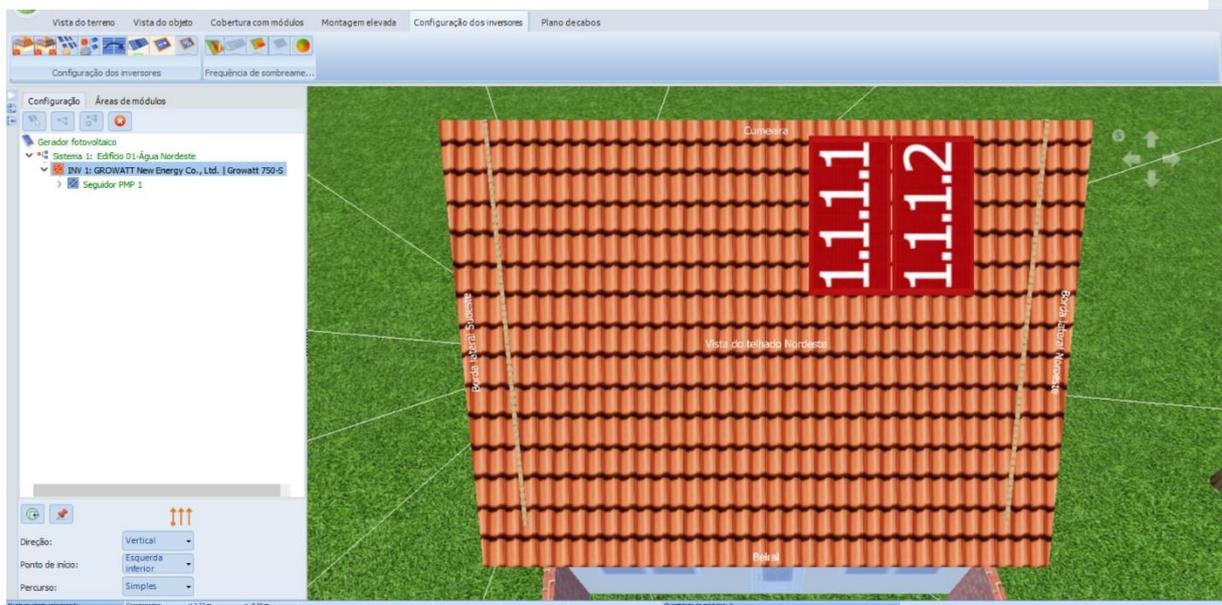
Figura 58 - Análise do sombreamento para o modelo 2.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Seguindo com a configuração dos inversores para dois módulos fotovoltaicos de 340W cada, o inversor adequado para esta configuração foi o de 750w do fabricante GROWATT, com a especificação “GROWAT New Energy Co., Ltd. I Growat-750-S – 750W”. Conforme a figura 60:

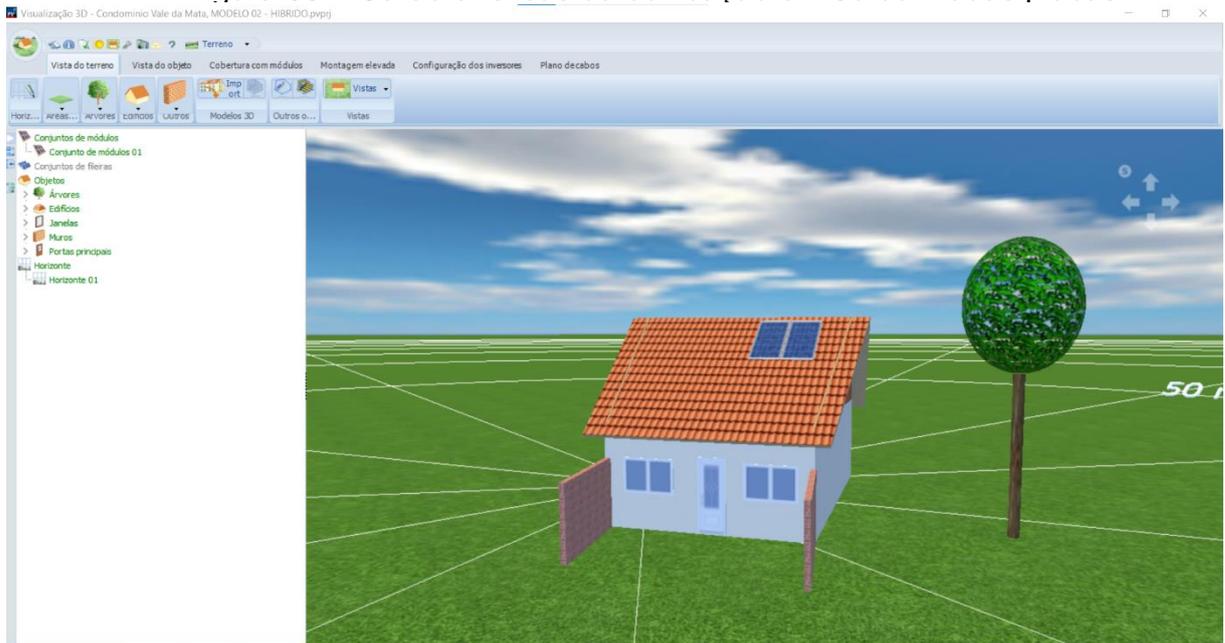
Figura 59 - Configuração dos inversores para o modelo 2



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Após as definições anteriores, tem-se a edificação com as seguintes características em 3D, conforme a figura 61:

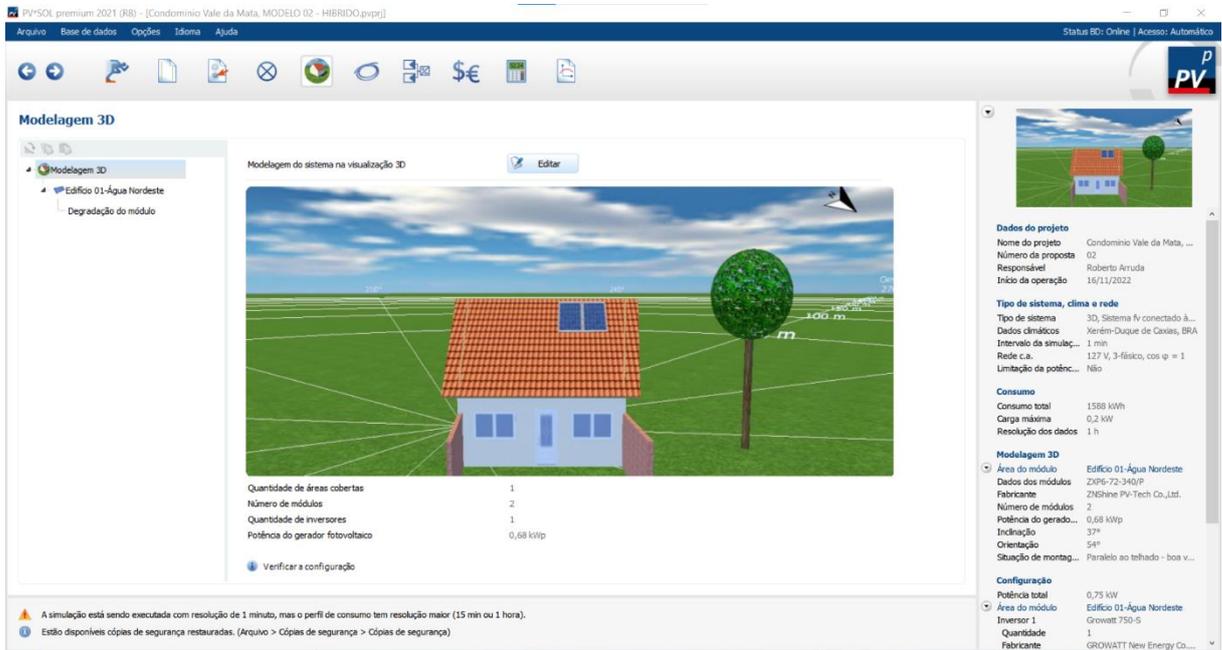
Figura 60 – Características da edificação em 3d com duas placas



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Seguindo com o dimensionamento, é preciso determinar o cabeamento, para isso é necessário sair da modelagem 3D, assim temos a figura 62:

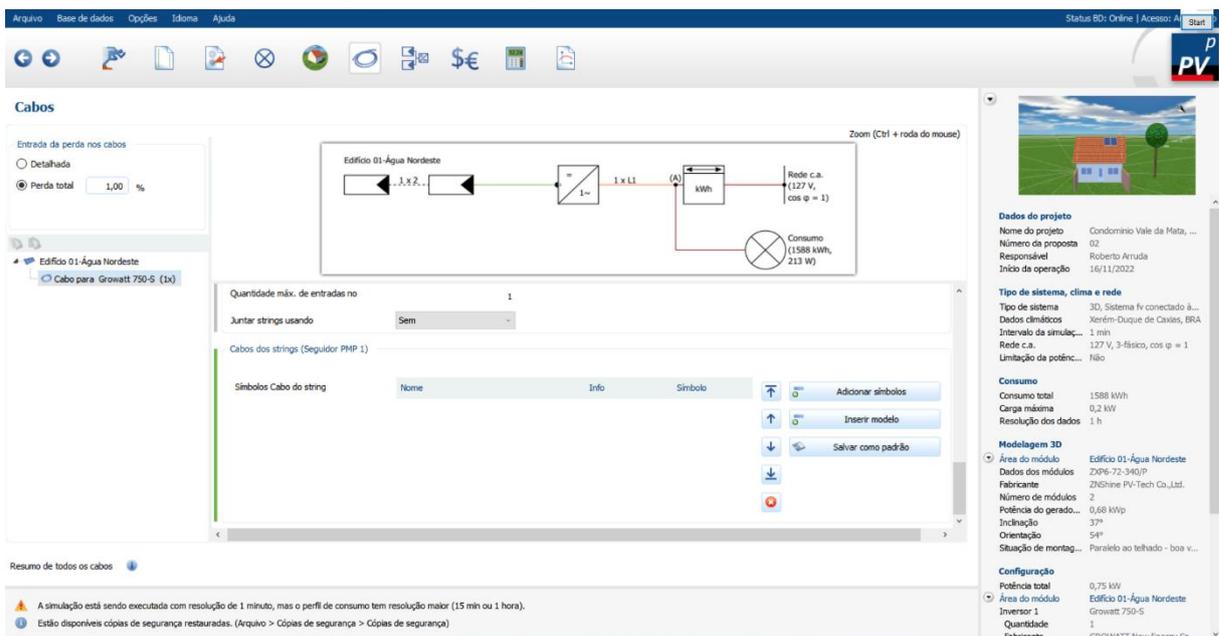
Figura 61 - Configuração do cabeamento para o modelo 2



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Seguindo com a configuração do cabeamento, conforme considerado no projeto 1, foi adotada a perda total do sistema devido ao cabeamento de 1%. Conforme figura 63:

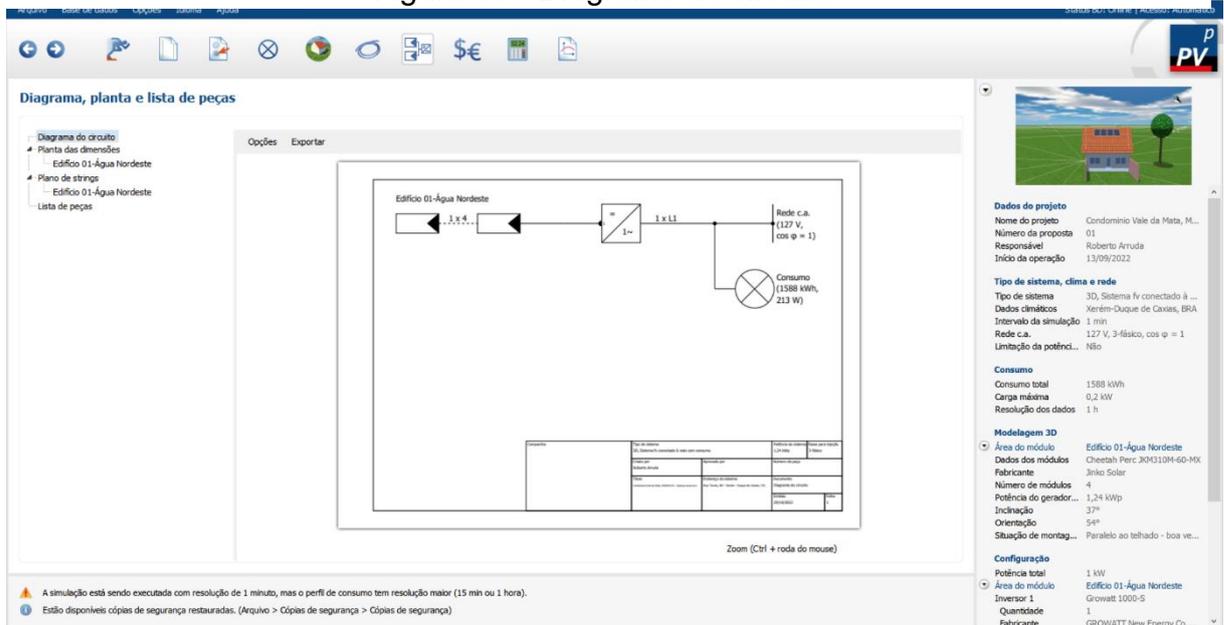
Figura 62 - Diagrama elétrico do modelo 2



Fonte: PV*SOL premium (R8)

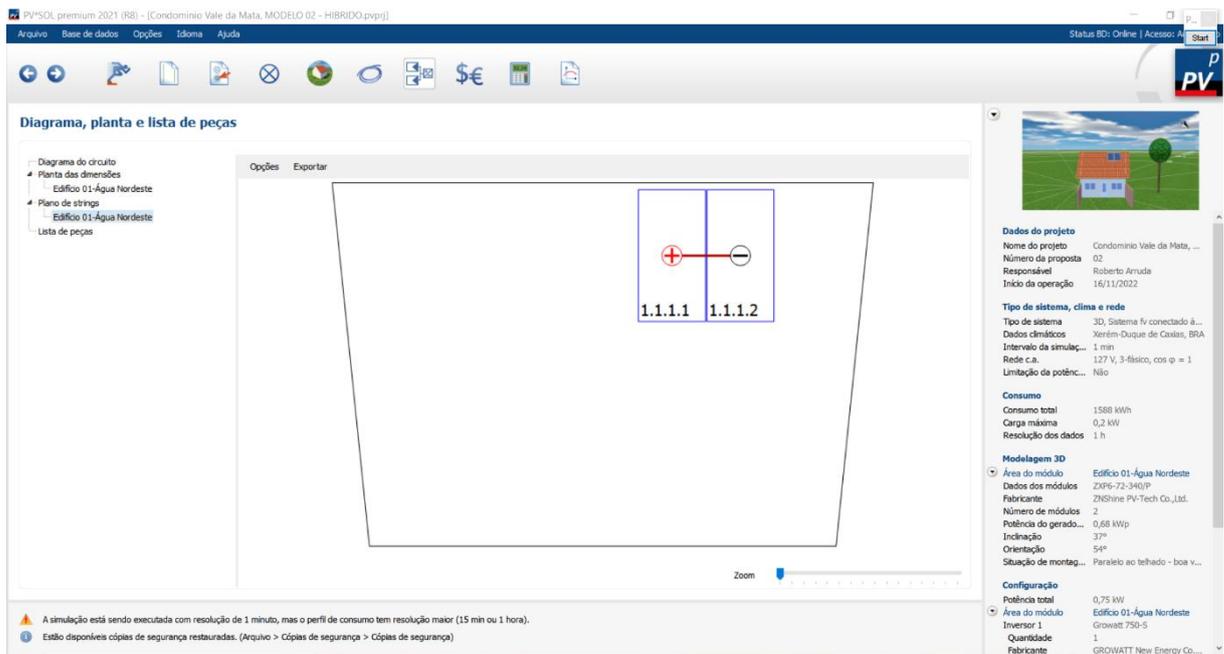
Prosseguindo para a próxima guia do programa, é apresentado o diagrama do circuito, planta do telhado e o plano de strings, com o esquema de ligação das placas e a lista de material, conforme as figuras 64, 65 e 66:

Figura 63 - Diagrama do circuito



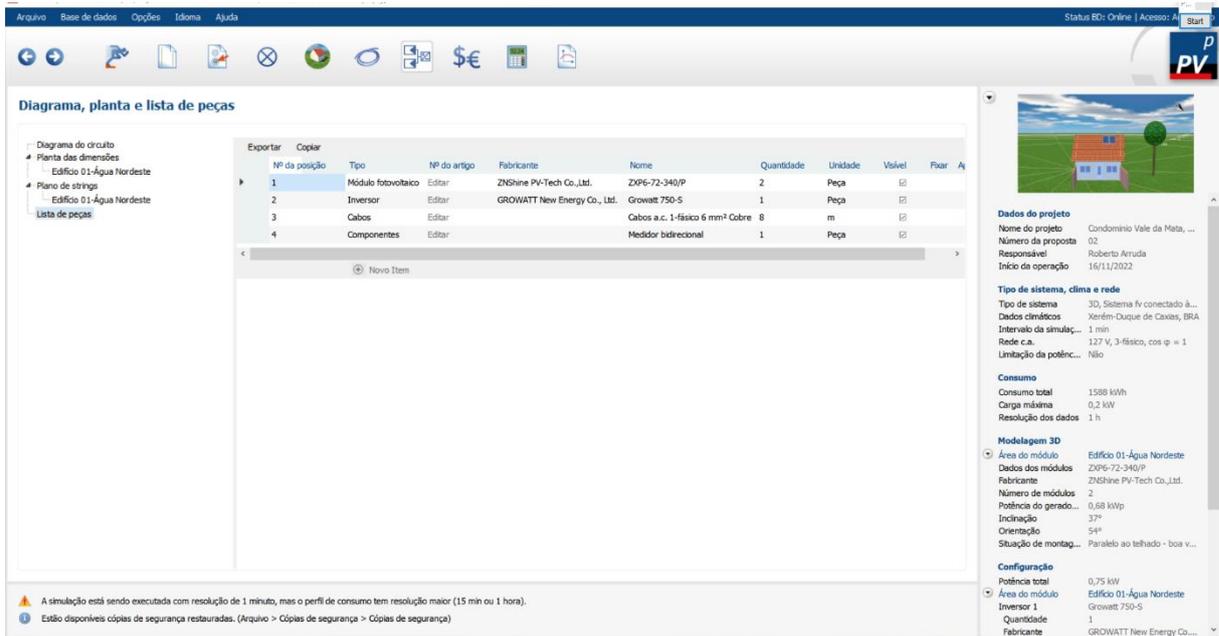
Fonte: PV*SOL premium (R8)

Figura 64 - Plano do string com esquema de ligação dos módulos.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

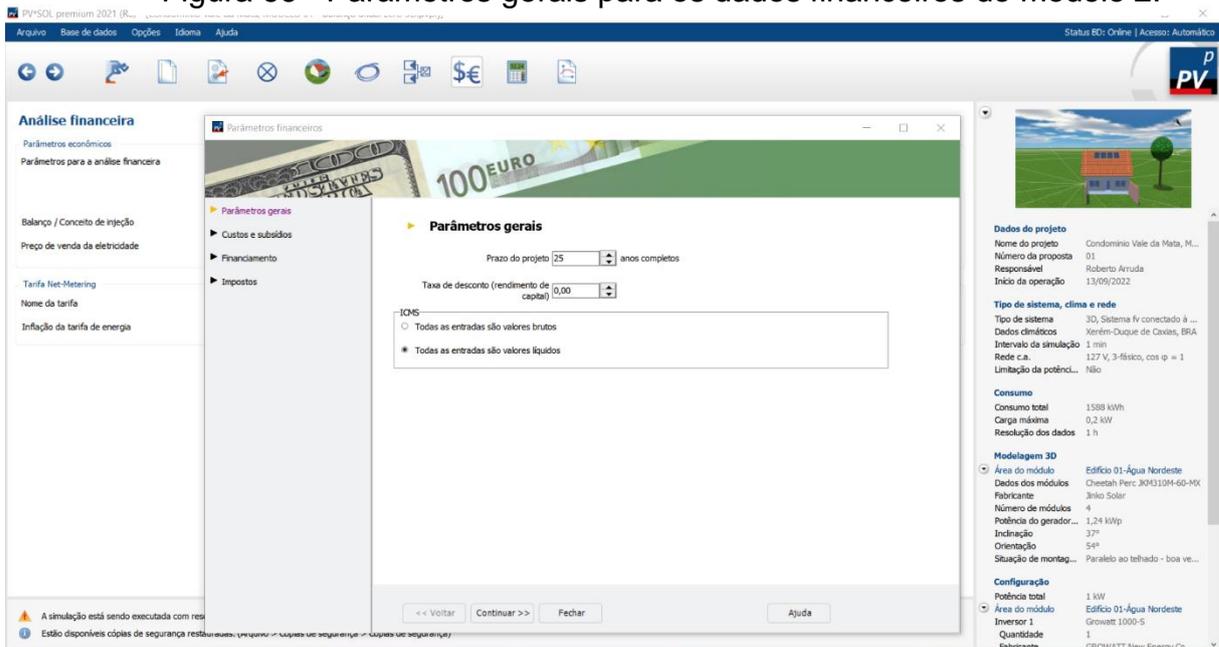
Figura 65 - Lista de peças para o modelo 2



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Em seguida, são informados os parâmetros gerais para os dados financeiros, considerado o prazo de projeto em 25 anos, que é o tempo em que as placas começam a perder seus rendimentos igualmente ao projeto no modelo 01:

Figura 66 - Parâmetros gerais para os dados financeiros do modelo 2.



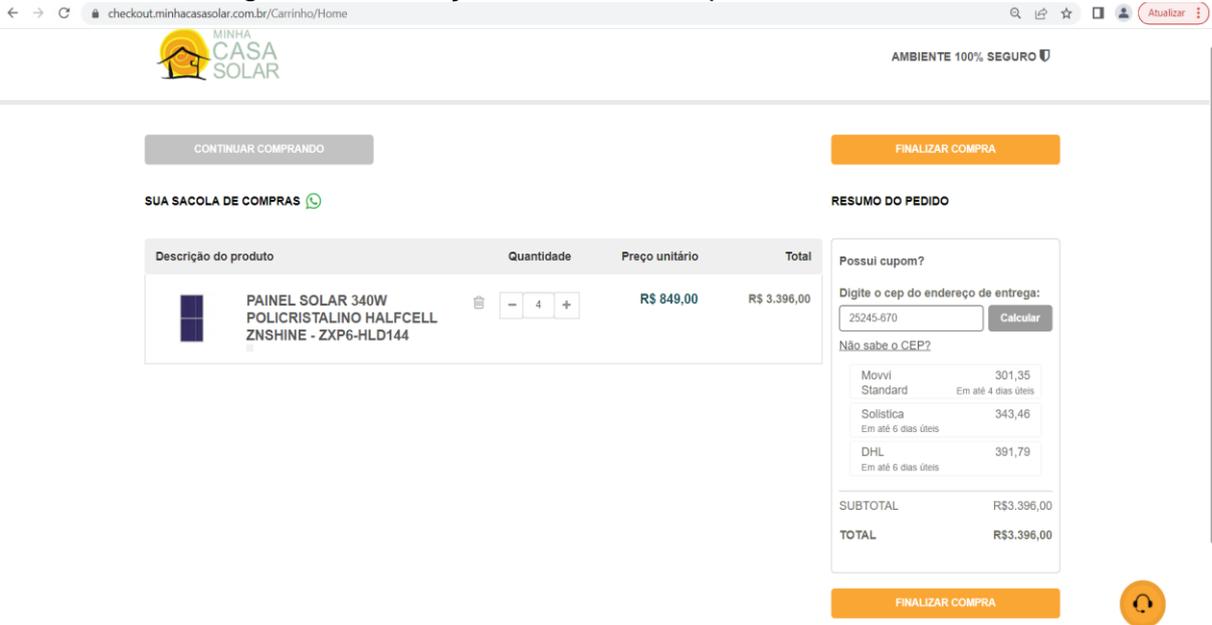
Fonte: PV*SOL premium (R8)

9.6.1 Composição de custos para o modelo de projeto 2.

Na próxima guia, foram inseridos os parâmetros de custos e subsídios, onde é necessário informar os “investimentos amortizáveis” que é o custo inicial para implantação do sistema. Assim como no modelo de projeto 1, para inserir esse dado foi aplicado um método comumente utilizado para orçamento e propostas do mercado de energia solar. Com isso, foi necessário fazer uma pesquisa de mercado para levantar os custos dos componentes, os painéis serão os mesmos modelos do projeto 01, sendo que ao invés de quatro serão dois, por esta razão houve a necessidade de alterar o inversor, e mesmo sendo um inversor de menor capacidade, o valor aumentou consideravelmente, pois o valor do inversor de 1500w custou R\$ 2.040,55 e o inversor com a metade dessa capacidade 700W e da mesma marca custou R\$ 3.599,99, ou seja um aumento de 76,42% Talvez, devido à falta de comercialização dos equipamentos de menor capacidade, pois notou-se uma dificuldade maior em encontrar o inversor de 700W com relação ao de 1500W. Como já mencionado neste trabalho, há uma grande velocidade de lançamentos dos painéis e inversores de maior capacidade no mercado, com isso os menores acabam não sendo tão comercializados.

Nas figuras 68 e 69, consta a pesquisa de mercado dos módulos fotovoltaicos e do inversor para o modelo de projeto 02:

Figura 67 - Cotação do custo com painéis fotovoltaicos



The screenshot shows a checkout page for solar panels. The browser address bar shows 'checkout.minhacasolar.com.br/Carrinho/Home'. The page features the 'MINHA CASA SOLAR' logo and a 'AMBIENTE 100% SEGURO' badge. There are two main buttons: 'CONTINUAR COMPRANDO' and 'FINALIZAR COMPRA'. Below these, there are two sections: 'SUA SACOLA DE COMPRAS' and 'RESUMO DO PEDIDO'.

SUA SACOLA DE COMPRAS

Descrição do produto	Quantidade	Preço unitário	Total
 PAINEL SOLAR 340W POLICRISTALINO HALFCELL ZNSHINE - ZXP6-HLD144	4	R\$ 849,00	R\$ 3.396,00

RESUMO DO PEDIDO

Possui cupom?

Digite o cep do endereço de entrega:
25245-670

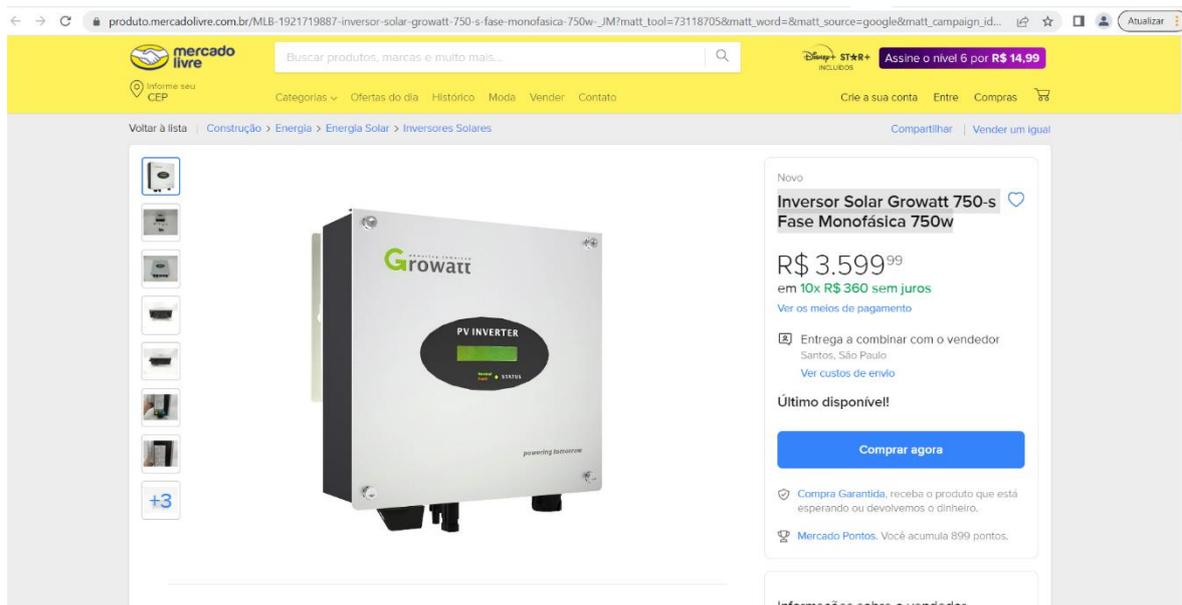
Não sabe o CEP?

Movvi Standard	301,35
Em até 4 dias úteis	
Solística	343,46
Em até 6 dias úteis	
DHL	391,79
Em até 6 dias úteis	

SUBTOTAL R\$3.396,00
TOTAL R\$3.396,00

Fonte: autor

Figura 68 - Cotação do custo com o inversor para o modelo de projeto 2.



Fonte: autor

Conforme a metodologia utilizada para levantamento do custo do sistema no projeto 01, para o projeto 02 também foi criada a planilha orçamentária para calcular o valor da implantação do sistema, conforme a tabela 5:

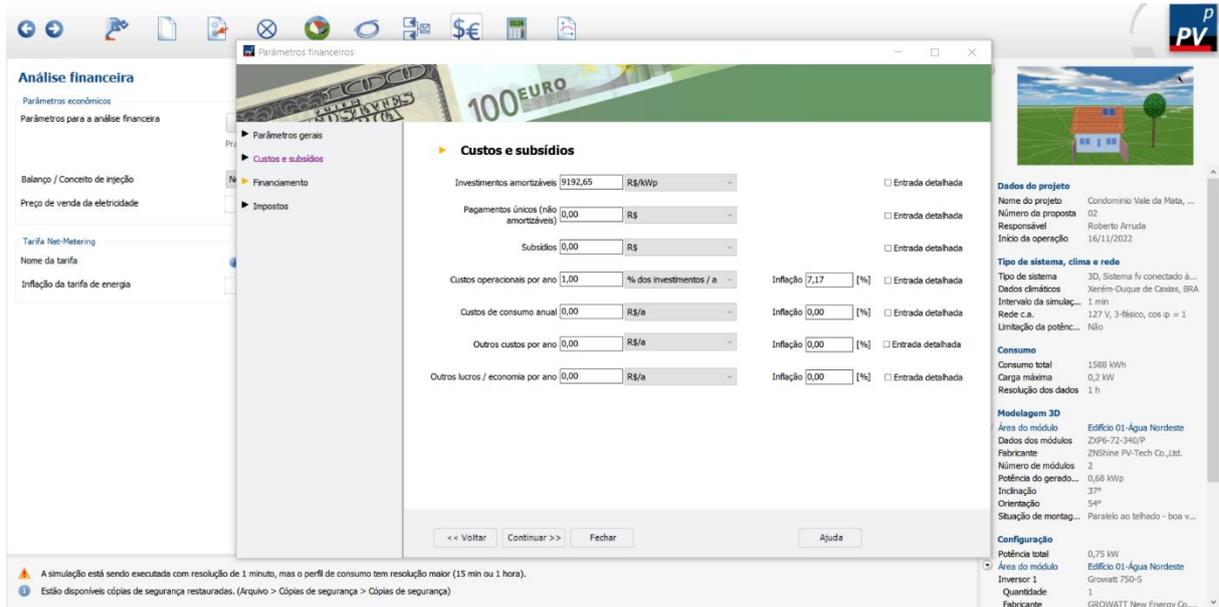
Tabela 6 - Planilha de composição de custos do sistema para o modelo de projeto 2.

Referência	Data da pesquisa	Descrição	UNID.	Quant.	Valor unitário	Valor Total
https://checkout.minhacasasolar.com.br/Carrinho/Home	04/11/2022	PAINEL SOLAR 340W POLICRISTALINO HALFCELL ZNSHINE - ZXP6-HLD144	UN	2	R\$ 849,00	R\$ 1.698,00
https://checkout.minhacasasolar.com.br/Carrinho/Home	04/11/2022	FRETE PARA PLACA SOLAR	UN	1	R\$ 301,35	R\$ 301,35
https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1921719887-inversor-solar-growatt-750-s-	05/12/2022	Inversor Solar Fotovoltaico On Grid Inversor Inversor Solar Growatt 750-s Fase Monofásica 750w	UN	1	R\$ 3.599,00	R\$ 3.599,00
https://sosolar.com.br/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-inversor-mic1500tl-x-	04/11/2022	FRETE PARA O INVERSOR	UN	1	R\$ 89,84	R\$ 89,84
https://www.aldo.com.br/produto/86610-1/estrutura-solar-fotovoltaico-solar-group-asmtc240x000md04-4-paineis-fixador-gancho-	07/11/2022	ESTRUTURA SOLAR FOTOVOLTAICO SOLAR GROUP (86610-1) ASMTC240X000MD04 2 PAINELIS FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL SMART	UN	1	R\$ 314,00	R\$ 314,00
https://www.embrar.com.br/estrutura-instalacao-painel-solar/p?idsku=14102	07/11/2022	Estrutura (Perfil) em Alumínio para Fixação de Painel Solar Fotovoltaico – Barra com 2,1m	UN	1	R\$ 84,81	R\$ 84,81
https://www.planetapc.com.br/conector-mc4-conector-32-0016-17p0002-02-pares-de-	07/11/2022	STAUBLI CONECTOR MC4 32.0016+17P0002 - 02 PARES DE CONECTORES MC4	UN	1	R\$ 30,32	R\$ 30,32
https://www.magazineluiza.com.br/cabo-fotovoltaico-6mm-10m-preto-10m-vermelho-mc4-staubli-reicon/p/fd65kkf558/ep/eapa/?&seller_id=tag_solar2&utm_source=google&utm_medium=pl-string-box-solar-cc-cnc-2-dps-600vdc-2-disjuntor-	07/11/2022	Cabo Solar Fotovoltaico 6mm - 10m Preto + 10m Vermelho, fabricante reicon certificada ISO9001 cabo certificado pela TÜV Rheinland do Brasil uso em Sistema Fotovoltaico conforme nbr 16612, NM-280, 16690, 5410 e IEC60228	UN	1	R\$ 196,00	R\$ 196,00
www2.rio.rj.gov.br - (SCO - RIO / Cod: IP 60.05.0150 (/))	07/11/2022	String Box Solar CNC 2/2 - com 2 DPS de 600vcc e 2 Disjuntor 2x16a,	UN	1	R\$ 453,90	R\$ 453,90
		Serviço de apoio as instalacoes requeridas a empreiteira, sendo: 1 eletricista e 1 ajudante . Turma Tecnica. Horário diurno.	H	17	R\$ 31,09	R\$ 528,53
		Total Parcial				R\$ 7.295,75
		BDI - Benefícios e Despesas Indiretas = 26%				R\$ 1.896,90
		CUSTO TOTAL DO SISTEMA				R\$ 9.192,65

Fonte: autor

Com o valor total para implantação do sistema considerando o projeto 2 ,é possível partir para a próxima guia do software, onde são inseridos os dados de custos. Assim, foram considerados o valor de R\$ 9.192,65, conforme a planilha orçamentária, custos operacionais por ano de 1% que equivale a R\$ 91,93 para realização de limpeza dos módulos. Considerando uma inflação média de 7,17% de acordo com os dados oficiais do IBGE, o valor acumulado em doze meses do IPCA entre janeiro e setembro de 2022. (IBGE, 2022). conforme a figura 70.

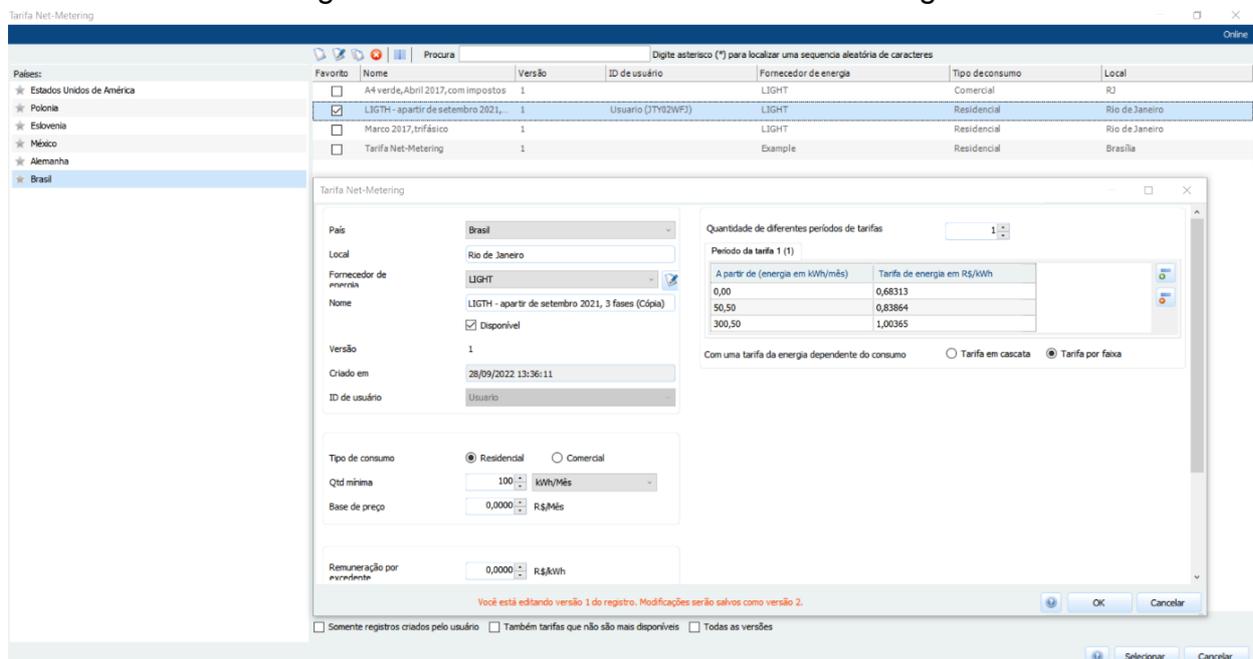
Figura 69 - Custos e subsídios financeiros para o modelo de projeto 2



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Na próxima guia são inseridos os dados da tarifa de energia, que são as mesmas consideradas no modelo 01, conforme a figura 71:

Figura 70 - Tarifa da concessionária de energia.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Após os dados necessários inseridos na guia avançar, o programa irá calcular a simulação do sistema de hora em hora, ao longo do ano, e serão gerados os resultados, os quais são apresentados no capítulo 8.

9.7 Modelo de projeto 3 – Sistema de aquecimento solar – (SAS).

Dimensionamento do sistema de aquecimento solar para o chuveiro, considerando a residência com uma família de dois adultos e um adolescente, seguindo os parâmetros da Norma ABNT – NBR 15569.

Determinação do volume do reservatório de água quente e a quantidade de coletores (placas) solares necessários, considerando que a água será armazenada a 50° C e consumida a 38° C. Média anual de temperatura ambiente de 23,7° C com base na norma supracitada.

As condições de posicionamento e ângulos dos coletores solares são as mesmas que foram consideradas para o cálculo do sistema de energia fotovoltaica, sendo:

- a) inclinação do coletor solar em relação ao plano horizontal $\beta = 37^\circ$
- b) Inclinação ótima do coletor para o local de instalação, conforme recomendação da norma em adotar o módulo da latitude + 10°, dessa forma tem-se que $\beta_{\text{ótimo}} = (- 22,56 + 10)^\circ = 12,56^\circ$
- c) Ângulo de orientação dos coletores em relação ao norte geográfico $Y = 54^\circ$
- d) Irradiação global média anual diária para o local de instalação, $IG = 1669 \text{ kwh/m}^2/\text{ano} = 4,57 \text{ kwh/m}^2/\text{dia}$.
- e) Produção média mensal de energia específica do coletor solar $PMEE = 81,6 \text{ kwh}/(\text{mês.m}^2)$

- Demanda de Água quente.

- a) Pontos de consumo: 1 Chuveiro
- b) Tempo de uso: 10 minutos por pessoa
- c) Frequência de uso por dia: 1

Conforme tabela C. 1 – consumo dos pontos de utilização de água quente

Tabela 7 - consumo dos pontos de utilização de água quente, conforme a Norma ABNT – NBR 15569.

Tabela C.1 - Consumo dos pontos de utilização de água quente				
Aparelhos	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto / pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15 L/min	10	39-40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39-40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39-40
Banheira	80 L	440 L	banho	39-40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39-40
Lava - louças (12 pessoas)	20 L	20 L	lavagem	39-50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	lavagem	39-40

Fonte: Adaptado da ABNT – NBR 15569

No caso apresentado considera-se uma ducha com vazão de 8 L/min.

Assim, conforme a equação apresentada na norma para o cálculo do volume de consumo de água quente, temos o consumo da ducha de banho, como:

- Vazão da ducha (Qpu): 8 L/min
- Tempo médio de uso (Tu): 10 min
- Frequência de uso: 1 banho por usuário
- V ducha = 8 L/min x 10 min x 1 banho x 3 usuários = **240L**

Cálculo do volume do sistema de armazenamento água quente

$$V_{\text{armazenamento}} = \frac{240 \times (38-23,7)}{(50-23,7)} = \mathbf{130,50 \text{ L/dia}}$$

Cálculo da demanda de energia útil

$$E_{\text{útil}} = \frac{130,50 \frac{\text{L}}{\text{dia}} \times \frac{1000 \text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{4,18 \text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (50-13,7)^\circ\text{C}}{3600} \times 30 \text{ dias} = \mathbf{119,55 \text{ kwh/mês}}$$

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times 119,55 \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} = \mathbf{17,93 \text{ Kwh/mês}}$$

Cálculo da área coletora

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (37^\circ - (-12,56^\circ)) + 3,5 \times 10^{-5} \times 54^2]} = \mathbf{1,65}$$

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(119,5 + 17,93) \frac{\text{kwh}}{\text{mês}} \times 1,65 \times 4,89 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}}{81,30 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \cdot \text{mês}} \times 4,57 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}} = \mathbf{2,77 \text{ m}^2}$$

Os dados de cálculo acima tanto para o volume de armazenamento de água quente quanto para a área de módulos coletores solares, não coincidem exatamente com os valores comercialmente utilizados no mercado de aquecimento solar. Dessa forma, é preciso encontrar os componentes mais adequados comercialmente.

9.7.1 Composição de custos para o modelo 3 - SAS

Realizaram uma pesquisa de mercado para os boilers, onde foram encontradas as capacidades de 100L, 200L, 300L, e assim por diante, sempre aumentando a cada 100L.

Foram encontrados sistemas de aquecimento solar integrado a vácuo com boilers de 150L e 180L, no entanto, o rendimento da placa fica abaixo do necessário e por ser um sistema acoplado, não é possível adicionar placas.

Também, foram encontrados kits prontos, isto é boiler, mais placa com boiler de 100L e 200L. Contudo, não havia especificação das placas quanto a PMEE, assim não seria possível realizar o cálculo, porque não foram encontrados os dados técnicos no INMETRO.

Foram pesquisadas vários tipos de placas, pois há no mercado inúmeros tipos com dimensões e números de PMEE diversos. Como pode ser visto nas tabelas de coletores solares, certificados do INMETRO na tabela de coletores solares térmicos em: <<<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/equipamentos-de-aquecimento-solar-de-agua/coletor-solar-banho-pbe-2022.pdf/view>>>

A diversidade desses painéis aumenta quando pesquisados em sites de revendedoras, pois há muitos que não são encontrados nas tabelas do INMETRO.

Diante disso, o mais adequado para utilizar neste projeto do presente estudo foi um boiler de 100 Litros e dois coletores solares com rendimento PMEE de 81,30 KWH/(m²xmês) e com área de 1,41m² cada, totalizando uma área de absorção solar de 2,82 m², conforme pode ser visto nas figuras 72,73 e 74.

Figura 71 - Cotação de preço do reservatório térmico.

Solar & Sol Aquecedores

Pesquisa

Central de Atendimento

Entrar ou Cadastrar

MEU CARRINHO R\$ 1.180,19

SALDO BLACK! KITS PRONTOS PISCINAS RESERVATÓRIOS PLACAS GRANDE PORTE ALTA VÁCUO

Código: 320

de R\$ 1.562,28
por R\$ 1.405,98

até 2x de R\$ 702,99 sem juros

Parcelas	
1x de R\$ 1.405,98 sem juros	7x de R\$ 224,64
2x de R\$ 702,99 sem juros	8x de R\$ 197,68
3x de R\$ 491,04	9x de R\$ 176,88
4x de R\$ 376,71	10x de R\$ 161,14
5x de R\$ 306,47	11x de R\$ 148,27
6x de R\$ 258,93	12x de R\$ 137,56

VISA, Mastercard, American Express, Elo, Cielo

Parcelas

PIX R\$ 1.293,50

Boleto Bancário R\$ 1.314,59

R\$ 1.293,50 PIX
Economize: R\$ 112,48

1 + - **Comprar**

Dúvidas? Fale com nossos especialistas!

Estoque: 7 dias úteis

Fonte: autor

Figura 72 - Cotação de preço do coletor solar

Solar&Sol
Central de Atendimento
Entrar ou Cadastrar
MEU CARRINHO R\$ 1.180,19

SALDO BLACK!
KITS PRONTOS ▾
PISCINAS ▾
RESERVATÓRIOS ▾
PLACAS ▾
GRANDE PORTE
ALTA
VÁCUO ▾











Assistir Video

COLETOR SOLAR RINNAI 1,4X1 BLACK RINNAI

Código: 1775

de R\$ 1.216,69

por R\$ 1.180,19

até 2x de R\$ 590,09 sem juros

mercado pago
mercado pago
pix
Parcelas ▾

1x de R\$ 1.180,19 sem juros	7x de R\$ 188,57
2x de R\$ 590,09 sem juros	8x de R\$ 165,93
3x de R\$ 412,18	9x de R\$ 148,48
4x de R\$ 316,21	10x de R\$ 135,26
5x de R\$ 257,25	11x de R\$ 124,46
6x de R\$ 217,35	12x de R\$ 115,47

VISA
MARCA
PARCELAS
Parcelas ▾

pix
R\$ 1.085,77

Boleto Bancário
R\$ 1.103,48

 **R\$ 1.085,77 PIX**
Economize: R\$ 94,42

1
+
-

 Comprar

 Calcule o frete

25245-670

OK

R\$ 0,00	6 dias úteis	Retirar pessoalmente
R\$ 225,00	11 dias úteis	Transportadora

Fonte: autor

Figura 73 - Especificações do coletor solar

ENERGIA
Coletor solar
Fabricante: Rinnai Brasil
Marca: Rinnai
Modelo: RSC1401
Aplicação: Banheira

Maior desempenho
A
B
C
D
E
Menor desempenho

Pressão de Funcionamento (KPa) (m.c.a.) 392 / 10	Produção Mensal de Energia Por m² de coletor (kWh/mês.m²) 81,6	Segurança celack Registro RP: 001373/2016
Área externa (m²) 1,41	Por coletor (kWh/mês) 115,1	
Eficiência Energética Média 80,29		

PROCEL
O valor declarado não tem validade para fins fiscais.
PROCEL - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

COLETOR SOLAR RINNAI 1,4X1 BLACK RINNAI
Código: 1775

de R\$ 1.216,69
por R\$ 1.180,19

até 2x de R\$ 590,09 sem juros

1x de R\$ 1.180,19 sem juros	7x de R\$ 188,57
2x de R\$ 590,09 sem juros	8x de R\$ 165,93
3x de R\$ 412,18	9x de R\$ 148,48
4x de R\$ 316,21	10x de R\$ 135,26
5x de R\$ 257,25	11x de R\$ 124,46
6x de R\$ 217,35	12x de R\$ 115,47

PIX
R\$ 1.085,77

Boleto Bancário
R\$ 1.103,48

R\$ 1.085,77 PIX
Economize: R\$ 94,42

Fonte: autor

Da mesma forma que foram obtidos os custos para os sistemas fotovoltaicos dos modelos de projeto 1 e 2, para o modelo 3, também foi realizada uma planilha de composição do custo para o sistema de aquecimento solar, utilizando as bases governamentais de pesquisas de preços SINAPI(SINAP, 2022) e SCO-RIO (SCO-RIO, 2022). Bem como, as pesquisas de mercado dos componentes principais como visto anteriormente. Conclui-se um custo de implantação no valor de R\$ 6.267,97, conforme a tabela abaixo;

Tabela 8 - Composição dos custos para o SAS

Referência	Data da pesquisa	Descrição	UNID.	Quant.	Valor unitário	Valor Total
https://www.solaresol.com.br/coletoresolar-rinnai-14x1-black-rinnai?utm_source=Site&utm_medium=Google	26/01/2023	COLETOR SOLAR RINNAI 1,4X1 BLACK RINNAI	UN	2	R\$ 1.085,77	R\$ 2.171,54
https://www.solaresol.com.br/produto/boiler-100-litros-baixa-pessao-inox-304-center-sol	26/01/2023	BOILER 100 LITROS / BAIXA PRESSÃO / INOX 304 / CENTER SOL	UN	1	R\$ 1.293,50	R\$ 1.293,50
https://www.solaresol.com.br/coletoresolar-rinnai-14x1-black	26/01/2023	FRETE PARA OS COLETORES E O BOILER	UN	1	R\$ 225,00	R\$ 225,00
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	89643 CURVA 90 GRAUS, CPVC, SOLDÁVEL, DN 22MM, INSTALADO EM RAMAL OU SUB-RAM DE ÁGUA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2022	UN	3	R\$ 17,78	R\$ 53,34
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	94716 TUBO, CPVC, SOLDÁVEL, DN 22 MM, INSTALADO EM RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE EDIFICAÇÃO FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2016	M	9	R\$ 26,02	R\$ 234,18
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	89661 UNIÃO, CPVC, SOLDÁVEL, DN22MM, INSTALADO EM RAMAL OU SUB-RAMAL DE ÁGUA FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2022	UN	2	R\$ 24,45	R\$ 48,90
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	89668 CONECTOR, CPVC, SOLDÁVEL, DN22MM X 3/4, INSTALADO EM RAMAL OU SUB-RAM UN CR 30,18 AL DE ÁGUA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2022	UN	1	R\$ 30,18	R\$ 30,18
Tabela de Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia - SCO-RIO.	27/01/2023	IT 04.65.0647 (/) Niple de aço galvanizado, duplo, 3/4", classe 10, Tupy ou similar. Fornecimento	UN	1	R\$ 2,48	R\$ 2,48
https://www.aldo.com.br/produto/86610-1/estrutura-solar-fotovoltaico-solar-group-asmtc240x000md04-4-paineis-fixador-gancho	27/01/2023	ESTRUTURA SOLAR FOTOVOLTAICO SOLAR GROUP (86610-1) ASMTC240X000MD04 2 PANEIS FIXADOR GANCHO TELHA COLONIAL SMART	UN	1	R\$ 314,00	R\$ 314,00
https://www.embrar.com.br/estrutura-instalacao-painel-solar/p?idsku=14102	27/01/2023	Estrutura (Perfil) em Alumínio para Fixação de Painel Solar Fotovoltaico – Barra com 2,1m	UN	1	R\$ 84,81	R\$ 84,81
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	94648 TUBO, PVC, SOLDÁVEL, DN 25 MM, INSTALADO EM RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE EDI M CR 12,09 FICAÇÃO QUE POSSUA RESERVATÓRIO DE FIBRA/FIBROCIMENTO FORNECIMENTO E	UN	3	R\$ 12,09	R\$ 36,27
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	94673 CURVA 90 GRAUS, PVC, SOLDÁVEL, DN 25 MM, INSTALADO EM RESERVAÇÃO DE ÁGUA DE EDIFICAÇÃO QUE POSSUA RESERVATÓRIO DE FIBRA/FIBROCIMENTO FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_06/2016	UN	2	R\$ 11,73	R\$ 23,46
Tabela de Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia - SCO-RIO.	27/01/2023	AP 05.15.0412 (/) Registro de esfera de PVC rígido, soldavel, diametro de 32mm. Fornecimento e instalacao.	UN	2	R\$ 28,00	R\$ 56,00
https://www.janelaecia.com.br/energia-solar/estrutura-suporte-fixacao/estrutura-suporte-fixador-placa-painel-solar-aluminio-e-	27/01/2023	Estrutura Suporte Fixador Placa Painel Solar Alumínio e Inox Para Telha Cerâmica e Cimento Perfil Master Kit 06 UN REF: PES0001_06	UN	1	R\$ 293,18	R\$ 293,18
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	00002696 ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRAULICO (HORISTA)	H	2	R\$ 21,35	R\$ 42,70
Sistema Nacional de Índices e custos Para Construção civil - SINAPI	27/01/2023	00000246 AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRAULICO (HORISTA) H CR 16,26	H	4	R\$ 16,26	R\$ 65,04
		Total Parcial				R\$ 4.974,58
		BDI - Benefícios e Despesas Indiretas = 26%				R\$ 1.293,39
		CUSTO TOTAL DO SISTEMA				R\$ 6.267,97

Fonte: autor

10.RESULTADOS E DISCUSSÕES

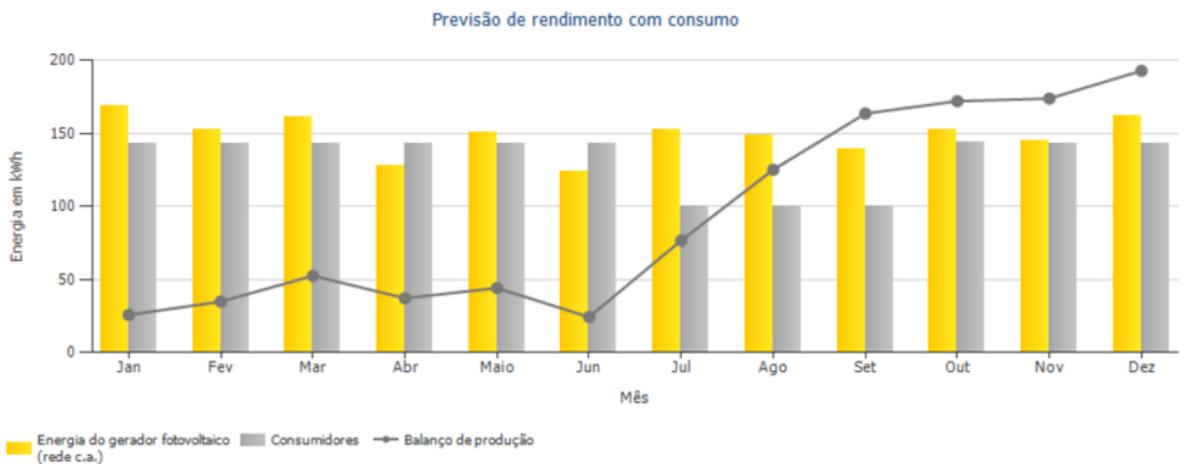
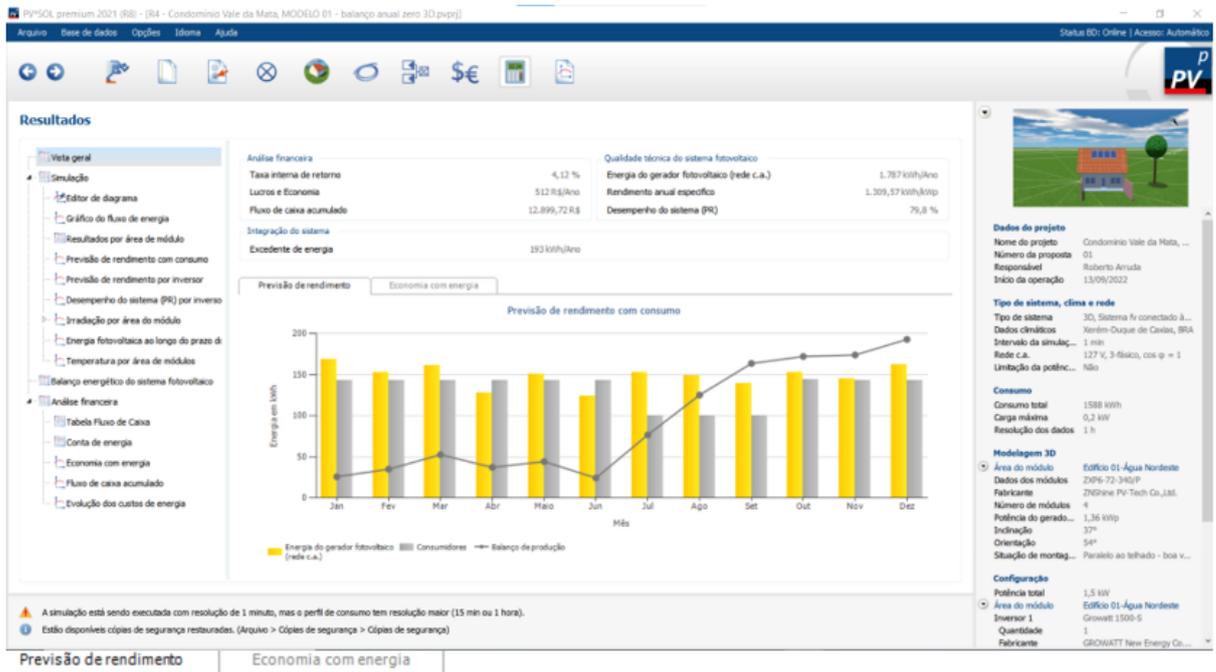
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para os diferentes modelos de projeto propostos, utilizando energia solar para o condomínio de interesse social Vale da Mata no distrito de Xerém, município de Duque de Caxias - RJ. Com o objetivo de conhecer qual modelo apresenta o melhor custo-benefício, analisando dessa forma a viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Dessa forma, são apresentados os resultados dos modelos de projetos 1,2 e 3 consecutivamente.

10.1 Resultados obtidos para o modelo de projeto 1.

Com o cálculo da simulação, o programa apresenta os dados dos resultados gerados e os gráficos de referência, a primeira guia denominada pelo software como “vista geral” temos a previsão de rendimento, conforme a figura seguinte:

Figura 74 - Previsão de rendimento com consumo.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Neste guia é apresentado o resumo dos dados de análise financeira, qualidade técnica do sistema fotovoltaico e o excedente de energia.

Na parte da análise financeira são apresentados os dados de taxa interna de retorno em 4,12%, economia de R\$ 512,00 /Ano e fluxo de caixa acumulado no período de 25 anos com valor de R\$ 12.899,72.

Quanto a parte de integração do sistema, há um excedente de energia gerada de 193 Kwh/Ano.

Já no que se refere a qualidade técnica do sistema fotovoltaico, é apresentado que a energia do gerador fotovoltaico é de 1787 Kwh/Ano. O rendimento anual específico de 1309,57 kwh/kwp e o desempenho do sistema em 79,8%.

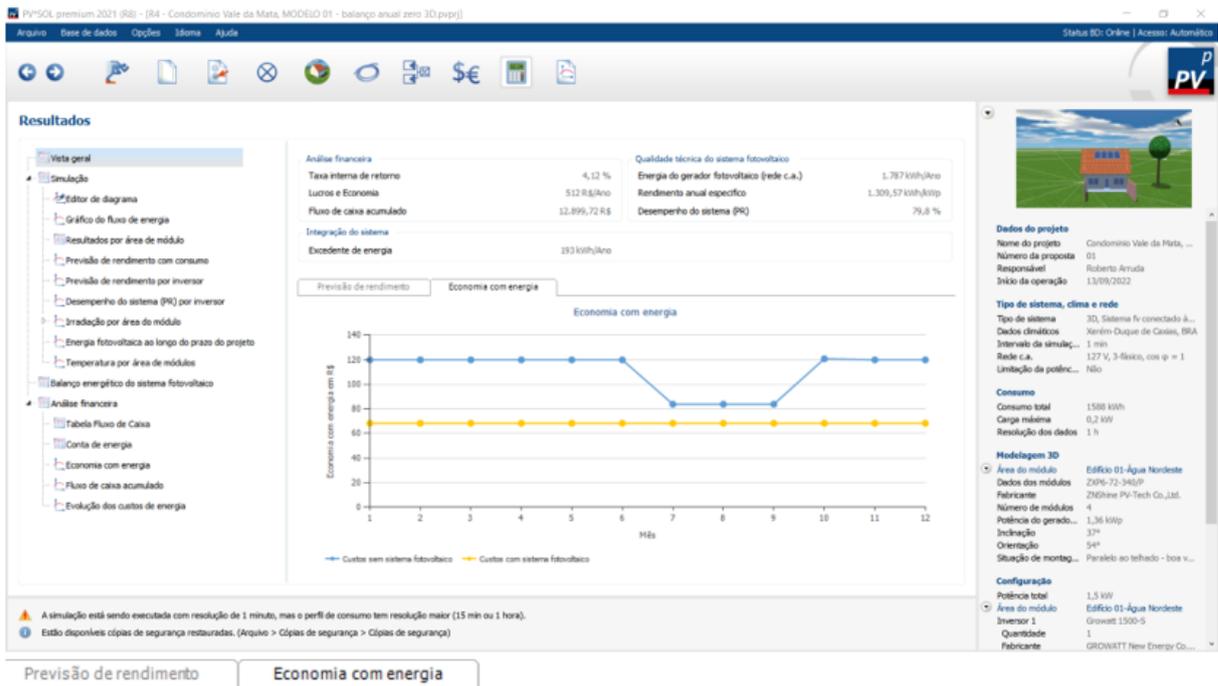
Quanto ao gráfico apresentado, é possível observar a energia gerada pelo sistema a cada mês, conforme apresentado nas barras de cor amarela, já as barras de cor cinza representam o consumo. O gráfico de linha representa o balanço energético, que é a diferença acumulada entre a geração e o consumo.

O ideal é que ao final do ciclo anual, o gráfico de linha chegue próximo a zero. No entanto, nem sempre isso é possível, pois depende do arranjo de painéis e inversores no sistema, bem como a possibilidade de haver esses materiais disponibilizados no mercado.

Assim é possível perceber que dentro do arranjo que foi possível elaborar para o projeto em questão, há uma sobra de energia.

Ainda na guia “vista geral” no campo “economia de energia” é apresentado o gráfico conforme a figura 75.

Figura 75 - Economia de energia.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

O gráfico a cima, denominado “economia com energia”, apresenta a conta de energia da residência. A linha na cor azul representa o custo da energia sem o sistema fotovoltaico e a linha na cor amarela apresenta o custo considerando o sistema fotovoltaico.

10.1.1 Redução da emissão de Dióxido de carbono CO₂ para o modelo de projeto 1

Seguindo com a análise financeira, na guia simulação é apresentado o resumo dos dados pertinentes, conforme a tabela seguinte:

Tabela 9 - Economia de energia.

Sistema fotovoltaico	
Potência do gerador fotovoltaico	1,4 kWp
Rendimento anual específico	1.309,57 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	79,8 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,8 %/Ano
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	1.787 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	837 kg/ano

Consumidores	
Consumidores	1.588 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	6 kWh/Ano
Consumo total	1.594 kWh/Ano
Excedente de energia	193,0 kWh
Fração solar	112,1 %

Nível de autonomia	
Consumo total	1.594 kWh/Ano
coberto pela rede elétrica	1.003 kWh/Ano
Nível de autonomia	37,1 %

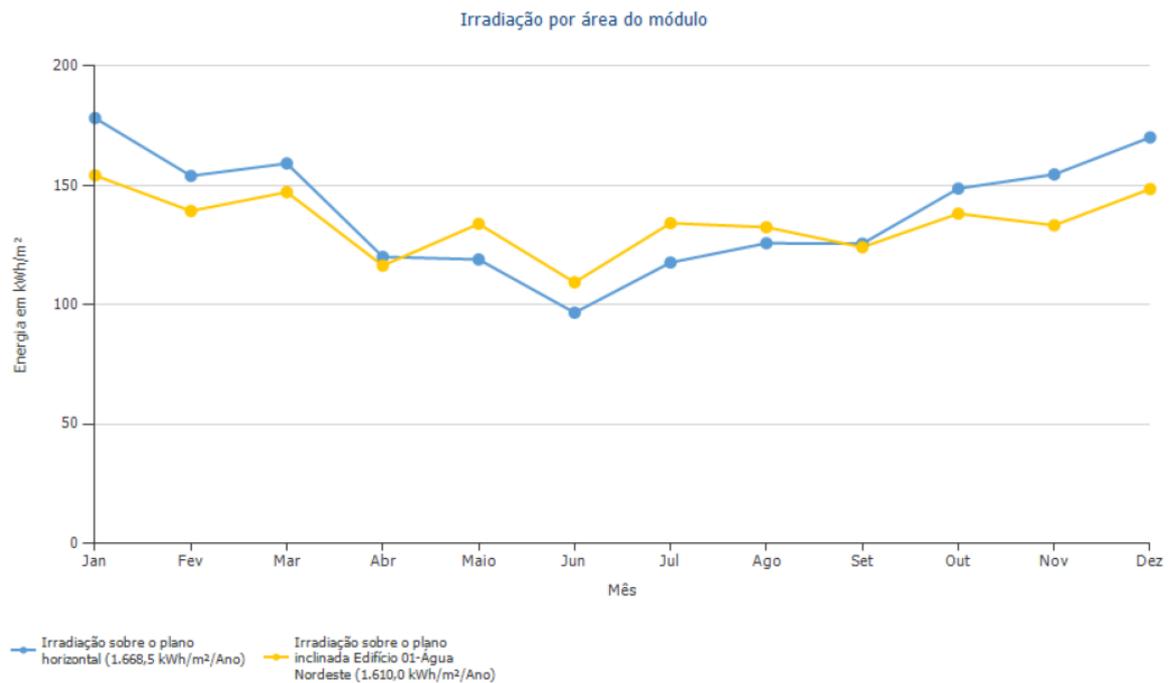
Fonte: PV*SOL premium (R8)

Na figura anterior, dentre os dados apresentados, destaca-se o cálculo da previsão da diminuição de emissão de dióxido de carbono (CO₂), para o referido projeto, a redução foi calculada em 837 kg/ano, o software considera os parâmetros internacionais.

No caso da realização do cálculo sem o uso de software, seria feito conforme a tabela fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade, onde é considerado um fator de 0,09 de kg.CO₂/kwh no SIN – Sistema Interligado Nacional, e o valor seria de 142,92 Kg.CO₂ / ano, conforme Balanço Energético Nacional (PBE, 2020). Este assunto é apresentado com mais detalhes no capítulo “Resultados”. Neste caso específico, iremos adotar os resultados gerados pela ferramenta computacional.

Na figura abaixo são apresentados os gráficos de geração de energia na área dos módulos considerando os planos horizontal e inclinado.

Figura 76 - Irradiação por área do módulo.



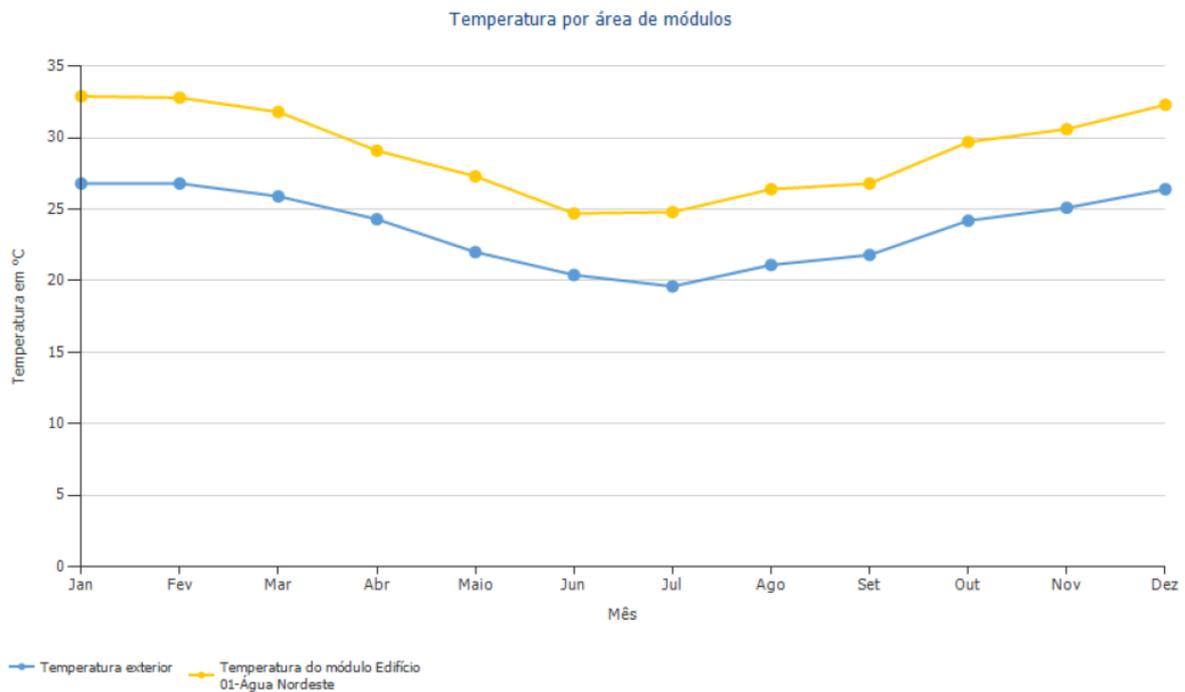
Fonte: PV*SOL premium (R8)

Conforme o gráfico acima a irradiação total por ano sobre os módulos é maior no plano horizontal que no plano inclinado do telhado.

Observa-se também que a irradiação é menor entre os meses de junho e julho, devido ao solstício de inverno, onde há menor irradiação solar.

Ainda na guia “simulação” o gráfico seguinte apresenta a temperatura na área dos módulos durante o ano.

Figura 77 - Temperatura por área de módulos.

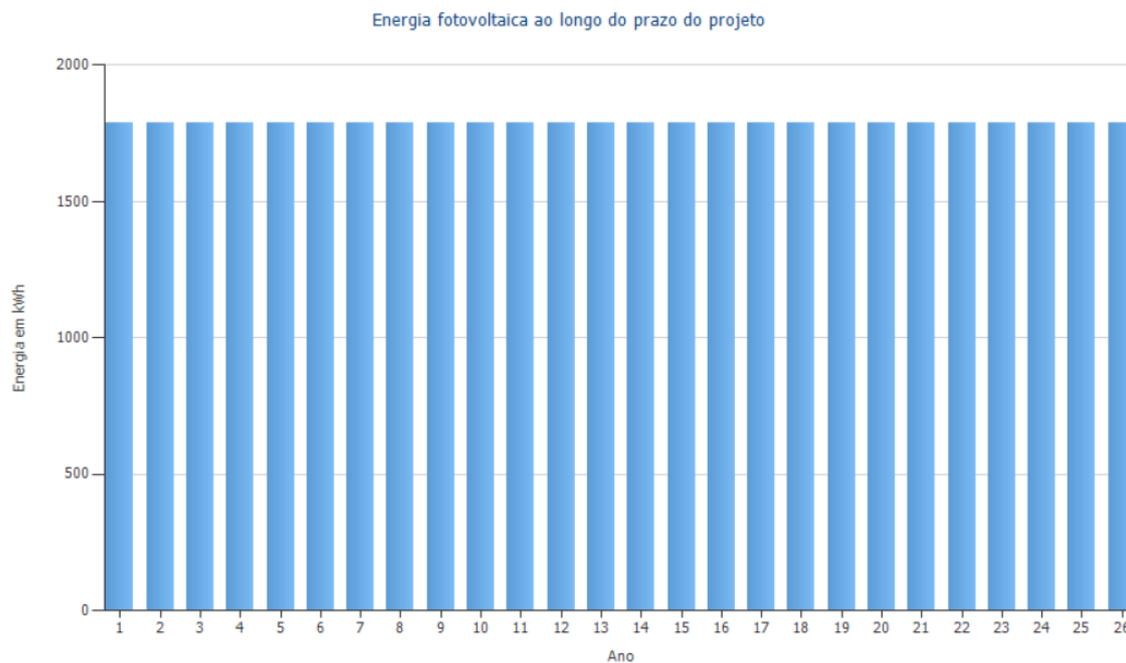


Fonte: PV*SOL premium (R8)

O software calcula e considera a temperatura, porque este dado influencia consideravelmente no rendimento das placas, a linha na cor azul representa a temperatura do ambiente e a linha na cor amarela representa a temperatura nas placas o que influencia no rendimento das mesmas. Nota-se que o gráfico da temperatura acompanha o desenvolvimento da irradiação solar.

Já o gráfico da figura 79, representa a energia gerada para atender a residência durante o prazo de projeto.

Figura 78 - Energia ao longo do prazo do projeto.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

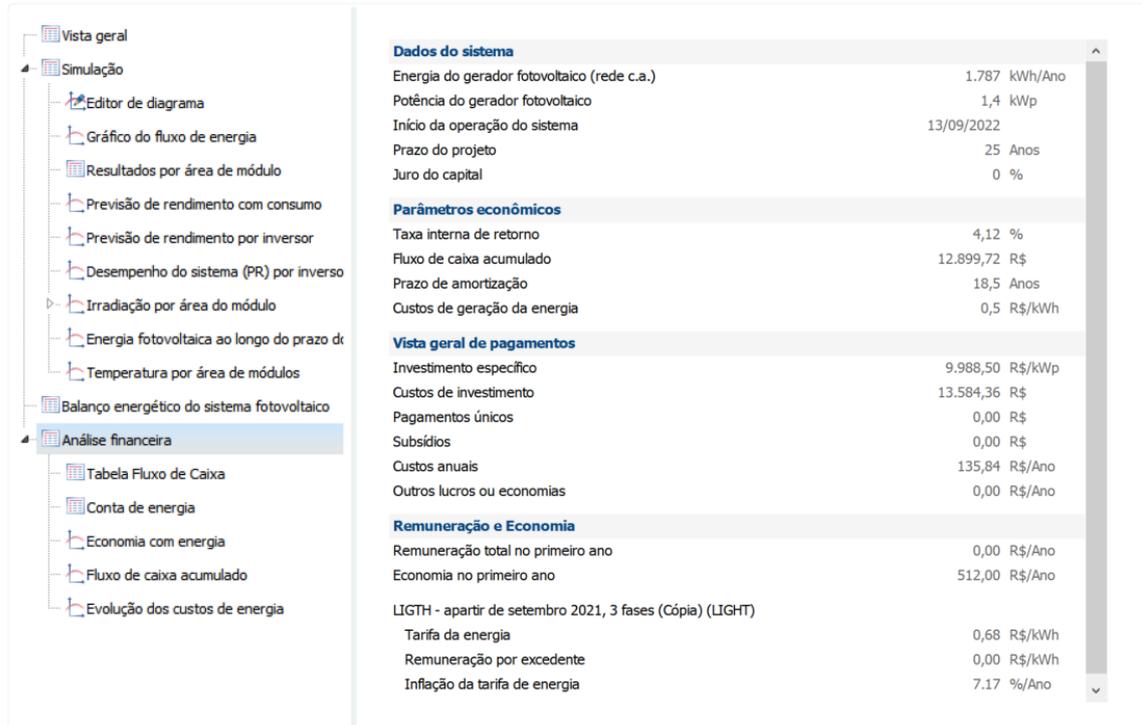
A anergia gerada durante o prazo de projeto, apresentada no gráfico da figura 79, demonstra que não houve diminuição devido a perda de eficiência das placas.

10.1.2 Payback para o modelo de projeto 1

Na tabela 10, no item resultados, subitem “análise financeira” é apresentada a tela com os dados financeiros para análise.

Tabela 10 - Análise financeira

Resultados



Dados do sistema	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	1.787 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	1,4 kWp
Início da operação do sistema	13/09/2022
Prazo do projeto	25 Anos
Juro do capital	0 %

Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	4,12 %
Fluxo de caixa acumulado	12.899,72 R\$
Prazo de amortização	18,5 Anos
Custos de geração da energia	0,5 R\$/kWh

Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	9.988,50 R\$/kWp
Custos de investimento	13.584,36 R\$
Pagamentos únicos	0,00 R\$
Subsídios	0,00 R\$
Custos anuais	135,84 R\$/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 R\$/Ano

Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	0,00 R\$/Ano
Economia no primeiro ano	512,00 R\$/Ano

LIGTH - a partir de setembro 2021, 3 fases (Cópia) (LIGHT)

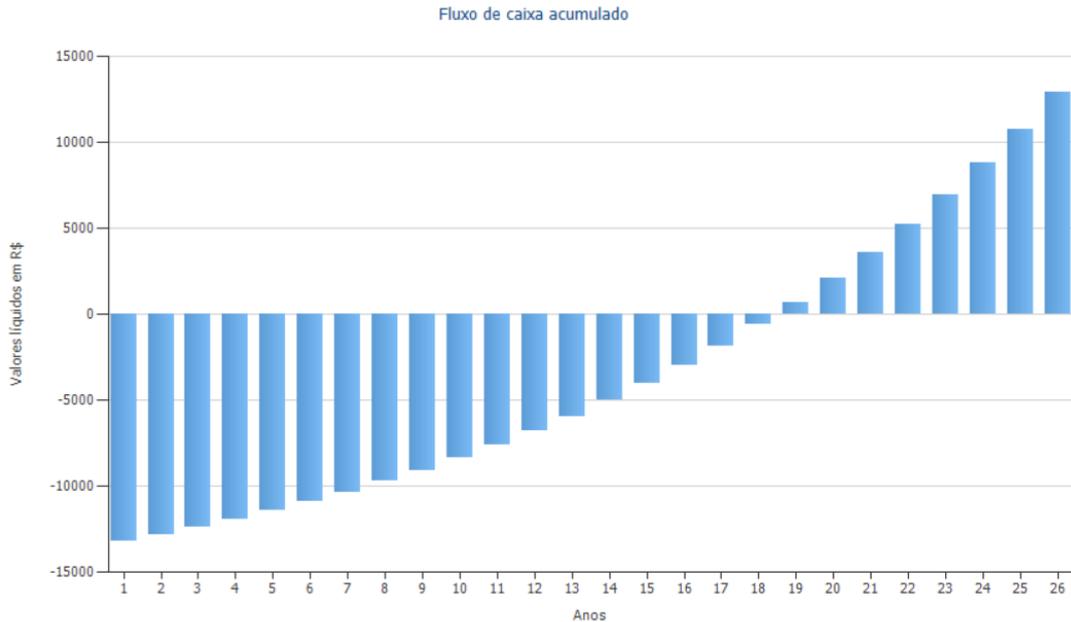
Tarifa da energia	0,68 R\$/kWh
Remuneração por excedente	0,00 R\$/kWh
Inflação da tarifa de energia	7.17 %/Ano

Fonte: PV*SOL premium (R8)

A tabela acima gerada pelo programa, apresenta as informações divididas em quatro temas, são eles; dados do sistema, parâmetros econômicos, vista geral de pagamentos e remuneração e economia. Conforme informado em parâmetros econômico, o prazo de retorno do investimento, ou seja, o payback é de 18,5 anos.

O próximo gráfico, apresenta o fluxo de caixa onde também é possível obter o payback.

Figura 79 - Fluxo de caixa acumulado.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

No gráfico onde é apresentado o fluxo de caixa, nota-se que o retorno financeiro do investimento acontece entre décimo oitavo e décimo nono ano, após a implantação do sistema.

Ainda na guia análise financeira, no subitem conta de energia é apresentada uma tabela com a análise da conta de energia, conforme a figura abaixo:

Tabela 11 - Análise da conta de energia.

Nome	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
Consumo	143,00	143,00	143,00	143,00	143,00	143,00	100,00	100,00	100,00	144,00	143,00	143,00	1588,00
Produção de energia	168,71	152,09	160,67	127,67	149,95	123,06	152,57	148,48	138,54	152,43	144,83	162,01	1781,02
Produção de energia (incl. Degradação do módulo)	168,71	152,09	160,67	127,67	149,95	123,06	152,57	148,48	138,54	152,43	144,83	162,01	1781,02
Saldo	-25,71	-9,09	-17,67	15,33	-6,95	19,94	-52,57	-48,48	-38,54	-8,43	-1,83	-19,01	-193,02
Crédito utilizado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novo crédito	25,71	9,09	17,67	0,00	6,95	0,00	52,57	48,48	38,54	8,43	1,83	19,01	228,29
Conta de crédito	25,71	34,80	52,47	52,47	59,42	59,42	111,99	160,48	199,02	207,44	209,28	228,29	228,29
Fatura	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1200,00
Perda devido à quantidade mínima	100,00	100,00	100,00	84,67	100,00	80,06	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1164,73
Economia	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	0,00	0,00	0,00	44,00	43,00	43,00	388,00
Valores em kWh													
Custos sem sistema fotovoltaico	119,93	119,93	119,93	119,93	119,93	119,93	83,86	83,86	83,86	120,76	119,93	119,93	1331,76
Custos com sistema fotovoltaico	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	68,31	819,76
Economia	51,61	51,61	51,61	51,61	51,61	51,61	15,55	15,55	15,55	52,45	51,61	51,61	512,00
Valores em R\$													

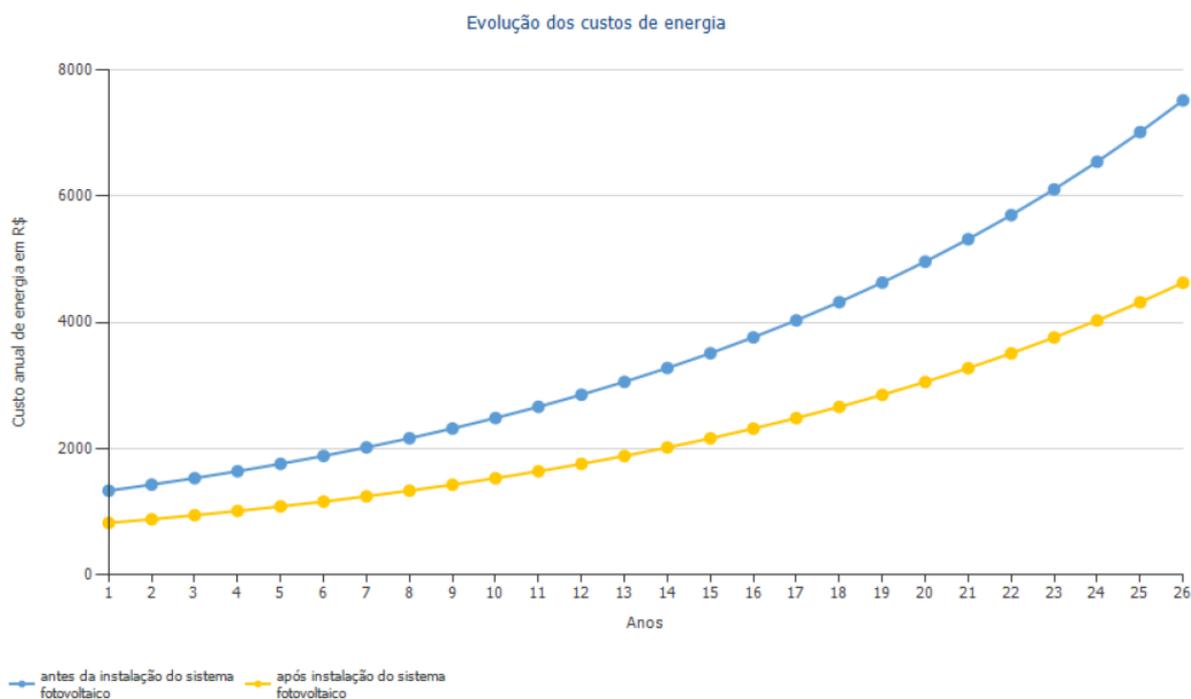
As taxas de depreciação e aumento de preço são aplicadas mensalmente sobre todo o prazo do projeto, começando logo no primeiro ano.

Fonte: PV*SOL premium (R8)

Na tabela 11, é apresentado alguns dados que são gerados ao longo do ano como: consumo e a produção de energia do sistema, acompanhamento do sistema de crédito gerado, os custos com e sem o sistema de geração de energia e a economia obtida a cada mês.

O gráfico a seguir apresenta a evolução dos custos de energia ao longo do prazo do projeto.

Figura 80 - Evolução dos custos de energia.



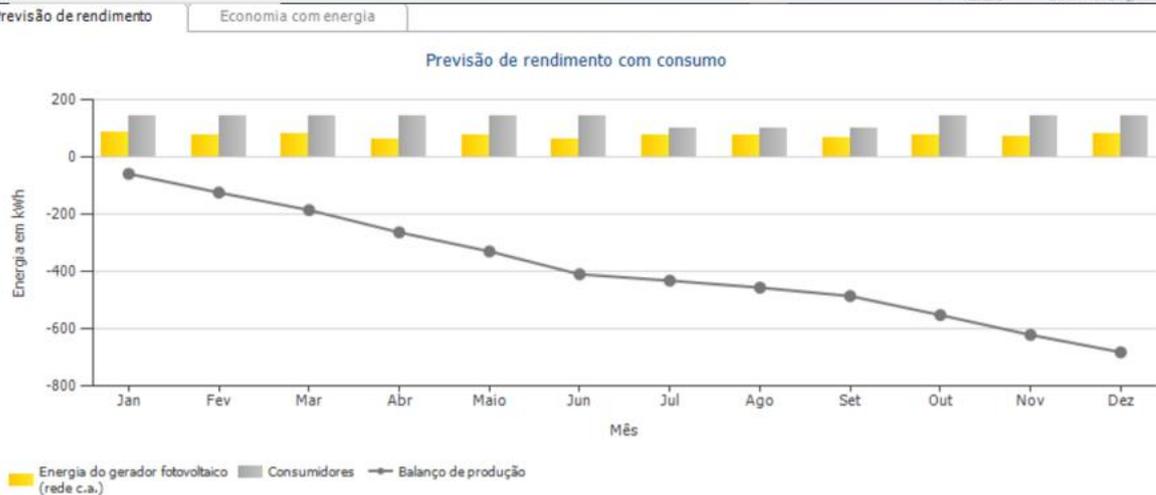
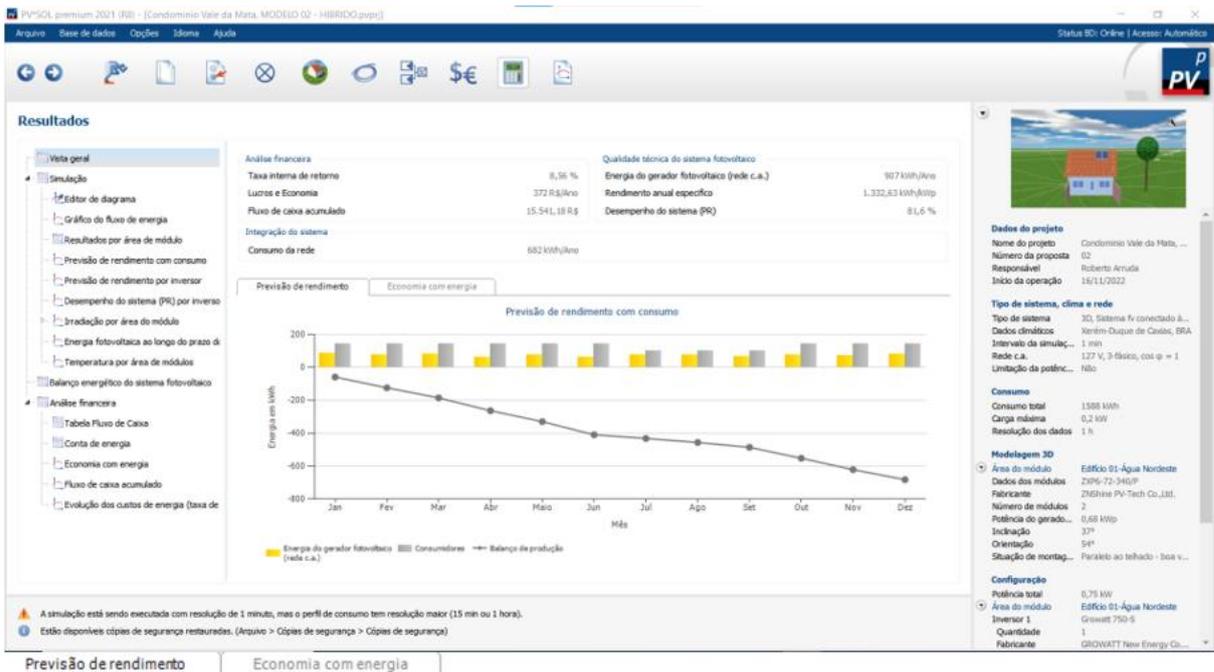
Fonte: PV*SOL premium (R8)

No gráfico acima, a linha em azul apresenta a evolução dos custos de energia ao longo de 26 anos, sem a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico. A linha em amarelo representa a evolução dos custos com o sistema de geração de energia. O software considera os custos com a taxa da inflação e o custo de manutenção do gerador de energia.

10.2 Resultados obtidos para o modelo de projeto 2.

Com o cálculo da simulação, o programa apresenta os dados dos resultados gerados e os gráficos de referência, a primeira guia denominada pelo software como “vista geral” temos as duas figuras abaixo:

Figura 81 - Previsão de rendimento.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

A figura acima, apresenta o resumo dos dados de análise financeira, qualidade técnica do sistema fotovoltaico e o excedente de energia.

Na parte da análise financeira são apresentados os dados de taxa interna de retorno em 8,56% economia de R\$ 372,00 /Ano e fluxo de caixa acumulado no período de 25 anos de R\$ 15.541,18.

Quanto a parte de integração do sistema, há um consumo da 682 Kwh/Ano.

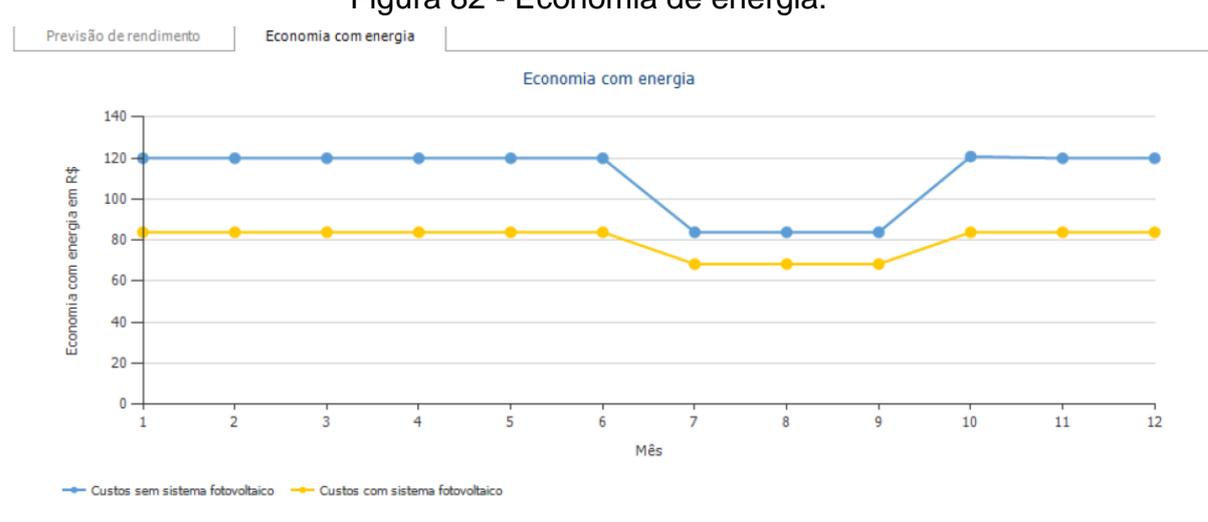
Quanto à qualidade técnica do sistema fotovoltaico, é apresentado que a energia do gerador fotovoltaico é de 907 Kwh/Ano. O rendimento anual específico de 1332,63 kwh/kwp e o desempenho do sistema em 81,3%.

Com relação ao gráfico apresentado é possível observar a energia gerada pelo sistema a cada mês, conforme apresentado nas barras de cor amarela, as barras de cor cinza representam o consumo. Já o gráfico de linha, representa o balanço energético, que é a diferença acumulada entre a geração e o consumo.

Assim é possível perceber que dentro do arranjo que foi possível elaborar para o projeto 2, a energia gerada pelo sistema é menor que o consumo da residência.

Continuando na guia “vista geral” no campo “economia de energia” é apresentado o gráfico conforme a figura abaixo:

Figura 82 - Economia de energia.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

O gráfico a cima, denominado “economia com energia”, apresenta a conta de energia da residência. A linha na cor azul representa o custo da energia sem o

sistema fotovoltaico e a linha na cor amarela apresenta o custo considerando o sistema fotovoltaico.

10.2.1 Redução da emissão de Dióxido de carbono CO₂ para o modelo de projeto 2

Seguindo com a análise financeira, na guia simulação é apresentado o resumo dos dados pertinentes, conforme a próxima tabela:

Tabela 12 - Dados de simulação.

Sistema fotovoltaico	
Potência do gerador fotovoltaico	0,7 kWp
Rendimento anual específico	1.332,63 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	81,6 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,9 %/Ano
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	907 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	426 kg/ano

Consumidores	
Consumidores	1.588 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	0 kWh/Ano
Consumo total	1.588 kWh/Ano
Consumo da rede	681,8 kWh
Fração solar	57,1 %

Nível de autonomia	
Consumo total	1.588 kWh/Ano
coberto pela rede elétrica	1.076 kWh/Ano
Nível de autonomia	32,3 %

Fonte: PV*SOL premium (R8)

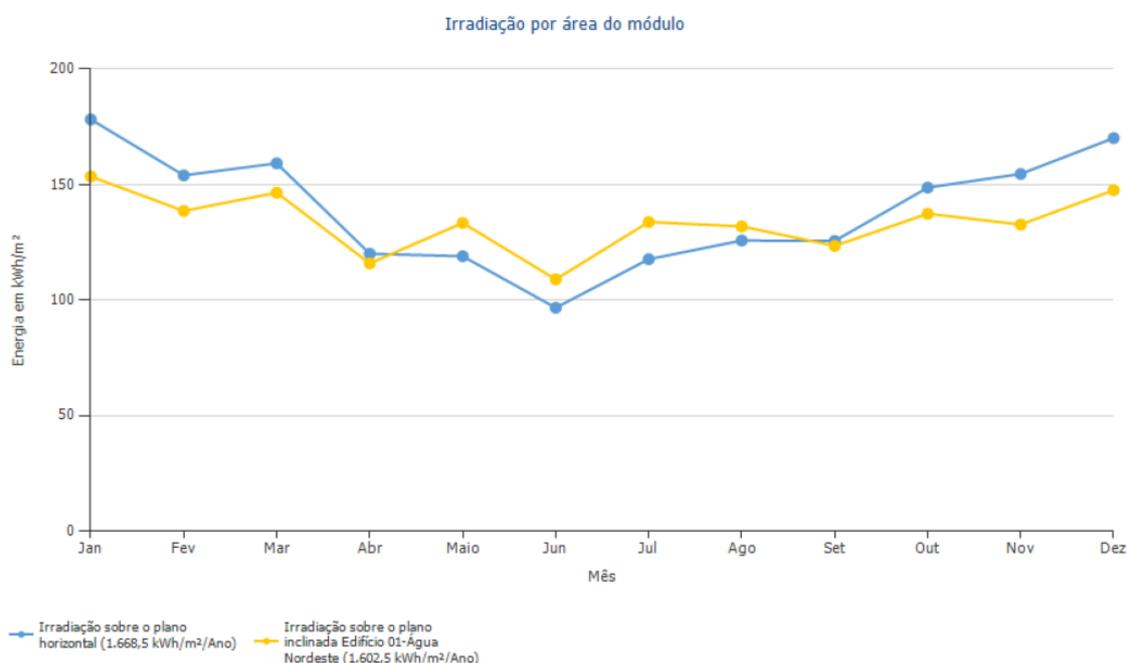
Entre os dados apresentados na tabela anterior, destaca-se o cálculo da previsão da diminuição de emissão de dióxido de carbono (CO₂), para o projeto 2

apresentado a redução foi calculada em 426 kg/ano, é importante salientar que o software considera os parâmetros internacionais.

No caso da realização do cálculo sem o uso de software, seria feito conforme a tabela fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade, onde é considerado um fator de 0,09 de kg.CO₂/kwh no SIN – Sistema Interligado Nacional, e o valor seria de 90,72 Kg.CO₂ / ano, conforme Balanço Energético Nacional (PBE, 2020), este assunto é apresentado com mais detalhes no capítulo “Resultados”. Neste caso será adotado o valor obtido pela ferramenta computacional.

Na figura abaixo são apresentados os gráficos de geração de energia na área dos módulos considerando os planos horizontal e inclinado.

Figura 83 - Irradiação por área do módulo.



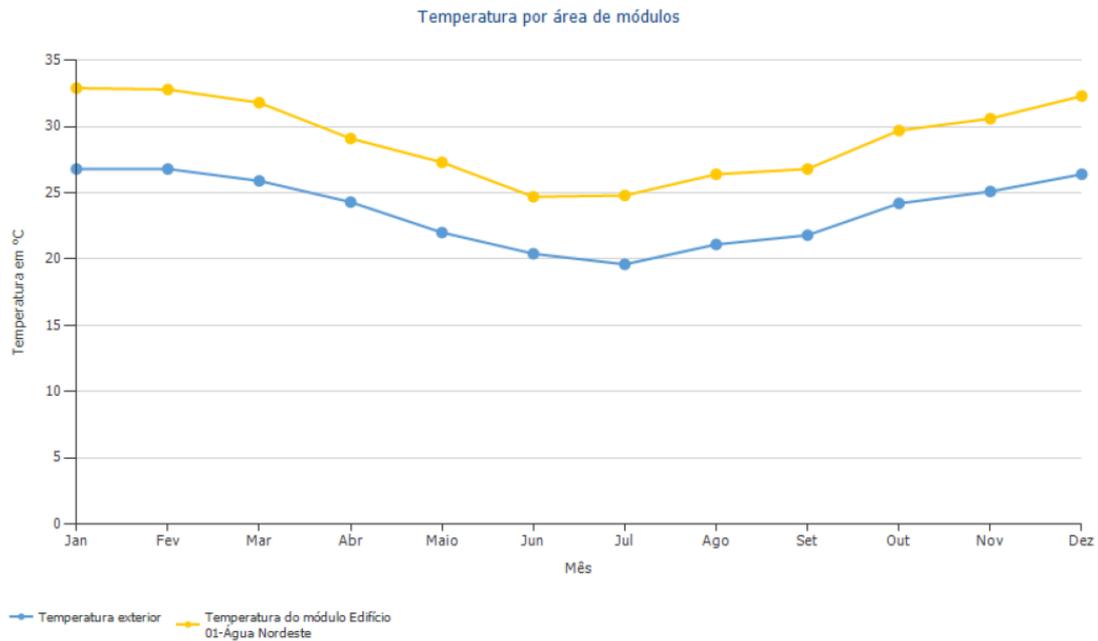
Fonte: PV*SOL premium (R8)

Como não há mudança de posicionamento dos painéis, a irradiação total não foi alterada, comparando o modelo 1 com 2.

Assim como no modelo de projeto 01, no projeto 02 a irradiação total por ano sobre os módulos é maior no plano horizontal que no plano inclinado do telhado.

Continuando na guia “simulação”, o gráfico seguinte apresenta a temperatura na área dos módulos durante o ano.

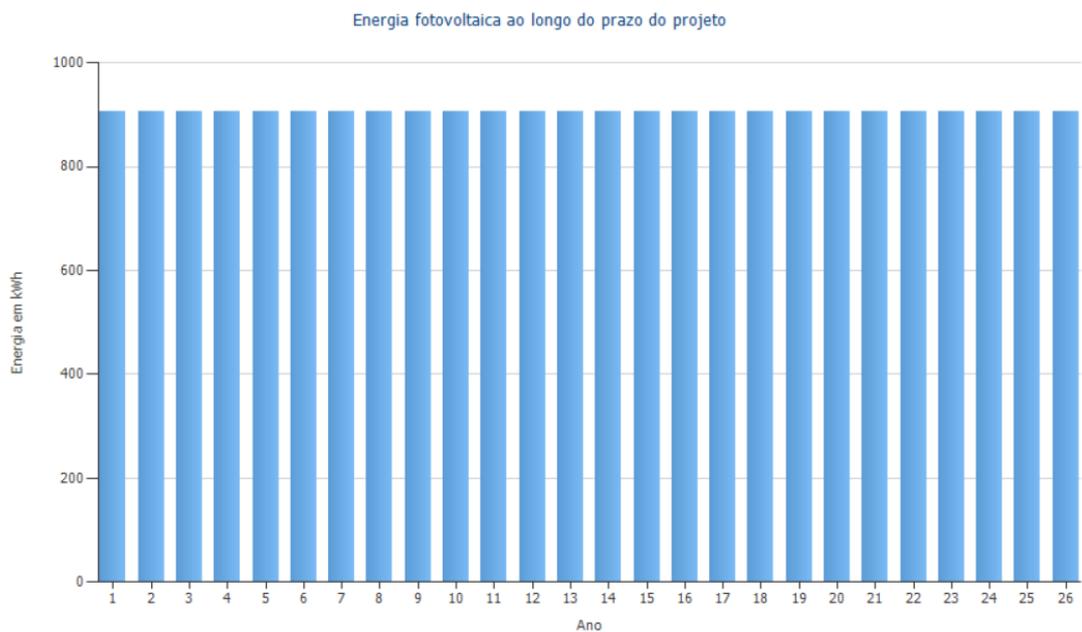
Figura 84 - Temperatura por área de módulos.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

O gráfico da figura abaixo representa a energia gerada para atender a residência durante o prazo de projeto.

Figura 85 - Energia gerada ao longo do prazo do projeto.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Conforme o gráfico da figura 86, não houve diminuição da energia gerada durante o prazo de projeto, devido a perda de eficiência das placas.

10.2.2 Payback para o modelo de projeto 2

Saindo da guia “simulação” e entrando na guia “análise financeira” é apresentada a seguinte tabela:

Tabela 13 - Análise financeira.

Dados do sistema	
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	907 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	0,7 kWp
Início da operação do sistema	16/11/2022
Prazo do projeto	25 Anos
Juro do capital	0 %
Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	8,56 %
Fluxo de caixa acumulado	15.541,18 R\$
Prazo de amortização	12,9 Anos
Custos de geração da energia	0,45 R\$/kWh
Vista geral de pagamentos	
Investimento específico	9.192,65 R\$/kWp
Custos de investimento	6.251,00 R\$
Pagamentos únicos	0,00 R\$
Subsídios	0,00 R\$
Custos anuais	62,51 R\$/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 R\$/Ano
Remuneração e Economia	
Remuneração total no primeiro ano	0,00 R\$/Ano
Economia no primeiro ano	372,04 R\$/Ano
LIGTH - a partir de setembro 2021, 3 fases (Cópia) (LIGHT)	
Tarifa da energia	0,80 R\$/kWh
Remuneração por excedente	0,00 R\$/kWh
Inflação da tarifa de energia	7.17 %/Ano

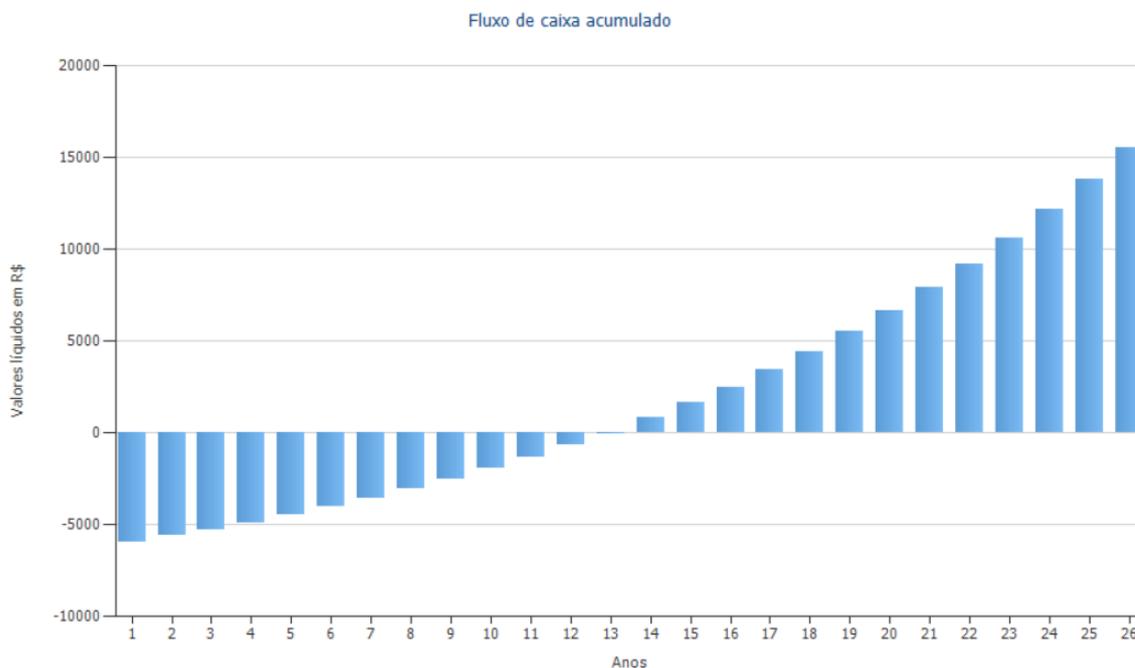
Fonte: PV*SOL premium (R8)

A tabela acima gerada pelo programa, apresenta as informações divididas em quatro temas, dados do sistema, parâmetros econômicos, vista geral de

pagamentos e remuneração e economia. Conforme informado em parâmetros econômico, o prazo de retorno do investimento é de 12,9 anos.

O gráfico abaixo, apresenta o fluxo de caixa onde também é possível obter o payback.

Figura 86 - Fluxo de caixa acumulado



Fonte: PV*SOL premium (R8)

Nota-se no gráfico acima, que o retorno financeiro do investimento acontece próximo ao décimo terceiro ano após a implantação do sistema.

Ainda na guia análise financeira, no sub item conta de energia é apresentada uma tabela com a análise da conta de energia, conforme abaixo:

Tabela 14 - Análise da conta de energia.

Nome	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
Consumo	143,00	143,00	143,00	143,00	143,00	143,00	100,00	100,00	100,00	144,00	143,00	143,00	1588,00
Produção de energia	85,74	77,29	81,71	64,98	76,38	62,94	77,75	75,59	70,40	77,41	73,70	82,30	906,19
Produção de energia (incl. Degradação do módulo)	85,74	77,29	81,71	64,98	76,38	62,94	77,75	75,59	70,40	77,41	73,70	82,30	906,19
Saldo	57,26	65,71	61,29	78,02	66,62	80,06	22,25	24,41	29,60	66,59	69,30	60,70	681,81
Crédito utilizado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novo crédito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conta de crédito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fatura	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1200,00
Perda devido à quantidade mínima	42,74	34,29	38,71	21,98	33,38	19,94	77,75	75,59	70,40	33,41	30,70	39,30	518,19
Economia	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	0,00	0,00	0,00	44,00	43,00	43,00	388,00
Valores em kWh													
Custos sem sistema fotovoltaico	119,93	119,93	119,93	119,93	119,93	119,93	83,86	83,86	83,86	120,76	119,93	119,93	1331,76
Custos com sistema fotovoltaico	83,86	83,86	83,86	83,86	83,86	83,86	68,31	68,31	68,31	83,86	83,86	83,86	959,72
Economia	36,06	36,06	36,06	36,06	36,06	36,06	15,55	15,55	15,55	36,90	36,06	36,06	372,04
Valores em R\$													

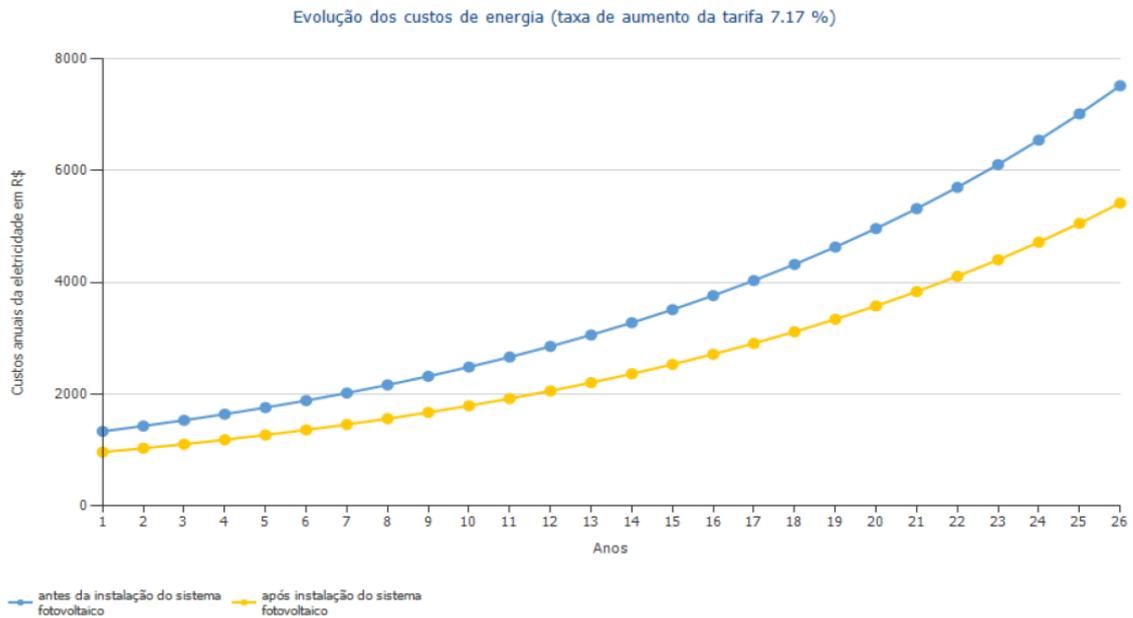
As taxas de depreciação e aumento de preço são aplicadas mensalmente sobre todo o prazo do projeto, começando logo no primeiro ano.

Fonte: PV*SOL premium (R8)

Na tabela acima é apresentado alguns dados ao longo do ano, como; consumo e a produção de energia do sistema, acompanhamento do sistema de crédito gerado, os custos com e sem o sistema de geração de energia e a economia obtida a mês.

O gráfico da figura 88, apresenta a evolução dos custos de energia ao longo do prazo do projeto.

Figura 87 - Evolução dos custos de energia.



Fonte: PV*SOL premium (R8)

No gráfico acima a linha em azul apresenta a evolução dos custos de energia ao longo de 26 anos, sem a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaico. A linha em amarelo representa a evolução dos custos com o sistema de geração de energia. O software considera os custos com a taxa da inflação e o custo de manutenção do gerador de energia.

10.3 Resultados obtidos para o modelo de projeto 3.

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos pelo modelo de projeto 3 que consistiu na modelagem de um projeto com utilização do sistema de aquecimento de água - SAS.

10.3.1 Redução da emissão de CO₂ para o modelo 3 - SAS

Conforme o relatório "Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de dióxido de carbono, a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações" publicado pelo CB3E (CB3E, 2017), o Instituto de Energia e Ambiente (IEE-SP) desenvolveu um método para estimativa dos fatores de conversão de eletricidade e gás em energia primária e de emissões de dióxido de carbono, baseado no Balanço Energético Nacional (PBE, 2020)

De acordo com o relatório são bastante comuns, as oscilações no fator de emissão de dióxido de carbono para queima direta na geração de eletricidade no SIM – (Sistema Interligado Nacional). Pois, o uso de termelétricas está associado às questões hidrológicas de cada ano. Em um ano com pouca chuva, utiliza-se mais as termelétricas e conseqüentemente há maior fator de emissão de GEE (gases de efeito estufa).

Assim, o relatório utilizou dados de emissões do ano de 2007 à 2016 e criou uma metodologia em que chegou em uma definição, conforme a tabela abaixo:

Tabela: – Fatores de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade.

Geração de eletricidade	Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono por Geração de Eletricidade	Unidade
SIN – Sistema Interligado Nacional	0,090	kg.CO2/kWh
SIS - Sistemas Isolados	0,753	kg.CO2/kWh

Fonte: MCT (2019).

Assim, considerando o cálculo do uso de chuveiro elétrico no subitem anterior, temos que $84\text{kwh} \times 0,09 \text{ kg. CO}_2 = 7,56 \text{ kg.CO}_2/\text{mês.}$ que corresponde à $90,72 \text{ kg.CO}_2 / \text{ano.}$

Durante a vida útil do Sistema de Aquecimento Solar (SAS), temos um total de 1.088,64 Kg de CO₂.

Se considerar as 215 unidades do condomínio Vale da Mata, temos um total de redução durante a vida útil do sistema de 234.057,60 Kg de CO₂.

10.3.2 Payback do modelo 3 - SAS

O Payback é o tempo de retorno sobre o investimento do sistema, sendo o tempo necessário para que o fluxo de caixa anual se torne positivo, isto é, o tempo necessário para que a economia financeira em energia elétrica do sistema convencional se iguale ao total investido no sistema, utilizando para isso a quantia economizada anualmente no consumo de energia elétrica.

Para calcular o payback será considerado os seguintes fatores:

- Investimento total realizado = R\$ 6.267,97
- Custo com manutenção anual do sistema (limpeza das placas)
- Consumo com uso de chuveiro elétrico = 5500 watts.
- Tarifa de energia da residência, conforme a conta de energia da residência a tarifa já com tributos é de R\$ 1,04997 por kwh.
- Inflação da tarifa de energia de 7,17 %/ano.

Custo com uso de chuveiro elétrico.

Existem vários modelos de chuveiros elétricos disponíveis no mercado brasileiro, com diferentes potências e eficiências energéticas. Segue cinco exemplos de chuveiros elétricos comuns no Brasil, juntamente com suas respectivas potências:

- 1 - Lorenzetti Acqua Duo: 5500 watts (potência);
- 2 - Hydra Optima: 5500 watts (potência);
- 3 - Corona Gorducha: 5500 watts (potência);
- 4 - Fame Solar: 7500 watts (potência);
- 5 - Cardal Maxi Ducha: 5500 watts (potência).

Assim será utilizado como referência o chuveiro com 5500 watts de potência, com consumo mensal aproximado para uso de 10 minutos correspondente à um consumo médio mensal de 28 KWh.

Assim para a residência em estudo com 3 pessoas, tem-se um consumo de 84kwh/mês.

Considerando a tarifa já com tributos de R\$ 1,04997 o valor mensal é de R\$ 88,19 e valor anual de R\$ 1.058,36.

No entanto, utilizando o método do Payback descontado, o qual considera necessário levar em conta o valor temporal do dinheiro, foi elaborada uma planilha com o cálculo do payback, considerando Inflação da tarifa de energia de 7,17 %/ano e utilizando este mesmo parâmetro inflacionário para o cálculo do custo com manutenção anual do sistema, conforme tabela abaixo:

Tabela 15 – Cálculo do payback sem o custo de disponibilidade

	Custo de implantação do sistema	Custo de manutenção corrigido com 7,17 % a.a	Valor anual do custo com chuveiro elétrico corrigido com 7,17 % a.a	Valor acumulado do custo com chuveiro elétrico	Valor da receita
Ano 1	R\$ 6.267,97	R\$ 62,50	R\$ 1.058,36	R\$ 1.058,36	-R\$ 5.272,11
Ano 2		R\$ 66,98	R\$ 1.134,24	R\$ 2.192,60	-R\$ 4.142,35
Ano 3		R\$ 71,78	R\$ 1.215,57	R\$ 3.408,17	-R\$ 2.931,58
Ano 4		R\$ 76,93	R\$ 1.302,73	R\$ 4.710,90	-R\$ 1.634,00
Ano 5		R\$ 82,45	R\$ 1.396,13	R\$ 6.107,03	-R\$ 243,38
Ano 6		R\$ 88,36	R\$ 1.496,23	R\$ 7.603,27	R\$ 1.246,94
Ano 7		R\$ 94,69	R\$ 1.603,51	R\$ 9.206,78	R\$ 2.844,12
Ano 8		R\$ 101,48	R\$ 1.718,49	R\$ 10.925,27	R\$ 4.555,81
Ano 9		R\$ 108,76	R\$ 1.841,70	R\$ 12.766,97	R\$ 6.390,24
Ano 10		R\$ 116,56	R\$ 1.973,75	R\$ 14.740,72	R\$ 8.356,19
Ano 11		R\$ 124,91	R\$ 2.115,27	R\$ 16.855,99	R\$ 10.463,10
Ano 12		R\$ 133,87	R\$ 2.266,93	R\$ 19.122,92	R\$ 12.721,08
Ano 13		R\$ 143,47	R\$ 2.429,47	R\$ 21.552,40	R\$ 15.140,96
Ano 14		R\$ 153,76	R\$ 2.603,67	R\$ 24.156,06	R\$ 17.734,34
Ano 15		R\$ 164,78	R\$ 2.790,35	R\$ 26.946,41	R\$ 20.513,66
Ano 16		R\$ 176,60	R\$ 2.990,42	R\$ 29.936,83	R\$ 23.492,27
Ano 17		R\$ 189,26	R\$ 3.204,83	R\$ 33.141,66	R\$ 26.684,44
Ano 18		R\$ 202,83	R\$ 3.434,62	R\$ 36.576,28	R\$ 30.105,48
Ano 19		R\$ 217,37	R\$ 3.680,88	R\$ 40.257,16	R\$ 33.771,82
Ano 20		R\$ 232,95	R\$ 3.944,80	R\$ 44.201,96	R\$ 37.701,03
Ano 21		R\$ 249,66	R\$ 4.227,64	R\$ 48.429,60	R\$ 41.911,97
Ano 22		R\$ 267,56	R\$ 4.530,76	R\$ 52.960,36	R\$ 46.424,83
Ano 23		R\$ 286,74	R\$ 4.855,62	R\$ 57.815,98	R\$ 51.261,27
Ano 24		R\$ 307,30	R\$ 5.203,77	R\$ 63.019,74	R\$ 56.444,47
Ano 25		R\$ 329,33	R\$ 5.576,88	R\$ 68.596,62	R\$ 61.999,31

Neste caso o payback é de 5 anos e 2 meses e logo no sexto ano é possível obter uma receita de R\$ 1.246,94 em valor futuro. No final do ciclo de vida do sistema considerado de 25 anos, obtém-se uma receita de R\$ 61.999,31.

Entretanto, para o cálculo acima, não foi considerado o custo de disponibilidade que é um limite de 100kwh/mês, ou seja, mesmo que o usuário tenha um consumo abaixo de 100kwh/mês ou até mesmo um consumo zero, terá que pagar o valor correspondente, que no caso é de 100 kwh x R\$ 1,04997 = R\$ 104,90 / mês. Dessa forma, o cálculo acima é representativo quando o consumo médio mensal é maior que 184kwh/mês.

Considerando a residência objeto de estudo, a qual tem um consumo baixo e o excedente anual à taxa de disponibilidade é de 388 Kwh/ano, conforme tabela abaixo:

Tabela 16 - Consumo excedente ao custo de disponibilidade

	Mês	Consumo (kWh/mês)	Consumo excedente ao custo de disponibilidade 100kwh em (kwh)
1	jan/21	143	43
2	fev/21	143	43
3	mar/21	143	43
4	abr/21	143	43
5	mai/21	143	43
6	jun/21	143	43
7	jul/21	100	0
8	ago/21	100	0
9	set/21	100	0
10	out/21	144	44
11	nov/20	143	43
12	dez/20	143	43
Consumo anual excedente à disponibilidade de 100kwh/mês			388

Fonte: autor

Assim, utilizando o método do Payback descontado, considerando o custo do consumo anual da residência excedente a disponibilidade de 100kwh/mês, foi elaborada a planilha com o cálculo do payback, considerando inflação da tarifa de

energia de 7,17 %/ano e utilizando este mesmo parâmetro inflacionário para o cálculo do custo, com manutenção anual do sistema, conforme tabela abaixo:

Tabela 17 - Cálculo do payback considerando o custo de disponibilidade

Cálculo do payback considerando o consumo anual excedente à disponibilidade de 100kwh/mês						
	Custo de implantação do sistema	Custo de manutenção corrigido com 7,17 % a.a	Valor anual do custo de energia excedente à 100kwh/mês corrigido com 7,17 % a.a	Valor acumulado do custo com energia excedente à 100kwh/mês corrigido com 7,17 % a.a		Valor da receita
Ano 1	R\$ 6.267,97	R\$ 62,50	R\$ 407,39	R\$ 407,39		-R\$ 5.923,08
Ano 2		R\$ 66,98	R\$ 436,60	R\$ 843,99		-R\$ 5.490,96
Ano 3		R\$ 71,78	R\$ 467,90	R\$ 1.311,89		-R\$ 5.027,87
Ano 4		R\$ 76,93	R\$ 501,45	R\$ 1.813,34		-R\$ 4.531,56
Ano 5		R\$ 82,45	R\$ 537,40	R\$ 2.350,74		-R\$ 3.999,67
Ano 6		R\$ 88,36	R\$ 575,94	R\$ 2.926,68		-R\$ 3.429,65
Ano 7		R\$ 94,69	R\$ 617,23	R\$ 3.543,91		-R\$ 2.818,75
Ano 8		R\$ 101,48	R\$ 661,49	R\$ 4.205,40		-R\$ 2.164,05
Ano 9		R\$ 108,76	R\$ 708,92	R\$ 4.914,31		-R\$ 1.462,41
Ano 10		R\$ 116,56	R\$ 759,74	R\$ 5.674,06		-R\$ 710,47
Ano 11		R\$ 124,91	R\$ 814,22	R\$ 6.488,28	R\$ 95,39	R\$ 95,39
Ano 12		R\$ 133,87	R\$ 872,60	R\$ 7.360,88	R\$ 959,04	R\$ 959,04
Ano 13		R\$ 143,47	R\$ 935,16	R\$ 8.296,04	R\$ 1.884,60	R\$ 1.884,60
Ano 14		R\$ 153,76	R\$ 1.002,21	R\$ 9.298,25	R\$ 2.876,53	R\$ 2.876,53
Ano 15		R\$ 164,78	R\$ 1.074,07	R\$ 10.372,33	R\$ 3.939,58	R\$ 3.939,58
Ano 16		R\$ 176,60	R\$ 1.151,08	R\$ 11.523,41	R\$ 5.078,85	R\$ 5.078,85
Ano 17		R\$ 189,26	R\$ 1.233,62	R\$ 12.757,03	R\$ 6.299,80	R\$ 6.299,80
Ano 18		R\$ 202,83	R\$ 1.322,07	R\$ 14.079,09	R\$ 7.608,30	R\$ 7.608,30
Ano 19		R\$ 217,37	R\$ 1.416,86	R\$ 15.495,95	R\$ 9.010,61	R\$ 9.010,61
Ano 20		R\$ 232,95	R\$ 1.518,45	R\$ 17.014,40	R\$ 10.513,48	R\$ 10.513,48
Ano 21		R\$ 249,66	R\$ 1.627,32	R\$ 18.641,72	R\$ 12.124,10	R\$ 12.124,10
Ano 22		R\$ 267,56	R\$ 1.744,00	R\$ 20.385,72	R\$ 13.850,20	R\$ 13.850,20
Ano 23		R\$ 286,74	R\$ 1.869,04	R\$ 22.254,77	R\$ 15.700,06	R\$ 15.700,06
Ano 24		R\$ 307,30	R\$ 2.003,06	R\$ 24.257,82	R\$ 17.682,55	R\$ 17.682,55
Ano 25		R\$ 329,33	R\$ 2.146,67	R\$ 26.404,50	R\$ 19.807,19	R\$ 19.807,19

Fonte: autor

Portanto, neste caso o payback é de aproximadamente 10 anos e onze meses, onde no décimo primeiro ano, inicia-se o balanço positivo com uma receita de R\$95,39 em valor futuro. No final do ciclo de vida do sistema, considerado de 25 anos, obtém-se uma receita total de R\$ 19.807,19.

10.4 Discussões

A partir dos resultados obtidos, são destacados abaixo aqueles considerados de maior importância para uma análise e comparação, entre os três modelos propostos. Com isso, será feita uma análise dos seguintes parâmetros; produção máxima de energia em um ano, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, PAYBACK, retorno financeiro ao longo da vida útil dos sistemas e redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada. Assim temos:

modelo 1 - projeto fotovoltaico conectado à rede com balanço energético zero, isto é, atende toda demanda da residência que é de 1588 Kwh por ano.

Resultados do modelo 1:

01 - Produção máxima de energia em um ano = 1.781,02 kwh / ano

02 - Energia gerada utilizada = 1.588,00 kwh / ano

03 - Custo de implantação do sistema = R\$ 9.988,50

04 - PAYBACK = 18 anos e 6 meses

05 - Retorno financeiro ao longo da vida útil = R\$ 12.899,72

06 - Redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada = 837 kg.CO₂ / ano.

Modelo 2 - Sistema fotovoltaico conectado à rede, com dois painéis solares de 340W cada, ou seja, uma carga predefinida de 680W.

Resultados do modelo 2:

01 - Produção máxima de energia em um ano = 906,19 kwh / ano

02 - Energia gerada utilizada = 906,19 kwh / ano

03 - Custo de implantação do sistema = R\$ 9.192,65

04 - PAYBACK = 12 anos e 11 meses

05 - Retorno financeiro ao longo da vida útil = R\$ 15.541,18

06 - Redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada = 426 kg.CO₂ / ano.

Modelo 3 - Sistema de aquecimento solar (SAS)

Resultados do modelo 3:

01 - Produção máxima de energia em um ano = 1.434,6 kwh / ano

02 - Energia gerada utilizada = 1.008,00 kwh / ano

03 - Custo de implantação do sistema = R\$ 6.267,97

04 - PAYBACK = 10 anos e 11 meses

05 - Retorno financeiro ao longo da vida útil = R\$ 19.807,19

06 - Redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada = 90,72 kg.CO₂ / ano.

Tabela 18 - Comparação dos principais resultados entre os três modelos.

Para uma melhor compreensão e análise dos principais resultados obtidos para cada modelo proposto, foi elaborada a tabela abaixo:

Fonte: autor

Comparação dos resultados entre os três modelos			
	MOD 1 - Sistema fotovoltaico com balanço energético zero.	MOD 2 - Sistema fotovoltaico com carga predefinida de 680W	MOD 3 - Sistema de aquecimento solar (SAS)
Produção máxima de energia em um ano.	1.781,02 kwh / ano	906,19 kwh / ano	1434,6 kwh / ano
Energia gerada utilizada.	1.588,00 kwh / ano	906,19 kwh / ano	1.008,00 kwh / ano
Custo de implantação do sistema	R\$ 9.988,50	R\$ 9.192,65	R\$ 6.267,97
PAYBACK	18 anos e 6 meses	12 anos e 11 meses	10 anos e 11 meses
Retorno financeiro ao longo da vida útil	R\$ 12.899,72	R\$ 15.541,18	R\$ 19.807,19
Redução da emissão de CO ₂ devido a energia utilizada.	837 kg.CO ₂ / ano.	426 kg.CO ₂ / ano.	* 90,72 kg.CO ₂ / ano.
Nota: * Cálculo da redução de CO ₂ para o modelo 3, conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem - (PBE,2020). Diferente dos parâmetros utilizados pelo software PV SOL.			

Comparando os três modelos propostos, observa-se que modelo 1, consistiu em um projeto fotovoltaico conectado à rede com balanço energético zero, onde a energia gerada atende toda demanda da residência que é de 1588 Kwh por ano. Os resultados mostraram que a produção máxima de energia foi de 1.781,02 kwh / ano e a energia gerada utilizada foi de 1.588,00 kwh / ano que é o consumo da residência. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 9.988,50 e o PAYBACK foi de 18 anos e 6 meses. O retorno financeiro ao longo da vida útil foi de R\$ 12.899,72. Além disso, o sistema apresentou uma redução efetiva de 837 kg.CO₂ / ano devido à energia utilizada.

O segundo modelo proposto foi um sistema fotovoltaico conectado à rede, com dois painéis solares de 340W cada, ou seja, uma carga predefinida de 680W. Os resultados mostraram que a produção máxima de energia foi de 906,19 kwh / ano e a energia gerada utilizada, neste caso com o mesmo valor de 906,19 kwh / ano. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 9.192,65 e o PAYBACK foi de 12 anos e 11 meses. O retorno financeiro ao longo da vida útil foi de R\$ 15.541,18. Além disso, o sistema apresentou uma redução efetiva devido à energia utilizada com o valor de 426, devido a capacidade máxima do sistema de geração de energia ser limitada à 906,19 kwh / ano.

Com relação ao modelo 3, o qual utiliza o sistema de aquecimento solar (SAS), os resultados mostraram que a produção máxima de energia foi de 1.434,6 kwh / ano e a energia gerada utilizada foi de 1.008,00 kwh / ano. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 6.267,97 e o PAYBACK de 10 anos e 11 meses. O retorno financeiro ao longo da vida útil foi de R\$ 19.807,19. Além disso, o sistema pode reduzir a emissão de CO₂ em até 129,114 kg.CO₂ / ano, com uma redução efetiva de 90,72 kg.CO₂ / ano devido à energia utilizada.

No entanto, é importante ressaltar que cada modelo apresentado possui suas vantagens e desvantagens, de forma geral a escolha final deve ser baseada nas necessidades e recursos disponíveis do condomínio, bem como nos objetivos específicos de cada projeto. Além disso, é importante considerar que os resultados obtidos podem variar de acordo com as condições climáticas e geográficas da região em que o condomínio está localizado.

Portanto, os resultados indicaram que todos os modelos propostos são viáveis tecnicamente, economicamente e ambientalmente. Contudo, o modelo 3 de aquecimento solar apresentou o menor custo de implantação, o menor PAYBACK e o maior retorno financeiro ao longo da vida útil, além de apresentar uma boa redução de emissão de CO₂. Sendo assim, se entende que o modelo 3 é o mais recomendado para o condomínio Vale da Mata.

11. CONCLUSÕES

A dissertação apresentada, teve como objetivo a análise do custo-benefício de três modelos de projeto propostos, utilizando energia solar em um condomínio residencial de interesse social denominado Vale da Mata em Xerém, no quarto distrito de município de Duque de Caxias, localizado no Estado do Rio de Janeiro.

O Vale da Mata foi inaugurado em novembro de 2015 e foi construído para abrigar dezenas de famílias que perderam suas casas nas chuvas que ocasionaram desastres como inundações, alagamentos e deslizamentos de terra, causando mortes e deixando mil desabrigados na região de Xerém, em janeiro de 2013. O condomínio é composto por 215 casas possuindo sistema de aquecimento solar e é fruto da parceria entre o Governo Federal (Programa Minha Casa Minha Vida) e Governo do Estado (Secretaria de Habitação), com o apoio da Prefeitura de Duque de Caxias, através da Secretaria Municipal de Urbanismo e Habitação.

A metodologia utilizada consistiu nos seguintes passos:

trabalho de campo realizando visitas para obtenção do perfil de consumo dos moradores;

levantamento dos dados de instalação na residência como, área do telhado, sombreamento, ângulos azimutais, e inclinação do telhado;

simulação dos sistemas fotovoltaicos (modelos 1 e 2) com utilização do software PVSOL;

dimensionamento do sistema de aquecimento solar (SAS);

elaboração de composição de custos para implantação de cada projeto utilizando pesquisa de mercado e pesquisa de preço nas bases oficiais governamentais;

calculando a redução de emissão de CO₂ para cada modelo de projeto proposto;

por fim, análise dos resultados adquiridos como, capacidade de geração de energia, energia gerada utilizada, custo de implantação do sistema, payback,

retorno financeiro ao longo da vida útil de 25 anos e redução de CO₂ devido a energia utilizada.

Para a simulação e obtenção dos resultados dos sistemas fotovoltaicos, foram pesquisados os programas mais utilizados para dimensionamento de energia solar fotovoltaica, entre eles foram observados alguns que se destacam, por serem os mais comumente utilizados, os quais são: PVSyst; PVSol; Solego e HelioScop.

O que pareceu mais conveniente para dimensionar os dois modelos de projetos fotovoltaicos propostos pelo presente trabalho foi o PVSOL. Isso devido ao software apresentar uma interface, aparentemente, mais amigável e ter recursos mais interessantes para dimensionamento em residências.

Para o modelo 3, os cálculos de dimensionamento para obtenção dos resultados foram realizados conforme a Norma ABNT – NBR 15569 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação.

No modelo 1, foi proposto um projeto fotovoltaico conectado à rede com balanço energético zero, que atende toda demanda da residência que é de 1588 Kwh/ano. Os resultados indicaram que a produção máxima de energia do sistema em um ano foi de 1.781,02 Kwh/ano, com energia gerada utilizada de 1.588,00 Kwh/ano que é o consumo da residência. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 9.988,50, com um payback de 18 anos e 6 meses, e um retorno financeiro ao longo da vida útil de R\$ 12.899,72. Além disso, foi observada uma redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada de 837 kg.CO₂/ano.

Em relação ao modelo 2, foi proposto um sistema fotovoltaico conectado à rede, com dois painéis solares de 340W cada, ou seja, uma carga predefinida de 680W para os painéis solares. Os resultados indicaram que a produção máxima de energia em um ano foi de 906,19 Kwh/ano, neste caso, um quantitativo menor que a carga consumida pela moradia, portanto, a energia gerada utilizada foi o mesmo valor de 906,19 Kwh/ano. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 9.192,65, com um payback de 12 anos e 11 meses, e um retorno financeiro ao longo da vida útil de R\$ 15.541,18. Além disso, foi observada uma redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada de 426 kg.CO₂/ano.

Para o modelo 3, foi proposto um sistema de aquecimento solar (SAS). Os resultados indicaram que a produção máxima de energia em um ano foi de 1.434,6 Kwh/ano, com energia gerada utilizada de 1.008,00 Kwh/ano. O custo de implantação do sistema foi de R\$ 6.267,97, com um payback de 10 anos e 11 meses, e um retorno financeiro ao longo da vida útil de R\$ 19.807,19. Além disso, foi observada uma capacidade máxima que o sistema pode reduzir de emissão de CO₂ de 129,114 kg.CO₂/ano e uma redução da emissão de CO₂ devido a energia utilizada de 90,72 kg.CO₂/ano.

Com relação a comparação entre os três modelos, o que consiste em um sistema fotovoltaico conectado à rede que gera toda energia consumida pela residência (modelo 1), foi capaz de gerar um excedente de energia que pode ser aproveitado para outras finalidades. O custo de implantação deste sistema e o payback foi maior entre os três, ainda assim, foi capaz de gerar um retorno financeiro favorável considerando a vida útil.

O modelo 2, com dois painéis solares de 340W cada, também se mostrou eficiente na geração de energia. O tempo de retorno financeiro foi menor em relação ao modelo 1 e maior em relação ao modelo 2, mas a redução de emissão de CO₂ foi a menor comparado ao modelo 1 e maior que o modelo 3.

O modelo 3, que consiste em um sistema de aquecimento solar (SAS), teve um desempenho satisfatório na geração de energia, o custo de implantação e o payback foi o menor entre os três e a redução e capacidade máxima de redução de emissão de CO₂, ficou abaixo do modelo 1 e abaixo do modelo 2.

Vale salientar que o cálculo da redução de CO₂ para o modelo 3 foi realizado conforme os parâmetros nacionais e para os modelos 1 e 2 foi realizado pelo software PVsol que usou os parâmetros internacionais, se fosse considerado os parâmetros nacionais para o modelo 2, o mesmo teria um valor de redução menor que para o modelo 3.

É importante salientar que, há limitações que são comuns para os três modelos, bem como, limitações para cada um em particular.

Na dissertação, para o cálculo do tempo de retorno, foi utilizado o método do payback descontado, isto é, considerando o valor futuro, portanto foi utilizado

uma projeção levando em conta a inflação. No entanto, não foi feita comparação do custo de implantação dos sistemas com investimentos financeiros como: CDB, poupança, LCI, ou outros investimentos de renda fixa. Isto porque este trabalho é inclinado para a população de baixa renda e não tem neste caso, o objetivo de utilizar os modelos propostos como investimentos financeiros.

Considerando um condomínio de baixa renda, a capacidade do modelo 1 de gerar um excedente de energia, parece não ser interessante, uma vez que foi o sistema com maior custo e o maior payback.

Quanto ao modelo 2, limita-se com relação a capacidade máxima de geração de energia, assim caso haja uma necessidade de aumento da demanda seja por crescimento da família ou até mesmo recebimento de visitas, o sistema não será capaz de suprir qualquer acréscimo.

Já a limitação do modelo 3, se dá pelo fato de o sistema ser utilizado apenas para aquecimento de água, não sendo possível portanto, obter redução do consumo de energia elétrica para os demais equipamentos elétricos que não seja utilização de água quente.

Dessa forma, com base nos resultados obtidos nos três modelos propostos para o condomínio de interesse social Vale da Mata, observa-se que a utilização dos sistemas de energia solar é uma alternativa viável e sustentável para corroborar com a redução dos custos financeiros dos moradores com energia, bem como redução dos gases de efeito estufa e a demanda energética das residências de baixa renda. Os modelos propostos apresentaram resultados positivos na geração de energia solar, demonstrando a viabilidade econômica e ambiental.

Nota-se, que o modelo 3 com utilização do SAS, similar ao adotado no condomínio Vale da Mata, se destaca quanto ao custo-benefício, em relação aos outros modelos analisados. Isso por apresentar o menor custo de implementação, menor payback, maior retorno financeiro ao longo da vida útil, um bom resultado quanto a redução de CO₂ e ainda possui capacidade excedente tendo uma vantagem para o caso de um aumento de demanda da utilização de água quente. Possuindo um bom resultado para a capacidade máxima de geração de energia e conseqüentemente capacidade de redução de CO₂.

Ainda neste projeto em especial, foi feita uma análise do sistema desconsiderando o “custo de disponibilidade”, que é um valor mínimo de 100Kwh/mês, ou seja, mesmo que o usuário tenha um consumo abaixo de 100kwh/mês ou até mesmo um consumo zero, terá que pagar este valor correspondente à 100 kwh/mês, que corresponde a mais de R\$ 100,00 por mês, que representa um valor de R\$ 1.200,00/ano. Isso para uma comunidade de baixa renda.

Para se ter uma idéia, o payback do SAS, sem o custo de disponibilidade cai de 10 anos e 11 meses para 5 anos e 2 meses, logo no sexto ano seria possível obter uma receita de R\$ 1.246,94 em valor futuro. E o retorno financeiro no final do ciclo de vida do sistema, aumentaria de R\$ 19.807,19 para R\$ 61.999,31, um valor bastante significativo.

Logo, pode-se constatar que se torna difícil para a população de baixa renda, adotar uma alternativa de consumo sustentável de energia, sem ajuda e incentivo governamental, quando para a população da classe média e alta, o retorno financeiro é bem mais interessante.

Destaca-se que o entendimento das COPs, é que além da preocupação com meio ambiente devido ao risco de um colapso ambiental no planeta, é necessário também ter um olhar mais humano voltado para as pessoas mais pobres, até porque esta é a classe da população que mais cresce tanto no Brasil quanto no mundo.

Sabe-se que a maior parcela de consumo de energia no Brasil e no mundo são absorvidos pelo setor industrial, em segundo pelo residencial, sendo que há ainda muitos seres humanos com pouquíssimo acesso à energia elétrica ou sem acesso algum.

O acesso à energia nas comunidades menos favorecidas, influencia diretamente na sua qualidade de vida, sendo um fator importante no qual tem consequente impacto no IDH dessa população. Portanto, considera-se preponderante, neste caso, o conceito do tripé da sustentabilidade o qual considera três aspectos fundamentais. São eles; social, ambiental e financeiro. Faltando um desses fatores não há êxito quanto a sustentabilidade.

Diante dos resultados abordados ao longo da dissertação, recomenda-se que o governo crie incentivos fiscais para fomentar o uso de energia sustentável, especialmente para a classe de baixa renda.

Além disso, é importante investir em programas de conscientização e educação ambiental para a população, afim de promover a utilização responsável de energia e reduzir os impactos ambientais.

Portanto, cita-se como recomendação para trabalhos futuros, um estudo de como o governo poderia criar programas de conscientização e educação ambiental, mas também como minimizar este “custo de disponibilidade” para população de baixa renda. Talvez uma espécie de incentivo mútuo entre as pessoas de classe alta, média e baixa da seguinte forma: uma família de classe baixa dificilmente conseguiria recursos financeiros para instalar um sistema solar, assim quando uma pessoa de classe média, alta ou até mesmo uma empresa instalar um sistema solar, conseguiria um abatimento no imposto de renda para a energia excedente, inserida na rede e esse valor excedente abateria o custo de disponibilidade para uma família de baixa renda que adotasse um SAS. Criando dessa forma, um ciclo virtuoso em que seria vantajoso para todas as classes adoção de medidas mais sustentáveis quanto à utilização de energia.

O episódio em Xerém no ano de 2013, que atingiu a comunidade do Vale da Mata, como tantos outros da mesma natureza, foi mais um alerta para a necessidade de investimentos em infraestrutura e medidas preventivas para mitigar os impactos de eventos climáticos extremos.

Este trabalho não se esgota nesta discussão, bem como não é capaz de responder a todas as questões que possam surgir desse tema, mas é possível abrir novos campos de discussões.

Portanto, este trabalho é fruto de um recorte de várias técnicas que podem ser utilizadas em conjunto afim de alcançar objetivos que beneficiem a sociedade como um todo.

Dessa forma, seria necessária a combinação de várias especialidades no ramo da eficiência energética, entre elas, o uso de energia solar, biodigestores, telhados verdes e aproveitamento de águas pluviais. Com relação à combinação

desses dois últimos temas, cita-se o trabalho Cost-benefit Analysis of Sustainable Drainage Systems (SuDS) Considering Ecosystems Services Benefits: Case of Study of Mangue River Watershed in Rio de Janeiro City, Brazil, o qual foi premiado na 2ª Conferência Latino-Americana sobre Desenvolvimento Sustentável de Sistemas de Energia, Água e Meio Ambiente - LA SDWES. Isso indica que este pode ser um tema de interesse na América Latina.

A discussão abordada na dissertação permite entender não somente redução dos custos com energia para os moradores, mas também como é possível minimizar a emissão de GEE com utilização de energia solar, esta redução se dará a médio e longo prazo.

No entanto, é interessante perceber que podemos ampliar a utilização dessas técnicas afim de alcançarmos resultados positivos mais rapidamente combinando medidas preventivas com corretivas.

Dessa forma, como mais uma sugestão para futuros trabalhos, gostaria de sugerir a combinação dessas três técnicas em residências de baixa renda; utilização de energia solar com sistema de captação de águas pluviais e utilização de telhados verdes.

Visto que estes temas serão cada vez mais necessários, considerando que os eventos climáticos se tornam cada vez mais constantes e a necessidade de reduzir a emissão dos GEE, uma corrida contra o tempo.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdou e col. (2021). Multi-objective optimization of passive energy efficiency measures for net-zero energy building in Morocco, *Build Environ*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108141>.
- ABNT. (2013). ABNT NBR 15575: desempenho de edificações residenciais, ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (2019). NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto.
- ABNT, N. 1. (29 de Junho de 2021). Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto.
- Agnelli, S. (1991). *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas.
- Aguilar, R. S. (18 de Outubro de 2012). ENERGIA RENOVÁVEL. *OS GANHOS E OS IMPACTOS SOCIAIS, AMBIENTAIS E ECONOMICOS NAS INDUSTRIAIS BRASILEIRAS*.
- Akpolat, A. N. (2019). Performance Analysis of a Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System. *electronics*. doi:<https://doi.org/10.3390/electronics8080905>
- Alola. (2023). Analysing the waste management, industrial and agriculture greenhouse gas emissions of biomass, fossil fuel, and metallic ores utilization in Iceland. *Islandia*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164115>.
- Badawy et al. (2022). Relevance of monocrystalline and thin-film technologies in implementing efficient grid-connected photovoltaic systems in historic buildings in Port Fouad city, Egypt, *Alexandria Engineering Journal*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.007>.
- Beckett, M. (2012). Biotechnology's Role in Sustainable Energy for All. Fonte: <https://www.saasta.ac.za/images/stories/Debates/Resources/Provincial%202012/biofuel%20article.pdf>
- Bertagna e col. (2023). ScienceDirect Geometry-based graphical methods for solar control in architecture: A digital framework, *Frontiers of Architectural Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.02.006>.
- Biol, F. (2007). Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? *The Energy Journal*, 6. doi:10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol28-No3-1
- Bjørnskov e Jradi. (2023). Energy & Buildings An ontology-based innovative energy modeling framework for scalable and adaptable building digital twins, *Energy Build*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113146>.
- Bosu e col. (2023). Applied single and hybrid solar energy techniques for building energy consumption and thermal comfort: A comprehensive review, *Solar Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.006>.
- BRASIL, M. D. (18 de setembro de 2021). *Portal do Governo Brasileiro*. Fonte: Ministério do Meio Ambiente: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>
- BRASIL, S. F. (18 de Setembro de 2021). *Senadonoticias* . Fonte: SENADO: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>

- BRUNDTLAND, G. *Nosso futuro comum: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente*. (1991). RJ: FGV.
- Buonomano. (2018). Solar heating and cooling systems by absorption and adsorption chillers driven by stationary and concentrating photovoltaic/thermal solar collectors: Modelling and simulation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.059>.
- Bylykbashi, B. (31 de Maio de 2023). Optimization of a photovoltaic system: a case study Kosovo. *International Journal of Innovation Science*. doi:<https://doi.org/10.1108/IJIS-01-2023-0003>
- Canal Solar, S. S. (2023). Acesso em 30 de Junho de 2023, disponível em <https://canalsolar.com.br/solergo>
- Carvalho, C. C. (27 de setembro de 2019). O acesso à energia elétrica relacionado ao IDH dos domicílios .
- CB3E, C. B. (2017). *Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões em dióxido de carbono a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações*. Santa Catarina: cb3e.ufsc.br .
- CRESESB. (2006). *ENERGIA SOLAR PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES*. RIO DE JANEIRO: CRESESB - Centro de Referência de Energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Acesso em 05 de setembro de 2022, disponível em www.cresesb.cepel.br
- Cristea et al. (2020). Economic assessment of grid-connected residential solar photovoltaic systems introduced under Romania's new regulation, *Renew Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.130>.
- Djordjević, L. (6 de março de 2023). Increasing Energy Efficiency of Buildings in Serbia—A Case of an Urban Neighborhood. *MDPI - Sustainability*. doi: <https://doi.org/10.3390/su15076300>
- EIA, U. E. (2021). *International Energy Outlook*. U.S. Energy Information Administration - EIA.
- Elnagar e Köhler. (2020). Reduction of the Energy Demand With Passive Approaches in Multifamily Nearly Zero-Energy Buildings Under Different Climate Conditions, *Front Energy Res*. doi:<https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.545272>.
- EPE. (2020). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019*. Ministério de Minas e Energia. Fonte: <http://www.epe.gov.br>
- EPE. (2022). *ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA*. EPE. Acesso em 2023, disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>
- EPE. (2022). *BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL*. DISTRITO FEDERAL: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.
- EPE. (09 de janeiro de 2023). *EPE*. (ABCDEnergia, Editor) Acesso em 09 de janeiro de 2023, disponível em Empresa de Pesquisa Energética: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>
- EPE., A. E. (2020).

- Francisco, W. d. (02 de Outubro de 2021). *brasilecola.uol.com.br/geografia/rio-10.htm*. Fonte: Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/rio-10.htm>
- Giometti, H. M. (09 de Maio de 2008). Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento limpo por meio de projetos em energia limpa. *Contexto Internacional*, 30, 9-47. doi:10.1590/S0102-85292008000100001
- HelioScope, H. (2023). Acesso em 01 de Julho de 2023, disponível em <https://software.com.br/p/helioscope>
- Heo e col. (2020). Digital elevation model-based convolutional neural network modeling for searching of high solar energy regions, *Appl Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114588>.
- Hojjatian e col. (21 de Setembro de 2021). An Overview of the Use of Solar Energy in Building Construction Projects, *Creative City Design*. Fonte: http://crcd.sinaweb.net/article_685252.html
- I. Overland. (2019). The geopolitics of renewable energy: Debunking four emerging myths, *Energy Res Soc Sci*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.018>.
- IBGE, I. B. (07 de Novembro de 2022). *www.ibge.gov.br*. Fonte: IBGE: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>
- Imai e col. (26 de 10 de 2020). Simulação computacional como ferramenta na otimização de energia solar. doi:10.1590/2175-3369.012.e20190343
- International Energy Agency . (2020). *World Energy Outlook*. International Energy Agency, IEA Publications. Acesso em 24 de 08 de 2022, disponível em www.iea.org
- IPCC, I. P. (1995). *A REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*.
- Jamil e col. (2023). Predictive evaluation of solar energy variables for a large-scale solar power plant based on triple deep learning forecast models, *Alexandria Engineering Journal*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.06.023>.
- Kaiser e col. (2019). Model-based automatic generation of digital twin models for the simulation of reconfigurable manufacturing systems for timber construction, *Procedia CIRP*. 107 (2022) 387–392. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.04.063>. doi:<https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.04.063>.
- Kässmayer, K., & Neto, H. J. (Novembro de 2016). A ENTRADA EM VIGOR DO ACORDO DE PARIS: O QUE MUDA PARA O BRASIL? *BRASILIA: Núcleo de Estudos e Pesquisa/ CONLEG / Senado, (Texto para Discussão nº 215)*. Acesso em 26 de Outubro de 2021, disponível em www.senado.leg.br/estudos
- Khare. (2023). Solar energy system concept change from trending technology: A comprehensive review, *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100183>.
- Megawhat. (14 de Junho de 2022). *Megawhat*. Fonte: Megawhat: Link da fonte: <https://megawhat.energy/noticias/megaexpresso/146718/energia-representa-231-do-preco-final-da-cesta-basica-do-brasileiro-revela-estudo-edicao-da-manha>

- Mellit e Kalogirou. (2014). MPPT-based artificial intelligence techniques for photovoltaic systems and its implementation into field programmable gate array chips: Review of current status and future perspectives, *Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.102>.
- Moreira, H. M., & Giometti, A. B. (2008). Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. doi:<https://doi.org/10.1590/S0102-85292008000100001>
- N. Azimi Fereidani, E. R. (2021). A review of the energy implications of passive building design and active measures under climate change in the Middle East, *J Clean Prod*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127152>.
- Najjar. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building, *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005>.
- Najjar. (Dezembro de 2019). Integrando Análise Paramétrica com Modelagem de Informações de Construção para Melhorar o Desempenho Energético de Projetos de Construção,. Basileia. doi:<https://doi.org/10.3390/en12081515>.
- Najjar. (2019). Otimizando o Processo de Tomada de Decisão Sustentável para Melhorar o Desempenho Energético Durante Todo o Ciclo de Vida dos Edifícios, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Najjar e col. (2019). Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design, *International Journal of Construction Management*. doi:<https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1637098>.
- Najjar et al. (2019). Framework for a Systematic Parametric Analysis to Maximize Energy Output of PV Modules Using an Experimental Design, *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su11102992>.
- Najjar, M. K. (09 de Abril de 2019). Framework for a Systematic Parametric Analysis to Maximize Energy Output of PV Modules Using an Experimental Design. *sustainability*. doi:Sustainability 2019, 11, 2992; doi:10.3390/su11102992
- Neeraj, P. G. (2023). Multi-model approach applied to meteorological data for solar radiation forecasting using data-driven approaches, *Optik (Stuttg)*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.170957>.
- Nova, A. C. (1999). Níveis de consumo energético e índices de desenvolvimento humano. *Revista Brasileira de Energia*, 63 a 70.
- ONU. (28 de dezembro de 2011). *ONU News*. Fonte: Nações Unidas: <https://news.un.org/pt/story/2011/12/1394051-2012-sera-o-ano-internacional-de-energia-sustentavel-para-todos>
- ONU. (2015). *Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas*. ONU. Fonte: <https://unfccc.int/documents/9064>
- Othman e Hatem. (2022). Assessment of PV technologies outdoor performance and commercial software estimation in hot and dry climates, *J Clean Prod*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130819>.

- Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *ELSEVIER - SCIENCE DIRECT*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.067>
- Ozcan et al. (2019). A comprehensive evaluation of PV electricity production methods and life cycle energy-cost assessment of a particular system, *J Clean Prod*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117883>.
- PBE, P. B. (2020). *pbeedifica.com.br*. Fonte: *pbeedifica*: <http://www.pbeedifica.com.br/fatoresconvers%C3%A3oINIs>
- Pérez et al. (2022). Influence of the urban context on solar protection of the vertical envelope and the cooling energy demand of buildings in Cuba, *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107224>.
- Pimenta, M. F., & Nardelli, A. M. (2015). Desenvolvimento sustentável: os avanços na discussão sobre os temas ambientais lançados pela conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável, Rio+20 e os desafios para os próximos 20 anos. *PESPECTIVA*, 1257. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-795X.2015v33n3p1257>
- Pott, C. M., & Estrela, C. C. (janeiro-abril de 2017). Histórico ambiental. *Desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. Estudos avançados*, 31, pp. 271-283. Acesso em 07 de setembro de 2021, disponível em <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>
- PVSYST, P. P. (2023). Acesso em 28 de Junho de 2023, disponível em <https://www.pvsyst.com>
- REN21. (2019). *Renewables 2019 – global status report*. Fonte: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- Richard, P. A. (2021). *Climate Change 2021 The Physical Science Basis*. IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the . WGI. Acesso em 30 de OUTUBRO de 2021, disponível em https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report_smaller.pdf
- SCO-RIO. (2022). Sistema de Custos para as Obras e Serviços de Engenharia. Fonte: <http://www2.rio.rj.gov.br/sco/>
- Sha et al. (2019). Overview of computational intelligence for building energy system design, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.018>.
- Siluk, A. R. (25 de Agosto de 2017). Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos aplicados à edificação. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Fonte: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/14260>
- SINAP. (2022). Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Fonte: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>
- SMA, S. D. (2023). Acesso em 02 de Julho de 2023, disponível em <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb>

- Sobrinho, C. A. (2008). *Desenvolvimento sustentável: uma análise a partir do Relatório Brundtland*. Marília: Dissertação (Mestrado da Faculdade de Filosofia e Ciências) - Universidade Estadual Paulista.
- SOUSA, R. (junho de 2023). *Energia Solar*. Fonte: BRASIL ESCOLA: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>
- STEINBERGER, J. K. (2016). *hdr.undp.org/content/energising-human-development*. Fonte: United Nations Development Programme: <https://hdr.undp.org/content/energising-human-development>
- Sun e col. (2020). A review of building occupancy measurement systems, *Energy Build*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109965>.
- Tariq e col. (2022). Digital twin models for optimization and global projection of building-integrated solar chimney, *Build Environ*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108807>.
- TOLMASQUIM, M. T. (2016). *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*.
- TRNSYS, T. S. (2023). Acesso em 30 de Junho de 2023, disponível em <http://www.trnsys.com>
- Valentin Software, P. P. (2023). Acesso em 20 de maio de 2023, disponível em <https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium>
- Vezzoli, C. F. (2018). *Designing Sustainable Energy for All - Sustainable Product-Service System Design Applied to Distributed Renewable Energy*. Springer.
- W. Ahmed, M. S. (2023). Short- and Long-Run Determinants of the Price Behavior of Us Clean Energy Stocks: A Dynamic Ardl Simulations Approach, *SSRN Electronic Journal*. doi:<https://doi.org/10.2139/ssrn.4340560>.
- Wang e Col. (2020). Collaborative optimization between passive design measures and active heating systems for building heating in Qinghai-Tibet plateau of China, *Renew Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.031>.
- Wang e Gao. (2012). A novel knowledge database construction method for operation guidance expert system based on HAZOP analysis and accident analysis, *J Loss Prev Process Ind*. doi:<https://doi.org/10.1016/J.JLP.2012.05.001>.
- Wang e Srinivasan. (2017). A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.079>.
- Xu e col. (2022). A novel framework of knowledge transfer system for construction projects based on knowledge graph and transfer learning, *Expert Syst Appl*. doi:<https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2022.116964>.
- Y. Li, C. Y. (2023). Do uncertainties affect clean energy markets? Comparisons from a multi-frequency and multi-quantile framework, *Energy Econ*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106679>.
- Zheng. (2023). Unleashing the influencing factors of solar energy adoption to combat climate change: A roadmap toward sustainable energy technologies, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103303>.

Zheng e col. (2023). Intelligent technologies for construction machinery using data-driven methods, Autom Constr. doi:<https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104711>.

13. APÊNDICE I

Carta de solicitação da conta de energia entregue aos moradores que forneceram



Politécnica
UFRJ



UFRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

sua conta de energia elétrica para colaborar com este trabalho.

COOPERAÇÃO PARA PESQUISA DE MESTRADO

1.1. Prezado Morador (a),

Eu, Roberto Nonato de Arruda, aluno de Mestrado do Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ, venho solicitar cópia de 1 (uma) conta de energia para utilizar no meu trabalho final. O objetivo desta coleta de dados é saber o valor médio mensal de consumo de energia numa residência construída no Programa de Habitação de Interesse Social.

O objetivo da minha pesquisa é analisar a viabilidade de utilização de energia solar fotovoltaica e térmica.

As informações serão confidenciais. Me comprometo a não divulgar os dados pessoais.

Contando com a sua colaboração e autorização, fico à disposição para qualquer esclarecimento.

Em anexo segue meu comprovante de matrícula na UFRJ.