



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ESDRAS MIRANDA DE ARAÚJO

**COMUNIDADES DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIOS: ESTUDO DE CASO PARA
O ALPHAVILLE CEARÁ - RESIDENCIAL 1 E 2**

FORTALEZA

2023

ESDRAS MIRANDA DE ARAÚJO

COMUNIDADES DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIOS: ESTUDO DE CASO PARA O
ALPHAVILLE CEARÁ - RESIDENCIAL 1 E 2

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Energias Renováveis e Sistemas Elétricos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A688c Araújo, Esdras Miranda de.
Comunidades de Energia para Condomínios: Estudo de Caso para o Alphaville Ceará - Residencial 1 e 2 / Esdras Miranda de Araújo. – 2023.
92 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Comunidade de Energia. 2. Redes Inteligentes. 3. Prossumidores. 4. Usina Virtual de Energia. 5. Viabilidade Financeira. I. Título.

CDD 621.3

ESDRAS MIRANDA DE ARAÚJO

COMUNIDADES DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIOS: ESTUDO DE CASO PARA O
ALPHAVILLE CEARÁ - RESIDENCIAL 1 E 2

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Energias Renováveis e Sistemas Elétricos.

Aprovado em 25/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Silva Thé Pontes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Ruth Pastôra Saraiva Leão
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Antonio Tavares Lira
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

A Deus.

Aos meus pais, Hosana e Erenildo (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter permitido que eu nascesse num lar de obediência, exemplo e temor à palavra. Sempre me deu saúde, coragem e resiliência para lutar pelos meus objetivos.

Aos meus pais, Hosana e Erenildo (*in memoriam*), por terem me guiado pelo caminho de retidão e amor. Por terem dedicado todo tempo de suas vidas para dar o melhor possível a mim e aos meus irmãos.

Obrigado a minha querida Germanna, Davi e Dante, pelo amor, carinho, dedicação e paciência. Esse trabalho também é de vocês.

Aos meus irmãos, Alessandra, Erenildo e Alessania, que reafirmam a cada dia a importância de uma família sólida e unida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Carvalho, pelo exemplo, paciência, disponibilidade, importantes contribuições e por acreditar e ajudar a desenvolver esta dissertação.

Aos demais membros da banca examinadora, Prof. Dr. Ricardo Thé, Profa. Dra. Ruth Leão e Prof. Dr. Marcos Lira, pela contribuição crítica visando tornar meu trabalho ainda melhor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, pelo privilégio de poder usufruir de toda a estrutura disponível e corpo docente qualificado, para o desenvolvimento do estudo científico.

À Profa. Dra. Olga de Castro Vilela do PROTEN-UFPE, pelo apoio nos primeiros passos dessa jornada.

Ao meu amigo Antônio Nelson, que me incentivou e me apresentou o solar fotovoltaico.

Ao meu amigo Geraldo Ricarte, pelos ensinamentos como gestor, respeito ao outro e a nobre capacidade de perdoar ao próximo, acreditando que podem melhorar.

À minha amiga Clerislânia, que sempre me incentivou a seguir em frente no mestrado e me ajudou nos diversos resumos e textos iniciais.

Aos amigos da UFC, Leonarda Cajuaz e Breno Freitas, pelas importantes dicas e apoio durante o curso.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse ao final dessa jornada de obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Sou um pouco de todos que conheci, um pouco dos lugares que fui,
um pouco das saudades que deixei e sou muito das coisas que gostei.
(ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY)

Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou
teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da
minha justiça. (ISAIAS 41:10)

RESUMO

O estabelecimento da Geração Distribuída (GD) no Brasil tem contribuído de forma positiva para se investir em geração de eletricidade, utilizando fontes renováveis de energia. Como consequência, é necessária uma regulação que acompanhe as tendências tecnológicas e legais, visando uma segurança jurídica e maiores flexibilidades nos sistemas de distribuição de energia elétrica e comerciais intrínsecas ao mercado de energia limpa. Os investimentos em sistemas Fotovoltaicos (FV) lideram a opção de investir em energias renováveis pela fácil adaptação às construções, baixo nível de manutenção, linhas de financiamentos e retornos financeiros atrativos com o sistema de compensação. Sob essa perspectiva, surgem as Comunidades de Energia (CE), formadas pela associação de cidadãos, entidades e empresas que decidem, juntas, construir estruturas para produzir e compartilhar energia renovável, com vantagens para o meio ambiente e benefícios econômicos e sociais. A organização de prossumidores em CE, inseridos em Redes Inteligentes (RI) e gerenciados por uma Usina Virtual de Energia (*Virtual Power Plant* - VPP), é uma alternativa para a integração de soluções em GD. Nesse contexto, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia e estudo de caso de uma CE para o condomínio Alphaville Ceará – Residencial 1 e 2, composto por 1.002 lotes residenciais. O estudo parte da padronização de uma Unidade Familiar (UF) com um consumo médio mensal de 1.158 kWh. Através da ferramenta PVSYST é dimensionada uma planta FV de 9,31 kWp, com investimento estimado de R\$ 40.000,00. A planta FV é composta de 14 módulos FV e geração média mensal de eletricidade de 1.198 kWh/mês, com saldo positivo por UF de 40 kWh/mês. Com os dados de geração da UF, é realizada a extrapolação para diferentes níveis de adesão à CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %), resultando no consumo mensal de 290 MWh, 580 MWh, 870 MWh e 1.160 MWh, respectivamente, e potências instaladas de 2.332 kWp, 4.664 kWp, 6.996 kWp e 9.329 kWp, respectivamente. Os resultados obtidos para os 4 níveis de participação à CE ratificam o potencial de relevância que uma CE obtém de acordo com o crescimento do número de participantes em relação à capacidade de geração, potência instalada e saldo de energia. Todas as análises são referenciadas pela lei nº 14.300, que institui o marco legal da micro e minigeração distribuída. Os resultados obtidos das análises financeiras para todos os níveis de adesão à CE apresentam um VPL positivo, *payback* de 3,12 anos e uma TIR de 34 % > TMA adotada de 13,75 %, indicando que o projeto é mais rentável que o custo de oportunidade do mercado financeiro.

Palavras-chave: comunidade de energia; redes inteligentes; prosumidores; usina virtual de energia; viabilidade financeira.

ABSTRACT

The establishment of Distributed Generation (GD) in Brazil has contributed positively to investments in electricity generation using renewable energy sources. As a result, a regulation is needed to keep pace with technological and legal trends, aiming at legal certainty and greater flexibilities in electricity distribution and commercial systems intrinsic to the clean energy market. Investments in Photovoltaic (PV) systems lead the option of investing in renewable energies due to the easy adaptation to constructions, low level of maintenance, financing lines and attractive financial returns with the compensation system. Under this perspective, Energy Communities (CE) emerge, formed by the association of citizens, organizations, and companies that decide, together, to build structures to produce and share renewable energy, with advantages for the environment and economic and social benefits. Prosumers organization in CE, inserted in Intelligent Grids (IR) and managed by a Virtual Power Plant (VPP), It is an alternative for integrating solutions in GD. In this context, the present dissertation aims to analyze the case study of a CE for the condominium Alphaville Ceará – Residential 1 and 2, composed of 1,002 residential lots. The study starts from the standardization of a Family Unit (UF) with an average monthly consumption of 1,158 kWh; using PVSYST, a PV plant of 9.31 kWp is dimensioned, with an estimated investment of R\$ 40,000.00. The PV plant is composed of 14 PV modules and average monthly electricity generation of 1,198 kWh/month, with a positive balance per UF of 40 kWh/month. With the UF generation data, extrapolation is performed for different levels of CE adherence (25 %, 50 %, 75 % and 100 %) resulting in monthly consumption of 290 MWh, 580 MWh, 870 MWh and 1,160 MWh, respectively, and installed powers of 2,332 kWp, 4,664 kWp, 6,996 kWp and 9,329 kWp, respectively. The results obtained for the 4 levels of CE participation ratify the potential relevance that an CE obtains according to the growth in the number of participants in relation to generation capacity, installed power and energy balance. All analyzes are referenced in Law No. 14,300, which establishes the legal framework for distributed micro and mini-generation. The results obtained from the financial analyzes for all levels of CE membership show a positive NPV, payback of 3.12 years and an IRR of 34 % > adopted TMA of 13.75 %, indicating that the project is more profitable than cost financial market opportunity.

Keywords: energy community; smart grids; prosumers; virtual power plant; financial viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da potência instalada nacional.....	25
Figura 2 – Diagrama elétrico unifilar de um sistema FV com inversor típico em GD.	31
Figura 3 – Evolução de um consumidor passivo para uma CE alicerçada em VPP.....	32
Figura 4 – Documentos publicados no período de 2013 a 2022	41
Figura 5 – Rede de colaboração do país para frequência ≥ 21 . O tamanho do círculo corresponde ao nº de artigos.	43
Figura 6 – Rede de colaboração das 08 fontes que mais publicaram sobre CE.	46
Figura 7 – Rede de colaboração dos 12 autores mais produtivos sobre CE.	47
Figura 8 – Localização do Condomínio estudado no Google Earth.....	49
Figura 9 – Disposição dos 1.002 lotes que compõem o condomínio estudado.....	50
Figura 10 – Desenho da casa padrão	51
Figura 11 – Localização da Instalação pelo Google Earth	52
Figura 12 – Ponto de Injeção da energia no QGD.....	53
Figura 13 – Pontos de Conexão e Medidor	54
Figura 14 – Determinação do tipo do projeto.....	55
Figura 15 – Seleção do site no banco de dados do PVSYST	55
Figura 16 – Determinação do site no banco de dados do PVSYST	56
Figura 17 – Dados meteorológicos do site Eusébio	56
Figura 18 – Determinação da planta FV no PVSYST.....	58
Figura 19 – Arranjo dos módulos FV instalados na UF	60
Figura 20 – Diagrama unifilar do SFV 9,31 kWp da UF	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração de Eletricidade Calculada.....	58
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 10 países com maiores colaborações em CE.....	42
Tabela 2 – As 26 instituições mais produtivas sobre CE.....	44
Tabela 3 – As 10 fontes mais produtivas sobre CE.....	45
Tabela 4 – Os 10 atores mais produtivos sobre CE.....	48
Tabela 5 – Unidades de Consumo da Casa Padrão	51
Tabela 6 – Características técnicas do módulo FV adotado.....	59
Tabela 7 – Características técnicas do inversor adotado	59
Tabela 8 – Resultados obtidos para uma UF.....	62
Tabela 9 – Resultados para diferentes cenários de Adesão a CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %)	63
Tabela 10 – Cobrança gradual do Fio B	64
Tabela 11 – Critérios de análise de atratividade do projeto	64
Tabela 12 – Configuração do fluxo de caixa do projeto.....	65
Tabela 13 – Tarifas e Geração de eletricidade para a UF.....	66
Tabela 14 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado para a UF	67
Tabela 15 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 25 % ..	68
Tabela 16 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 50 % ..	68
Tabela 17 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 75 % ..	69
Tabela 18 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 100 %	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3Ds	Descarbonização, Digitalização e Descentralização
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALC	América Latina e Caribe
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAPV	<i>Building Attached Photovoltaic</i>
BAT	Baterias
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaic</i>
BV	Bem Viver
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEC	Comunidades de Energia Cidadã
CER	Comunidades de Energia Renovável
CE	Comunidade de Energia
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
COPOM	Comitê de Política Monetária
DPS	Dispositivos de proteção contra surtos elétricos
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fontes de Energia Renovável
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases do Efeito Estufa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JRC	<i>Joint Research Center</i>
LCOE	Custo Nivelado da Energia (<i>Levelized Cost of Energy</i>)
MR	Micro Rede
MPS	Medidas de proteção contra surtos elétricos
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas

PB	Paraíba
PDA	Proteção contra Descargas Atmosféricas
PERS	Programa de Energia Renovável Social
PNIEC	Plano Nacional Integrado de Energia e Clima
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PVSYST	Software de Dimensionamentos de Plantas Fotovoltaicas
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGD	Quadro Geral de Distribuição
REN	Resolução Normativa
RI	Redes Inteligentes
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SFA	Sistema Fotovoltaico Autônomo
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SGE	Sistema de Gerenciamento de Energia
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
SPMP	Seguidor do Ponto de Máxima Potência
TC	Número Total de Citações
TI	Tecnologia da Informação
TP	Número Total de Publicações
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
UE	União Europeia
VE	Veículos Elétricos
VPP	Usina Virtual de Energia (<i>Virtual Power Plant</i>)
WWF	Fundo Mundial da Natureza (<i>World Wildlife Fund</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

-	Menos
%	Porcentagem
+	Mais
\geq	Maior ou Igual
°	Grau
h	Hora
kV	Quilo Volt
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/ano	Quilowatt-hora por ano
kWh/mês	Quilowatt-hora por mês
kWp	Quilowatt-pico
m ²	Metro-quadrado
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
°C	Graus Celsius
R\$	Real
V	Volt
W	Watt
Wp	Watt-pico
CO ₂	Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Motivação	20
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	21
1.3	Estrutura da Dissertação	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Evolução da GD no Brasil e sua Regulação	22
2.2	Micro e Minigeração Distribuída	23
2.3	Sistema de Compensação adotado no Brasil	23
2.4	Ponto de Conexão de uma GFVCR	24
2.5	Princípio dos Geradores Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (GFVCR)	25
2.6	Formas de Instalação dos Módulos FV	26
2.7	Componentes de um SFV	26
2.8	Tipos de Inversores	27
2.9	Normas Técnicas e Funções de Proteção do Inversor	28
2.10	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)	29
2.11	O projeto de um SFV	30
2.12	Interrelação entre GD, Microrrede, VPP e CE	31
3	ESTADO DA ARTE DE COMUNIDADES DE ENERGIA	33
3.1	Introdução	33
3.2	Experiências de Comunidades de Energia	37
3.3	Análise Bibliométrica sobre CE	40
3.4	Desempenho dos países/regiões	42
3.5	Análise de rede de colaboração	43
3.6	Autores de alta produtividade e análise de colaboração	46
4	METODOLOGIA	49
4.1	Estudo de Caso	49
4.2	Premissas para dimensionamento de um sistema FV de uma casa padrão ...	50
4.3	Casa padrão	50
4.4	Local da Instalação da Usina FV	52

4.5	Ponto de Injeção da Eletricidade Gerada	52
4.6	Aterramento.....	53
4.7	Ponto de Conexão e Medição	54
4.8	Elaboração do projeto da planta FV	57
4.9	Características Técnicas dos Módulos FV e Micro Inversores	59
4.10	Composição da planta FV	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
5.1	Análise da Viabilidade Financeira de uma CE para o condomínio	63
5.2	Premissas para a Análise da Viabilidade Financeira da CE.....	65
6	CONCLUSÕES	72
	ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O MESTRADO	73
	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	74
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXO A – ESTIMATIVA DE CONSUMO MÉDIO MENSAL DE ELETRODOMÉSTICOS DE ACORDO COM UM USO HIPOTÉTICO ...	81
	ANEXO B – DATASHEET DO MÓDULO FV	83
	ANEXO C – DATASHEET DO MICROINVERSOR	85
	APÊNDICE A – SIMULAÇÃO NO PVSYSY.....	87

1 INTRODUÇÃO

A preocupação global com a sustentabilidade social, ambiental e econômica do planeta, desperta a necessidade de desenvolvimento de sistemas inteligentes e novas formas de organização, visando a superação dos desafios para uma transição energética livre de carbono; e uma das possibilidades de organização é em comunidades de energia (CE). A CE envolve grupos de cidadãos, empreendedores sociais, autoridades públicas e organizações comunitárias que participam diretamente na transição energética, investindo, produzindo, vendendo e distribuindo eletricidade a partir de energia renovável (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2018).

A expansão do mercado das energias renováveis, em especial o fotovoltaico (FV), tem contribuído para a democratização do recurso solar. Através dos sistemas FV, facilmente adaptados e instalados nas residências, comércio e indústrias, é possível contribuir com a diversificação da matriz de geração e ter ganhos financeiros trazidos desde a Resolução nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu mecanismos de compensação. No Brasil, com a oficialização da geração distribuída (GD), foi possível que o consumidor final, que era um simples agente passivo da relação comercial, pudesse passar ao posto de prossumidor, gerando a sua própria eletricidade, com a possibilidade de que todo o excesso gerado pudesse ser utilizado em até 60 meses. O custo do kWp instalado vem caindo ao longo da última década, o que tem impulsionado o número de sistemas FV no Brasil. Conforme relatado pela consultoria Greener, no estudo estratégico de geração distribuída, os custos dos módulos FV no Brasil caíram 20 % em janeiro de 2023, comparado ao mesmo mês do ano anterior: de R\$ 1,79/Wp em janeiro de 2022 para R\$ 1,43/Wp em 2023 (GREENER, 2023a).

As CE contribuem significativamente para a prática do Ambiental, Social e Governança (ESG). Estudos recentes destacam o potencial das CE para promover a sustentabilidade ambiental, ao mesmo tempo em que geram benefícios econômicos e sociais. Como em documento preparado para a UE que ratifica a importância da CE no processo de transição energética da Alemanha (GEELS, 2020). No aspecto social, as comunidades de energia têm um importante papel na promoção da justiça energética e na redução das desigualdades socioambientais, dado que permitem aos seus membros a participação ativa na produção e consumo de energia, melhorando a qualidade de vida local (JENKINS; SOVACOOOL; MCCAULEY, 2018). Em relação à governança, as comunidades de energia são norteadas em princípios de participação, transparência e cooperação. A tomada de decisões é

feita de forma coletiva, envolvendo todos os membros da comunidade, o que fortalece a democracia local e favorece a gestão compartilhada dos recursos energéticos (VAN VEELLEN, 2018).

A GD é prova de que a regulação está passando por adaptações necessárias para a crescente demanda de energia e, nesse contexto, os processos de descentralização, descarbonização e digitalização da matriz energética servem de pilares para o futuro da relação de oferta e demanda de energia, bem como toda transformação da cadeia de comercialização desse insumo essencial e estratégico à vida.

As redes inteligentes (RI) utilizam todo aparato tecnológico da atualidade para promover a transformação das redes de distribuição e controle de energia. A CE pode atuar de várias formas, promovendo a democratização do acesso à energia, proporcionando ganhos financeiros a investidores, gerando impacto social com oportunidades de emprego e renda e conscientizando que os recursos são limitados, e por isso devem ser preservados, sendo um vetor de sustentabilidade ambiental. No processo de modernização da operação de uma CE, surge o conceito de Usina Virtual de Energia (*Virtual Power Plant - VPP*), em que a comunidade passa a atuar através de um *software* de forma plena em todas as etapas, desde a geração, a demanda e até venda de energia. Partindo do exposto, a presente dissertação tem como objetivo o estudo de caso de CE para o condomínio do Alphaville Ceará - Residencial 1 e 2, visando avaliar a atratividade financeira do projeto. Esse estudo é relevante, uma vez que as pesquisas referentes a CE no Brasil são recentes e, aliado a isso, a inexistência de uma regulamentação específica para o tema. Enfatiza-se os benefícios financeiros ao condomínio ao se estruturar como um CE, além da necessária transição de energia para uma matriz limpa utilizando a geração FV, ratificando a proposta de sustentabilidade do Condomínio.

1.1 Motivação

Com a motivação dos benefícios financeiros, sociais e ambientais que o mercado de energia pode oferecer aos consumidores ao se modernizar, a GD permite a materialização das possíveis oportunidades, e a estruturação em CE pode ser uma alternativa para condomínios residências.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de uma metodologia e estudo de caso de uma CE para condomínios com avaliação da atratividade financeira, utilizando a geração FV.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

Como objetivos específicos dessa dissertação:

- estudar o caso de uma CE para o condomínio do Alphaville Ceará - Residencial 1 e 2;
- analisar os cenários de participação na CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %), visando avaliar a atratividade financeira conforme adesão progressiva ao projeto;
- analisar a viabilidade técnica e financeira de uma CE para o Condomínio estudado.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em seis seções:

Na seção 1 são apresentadas a introdução, motivação ao tema, objetivos gerais e específicos e a estruturação da dissertação.

Na seção 2 é apresentada a fundamentação teórica, enfatizando temas relacionados à regulação do mercado de energia no Brasil, à micro e mini GD, ao sistema de compensação de energia.

Na seção 3 é apresentado o estado da arte sobre a transição energética livre de carbono, a digitalização da matriz energética, a organização das CE em diversas modalidades no Brasil e noutros países. Também é apresentada uma análise bibliométrica sobre CE e sua evolução a nível global, as redes de colaborações, e autores que se destacam no tema.

Na seção 4 é apresentada a metodologia adotada, propondo o estudo de caso de uma CE para o condomínio do Alphaville Ceará - Residencial 1 e 2, partindo da idealização de uma casa padrão, que servirá de base para todos os cálculos e estimativas da extrapolação para as 1.002 casas previstas da CE.

Na seção 5 são apresentados os resultados obtidos para o estudo de caso para diferentes cenários de adesão à CE para o Condomínio.

A seção 6 contém as conclusões da CE para condomínios, em especial ao Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2.

Em seguida, apresentam-se os artigos publicados em revistas científicas durante a trajetória do mestrado, sugestões de trabalhos futuros, as referências bibliográficas, anexos e o apêndice A.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção tem como objetivo oferecer uma base de informação teórica com o intuito de facilitar a compreensão das subseções abordadas neste trabalho. A seção está dividida de modo a abordar um breve histórico da GD no Brasil, a partir de 2012, as Tecnologias e Exigências Técnicas de geração FV em GD, e uma breve introdução sobre A Digitalização da Matriz Energética.

2.1 Evolução da GD no Brasil e sua regulação

O início da GD no Brasil surge com a Resolução Normativa Aneel nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica. Em 2015, a Resolução Aneel nº 482 foi submetida a revisões que deram origem à Resolução Aneel nº 687, de 24 de novembro de 2015, que alterou a Resolução ANEEL nº 482, destaca-se as mudanças dos limites de potência para a MMGD, aumento do prazo para a compensação de energia de 36 para 60 meses, e alteração dos módulos 1 e 3 dos procedimentos de distribuição (PRODIST).

Com as normativas destinadas à GD, outras resoluções da Aneel tiveram que sofrer revisões para abranger as necessidades e características impostas pela GD, tal como ocorreu com a Resolução Normativa Aneel nº 724, de 31 de maio de 2016, que aprovou as revisões dos módulos 3 e 5 do PRODIST, e alterou as Resoluções Normativas Aneel nº 395/2009, nº 414/2010 e nº 506/2012. Na sequência, sofre alteração a Resolução Normativa Aneel nº 414, de 9 de setembro de 2010, a qual foi revisada em 2017, estabelecendo as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. No mesmo ano de 2017, a Resolução Normativa Aneel nº 506, de 4 de setembro de 2012, foi revisada e estabeleceu as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade da distribuidora.

Após a regulamentação da GD e das adequações nos procedimentos de rede realizados pela ANEEL, as concessionárias foram obrigadas a emitir seus padrões e procedimentos em consonância com as determinações para a GD (MOREIRA *et al.*, 2021). Em 1º de janeiro de 2022 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021, normatizou os procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema nacional e revogou as resoluções precedentes sobre a matéria (ANEEL, 2022b).

Em 06 de janeiro de 2022 foi publicada a Lei nº 14.300, que institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS) (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2022).

2.2 Micro e Minigeração Distribuída

O que determina se um sistema fotovoltaico (SFV) é de micro ou minigeração distribuída é a potência nominal do Gerador Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (GFVCR). A microgeração distribuída é definida para um GFVCR com potência nominal de até 75 kW, na qual se enquadram os consumidores residenciais, pequenas indústrias e comércios. A minigeração distribuída é definida para um GFVCR com potência nominal maior que 75 kW e menor ou igual a 3 MW, em situações particulares podem chegar até 5 MW, nos liames que tratam os incisos IX e XIII e do Parágrafo Único do art. 1º da Lei nº 14.300/2022. Ambas são conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras nas quais se enquadram os consumidores industriais e comerciais de grande porte (ANEEL, 2022a).

2.3 Sistema de Compensação adotado no Brasil

O SCEE define para a GD que a energia ativa gerada em excesso no mês é enviada para a rede da distribuidora local, e convertida em créditos que podem ser utilizados em até 60 meses ou ser utilizados para abater o consumo de outras unidades da área de atendimento da mesma distribuidora. Esse mecanismo de créditos que podem ser utilizados posteriormente só é permitido para as modalidades de micro e minigeração distribuída. As modalidades de participação no SCEE são classificadas como (ANEEL, 2022a):

- autoconsumo local – caracteriza-se quando a energia é gerada e compensada no mesmo local onde está instalada a Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD);
- autoconsumo remoto – caracteriza-se quando a energia é gerada em um endereço e compensada noutro, condicionado que as unidades sejam de uma única titularidade e estejam dentro da mesma área de concessão ou permissão da distribuidora;
- GD em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras – caracteriza-se da energia gerada poder ser dividida entre os condôminos em percentual ou ordem de prioridade preestabelecidos pelos próprios consumidores;

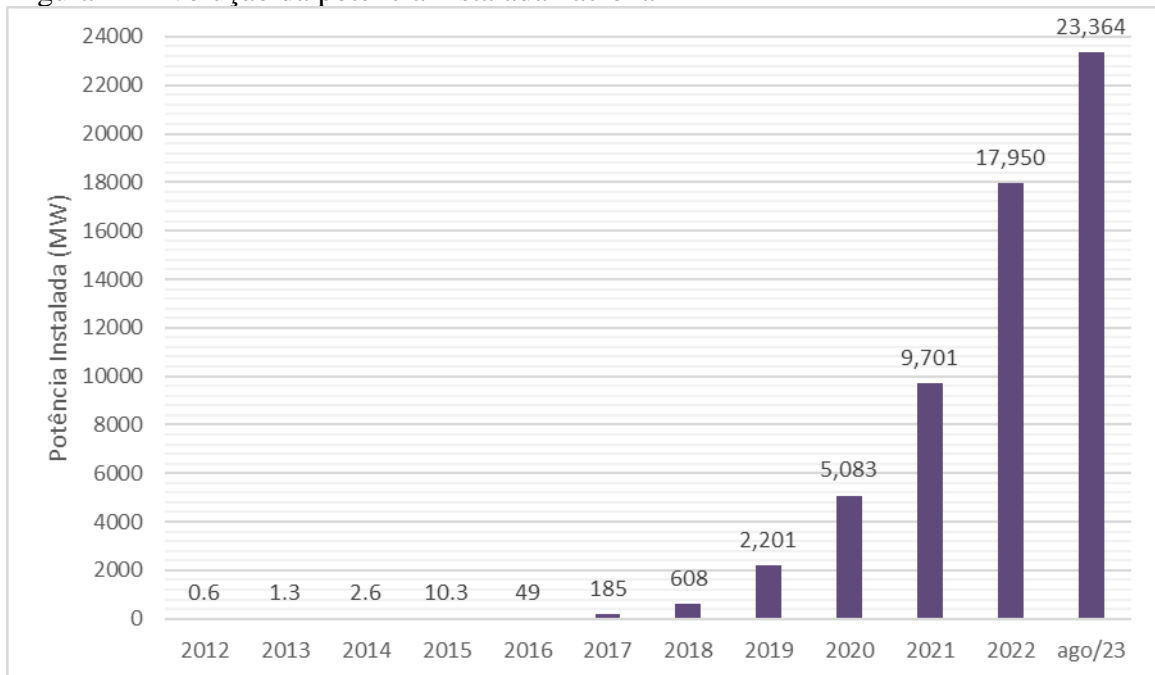
- geração compartilhada – vários consumidores que se unem por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, concebida com o objetivo de instalar uma ou mais centrais de MMGD e utilizar a energia gerada para compensação do consumo de todos os participantes.

2.4 Ponto de Conexão de uma GFVCR

O ponto de conexão do GFVCR, de acordo com o módulo 03 do PRODIST, deve ser em local mais próximo possível da entrada de energia elétrica do consumidor (ANEEL, 2022b). Em relação ao nível de tensão fornecido ao cliente em função de sua potência instalada, é definido que para uma potência instalada de até 75kW, a unidade deverá ser atendida em baixa tensão até 1.000 V em corrente alternada, e para cliente com potência instalada maior que 75 kW, deverá ser atendido em média tensão compreendida entre 2,3 e 69 kV, salvo algumas exceções ou em alta tensão com padrão acima de 88kV a depender do nível de demanda do cliente (MOREIRA *et al.*, 2021).

A legislação que norteia a GD no Brasil tem evoluído na última década e motivado o consumidor a investir em GD, com destaque para o ano de 2022, que incluiu ao sistema 46,4 % do total da potência adicionada desde de 2012, como na Figura 1, isto devido à diminuição dos preços de SFV e principalmente pela corrida para não perder o guarda-chuva do direito adquirido referentes às regras impostas pela Lei nº 14.300, que dava a prerrogativa das regras mais favoráveis na compensação para os projetos que foram solicitados orçamento de conexão após 7 de janeiro de 2023 (GREENER, 2023b).

Figura 1 – Evolução da potência instalada nacional



Fonte: Adaptado do Infográfico ABSOLAR 2023.

2.5 Princípio dos Geradores Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (GFVCR)

Os sistemas FV classificam-se quanto a sua topologia e configuração, e fator determinante é a condição do ponto de conexão do gerador à rede, quantidade de fontes geradoras e o grau de integração do sistema. Referente à condição de conexão pode ser do tipo sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), conhecido também por mais duas denominações *grid-tie* ou *on-grid*, ou ser do tipo sistema fotovoltaico autônomo (SFA), também conhecido como isolado ou *stand-alone*.

De acordo com a NBR 11704:2008, o termo conectado à rede significa que o sistema FV deve ser ligado à rede pública de fornecimento de eletricidade. Para os SFCR em concordância com a regulamentação adotada no Brasil, em 2012, usufruindo das prerrogativas da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, foi estabelecido o SCEE, em que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, e será cobrado ao consumidor apenas a parcela equivalente à diferença entre a energia elétrica consumida e a gerada, não sendo necessário banco de baterias acumuladoras. O SFA necessita de banco de baterias por não estar conectado à rede; na ausência da fonte solar, o usuário usa a reserva de energia acumulada. Normalmente os SFA são destinados às localidades remotas com ausência da rede de distribuição elétrica da concessionária (MOREIRA *et al.*, 2021).

2.6 Formas de Instalação dos Módulos FV

Quanto à topologia da instalação, os módulos FV podem ser integrados ao projeto arquitetônico denominado de *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV) ou do tipo adaptado à edificação, conhecido como *Building Attached Photovoltaic* (BAPV). O BIPV tem a característica de compor a arquitetura da edificação substituindo elementos construtivos, como por exemplo, telhados e fachadas com a função de gerar eletricidade.

Os SFV podem ser instalados em solo, sobre os telhados das edificações, em embarcações, como também em estruturas flutuantes em reservatórios de água. Existem também os sistemas flutuantes ou usinas FV flutuantes, que surgiram no Japão em 2007 com uma usina de 20 kWp na província de Aichi. Em 2008, na Califórnia nos Estados Unidos da América (EUA), com a implantação de uma usina FV flutuante para melhorar a eficiência energética de uma vinícola. No Brasil a primeira usina flutuante foi instalada em um lago artificial em Cristalina (GO), com potência nominal de 304 kWp e composto por 1.150 módulos FV. Em 05 de agosto de 2019, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) inaugurou a primeira etapa da usina FV flutuante no reservatório do lago de Sobradinho, Bahia. A primeira etapa do projeto teve uma potência instalada de 1 MWp, com 3.792 módulos solares ocupando uma área total de 11 mil m². Após a conclusão da segunda etapa, a capacidade instalada será de 2,5 MWp (SISTEMA CHESF, 2019). Em agosto de 2022, teve início as primeiras atividades do projeto de implantação da usina FV flutuante no reservatório da Usina Hidrelétrica de Boa Esperança, no Piauí. A usina FV flutuante de Boa Esperança é um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento coordenado por pesquisadores da Universidade Federal do Piauí e da Universidade Federal do Ceará, com potência instalada de 1,5 MW, composta por 4.000 módulos fotovoltaicos aproximadamente (LIRA, 2022).

Em busca de melhorar a eficiência dos sistemas SFV, utiliza-se os sistemas de rastreamento do Sol ou seguidor solar (*tracking*), que são compostos de sistemas de servomecanismo para que proporcione um movimento preciso para o rastreamento solar, visando a obtenção da máxima irradiância na superfície dos módulos FV (MOREIRA *et al.*, 2021).

2.7 Componentes de um SFV

1. Subsistema FV, composto pelos módulos, que podem ser dispostos em série ou em paralelo;

2. subsistema condicionador de potência, que é composto pelo Inversor do tipo conectado à rede, que geralmente possui integrado as funções de seguidor do ponto de máxima potência (SPMP) e funções de supervisão dos padrões pré-estabelecidos em norma para garantir a qualidade de energia elétrica;
3. subsistema de conexão à rede, composto pelo ponto de conexão com o sistema de distribuição da concessionária local, onde se instala um dispositivo de proteção na saída do SFV;
4. subsistema de armazenamento de energia, utilizado em sistemas FV isolados ou híbridos, que é composto pelo banco de baterias, controlador de carga e proteções;
5. infraestrutura elétrica: composto pela composição de todos os elementos das instalações elétricas, incluindo os circuitos das interfaces de corrente contínua (CC) e alternada (CA), bem como o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, caixas de junção e transformadores quando forem aplicados;
6. infraestrutura mecânica: composto pelos itens e componentes mecânicos como suportes de fixação, perfis, parafusos, sistema de dutos elétricos, caixas de inspeção, quadros elétricos e pisos técnicos, quando houver. A infraestrutura mecânica deve garantir a segurança da edificação, bem como proporcionar condições de trabalho seguro aos instaladores e mantenedores dos SFV, devendo sempre que necessário ser consultado um engenheiro de estrutura para avaliar se a estrutura da edificação suportará o carregamento mecânico imposto pelo sistema.

2.8 Tipos de Inversores

O Inversor tem como função principal converter a corrente elétrica oriunda dos módulos FV de CC para CA, nos padrões da rede elétrica local. No mercado atualmente são oferecidos três tipos de Inversores:

- Inversor de *String* → tem a característica de possuir de 1 a 4 entradas como SPMP, que extrai a máxima potência de uma série de módulos, determinada pelo módulo da série de menor desempenho, e devem estar com a mesma orientação e inclinação e serem do mesmo modelo. Esse tipo de inversor é mais utilizado em aplicações de GD diversas, devido à vasta gama de modelos e potência disponível no mercado.

- Micro inversor → esse tipo de inversor atua de forma dedicada em cada módulo FV, resultando num melhor desempenho global do sistema. Apesar do custo inicial ser mais elevado, esse tipo de inversor proporciona algumas vantagens em função da maior segurança dos circuitos elétricos em função do baixo nível de tensão CC na instalação, redução de dispositivos e caixas de junção CC e redução de perdas de compatibilidade de uma mesma série FV (*mismatch*). Um módulo FV contendo um micro inversor é denominado de módulo CA solar.
- Inversor central → o inversor central é mais aplicado em SFV de maior porte como em minigeração distribuída e usina geradora, devido a oferecerem maior potência por unidade, possuem um maior número de entradas SPMP e possuem módulo de comunicação remota, controle e comunicação com redes industriais em um mesmo equipamento.

A ANEEL determina que todo Inversor instalado em GD com potência até 10 kW deve possuir certificação junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), podendo ser apresentado um certificado por outros órgãos internacionais aceito pelo Inmetro.

2.9 Normas Técnicas e Funções de Proteção do Inversor

Importante destacar a necessidade dos projetistas se familiarizem com as normas das concessionárias locais e atender as normas técnicas brasileiras (NBR) dirigidas a sistemas FV para que o projeto seja o mais assertivo possível, a fim de evitar retrabalhos.

Para que a concessionária permita a conexão de uma usina FV, conforme o módulo 3 do PRODIST, devem estar em conformidade a algumas normas técnicas, a saber:

- NT-Br 010/2016 R-01, Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da ENEL Distribuição Rio / ENEL Distribuição Ceará. A proteção contra curto-circuito da Unidade Consumidora será feita em acordo com a norma técnica (NT) 010 através de disjuntor termomagnético instalado no padrão da entrada.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16149:2013, Sistemas Fotovoltaicos - características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Esta norma versa que, caso a rede da concessionária opere fora das faixas toleradas para tensão e frequência, o inversor será bloqueado e desconectado da rede em um intervalo de tempo inferior a 1 segundo. Esta

proteção é conhecida como “anti-ilhamento”, e após o reestabelecimento da rede pela concessionária, a reconexão do inversor é executado em até 300 segundos.

- ABNT NBR 5410:2004, Instalações elétricas de baixa tensão.
- IEC/TS 62548:2013, *Technical Specification. Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements.*

As funções de proteção realizadas pelo inversor são: Subfrequência, Sobrefrequência, Subtensão e Sobretensão, proteção anti-ilhamento, proteção contra sobrecorrente, sobretensão e sincronismo CA.

No tocante à proteção de anti-ilhamento, o inversor monitora constantemente as condições da rede elétrica (tensão e frequência) e atua desligando automaticamente em caso de ilhamento, cessando a geração para a rede e retornando à operação tão logo as condições de rede se restabeleçam.

2.10 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

A instalação de sistema contra descargas atmosféricas em SFV deve ser considerado, segundo Grupo de Pesquisa Atmosférica (ELAT) pertencente ao INPE. O território brasileiro é o de maior incidência de raios no mundo, atingido por cerca de 77,8 milhões de descargas atmosféricas por ano, que ocasiona danos às edificações e com vítimas em muitos casos fatais. A liderança em raios se dá por ser o maior país da zona tropical do planeta (ELAT, GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA, 2023).

A norma ABNT que aborda sobre proteção contra descargas atmosféricas (PDA) é a NBR 5419:2015. Esta norma apresenta os requisitos de PDA, métodos para a análise de riscos, regras para diminuição de lesões físicas e risco à vida e para proteção contra as descargas e seus efeitos indesejáveis. É recomendado que seja feito um estudo de PDA que deve abranger dois conjuntos de medidas: o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e as medidas de proteção contra surtos elétricos (MPS).

As MPS são compostas pelo sistema de aterramento e sua equipotencialização, as blindagens magnéticas e aplicação de dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS). Os DPS são projetados e utilizados mediante aplicações específicas a cada classe e nível de suscetibilidade dos equipamentos eletroeletrônicos, que deverão ser protegidos contra os efeitos das descargas atmosféricas. Os surtos elétricos podem diminuir a vida útil ou até mesmo causar danos irreversíveis aos componentes de SFV, e a finalidade do DPS é limitar as

sobretensões transitórias para níveis apropriados drenando toda corrente indesejada para a terra, devendo ser instalado o mais perto do equipamento a proteger.

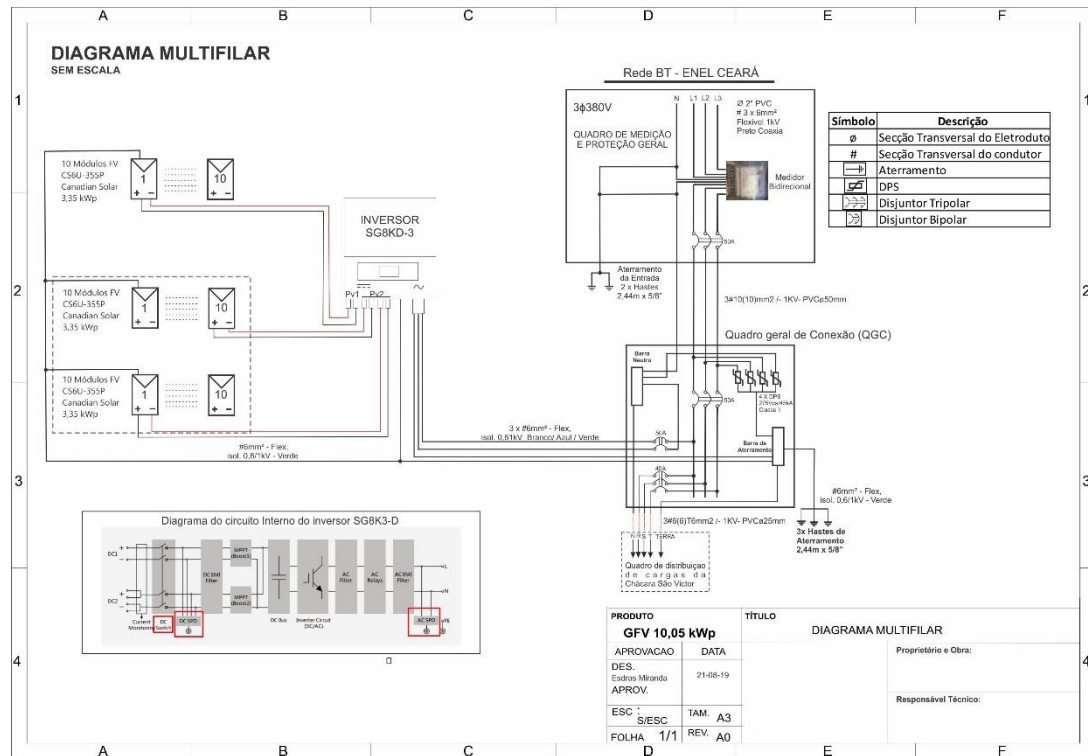
As normas que determinam os critérios de dimensionamento e metodologia de aplicação são recomendadas conforme as ABNT NBR 5419:2015, NBR 5410:2008, IEC 60664:2020, NBR 16690:2019 e IEC 61643:2007, destacando a essas duas últimas orientadas aos arranjos e sistemas FV. A instalação do DPS deve ser direcionada para a característica do elemento ao qual irá proteger em conformidade com sua classe de proteção, seja para circuitos de corrente contínua ou para equipamento de telecomunicação, Tecnologia da Informação (TI). Alguns inversores já possuem internamente um DPS, cabendo ao projetista avaliar a necessidade de DPS externo ou não (MOREIRA *et al.*, 2021).

2.11 O projeto de um SFV

Deve ser elaborado por um profissional que tenha conhecimento das normas, de modo a garantir a segurança da instalação segundo as normas da ABNT. Os principais componentes exigidos num projeto são relacionados abaixo e visualizados no diagrama multifilar de um GFV de 10,05 kWp, conforme mostrado na Figura 2:

- circuito elétrico de CC;
- circuito elétrico de CA;
- Unidade de Condicionamento de Potência UCP;
- dispositivos de manobra e proteção;
- caixas de junção;
- conectores FV;
- Proteção contra Descargas Atmosféricas PDA;
- Dispositivos de Proteção contra Surtos elétricos DPS;
- sistema de aterramento.

Figura 2 – Diagrama elétrico unifilar de um sistema FV com inversor típico em GD



Fonte: O próprio autor.

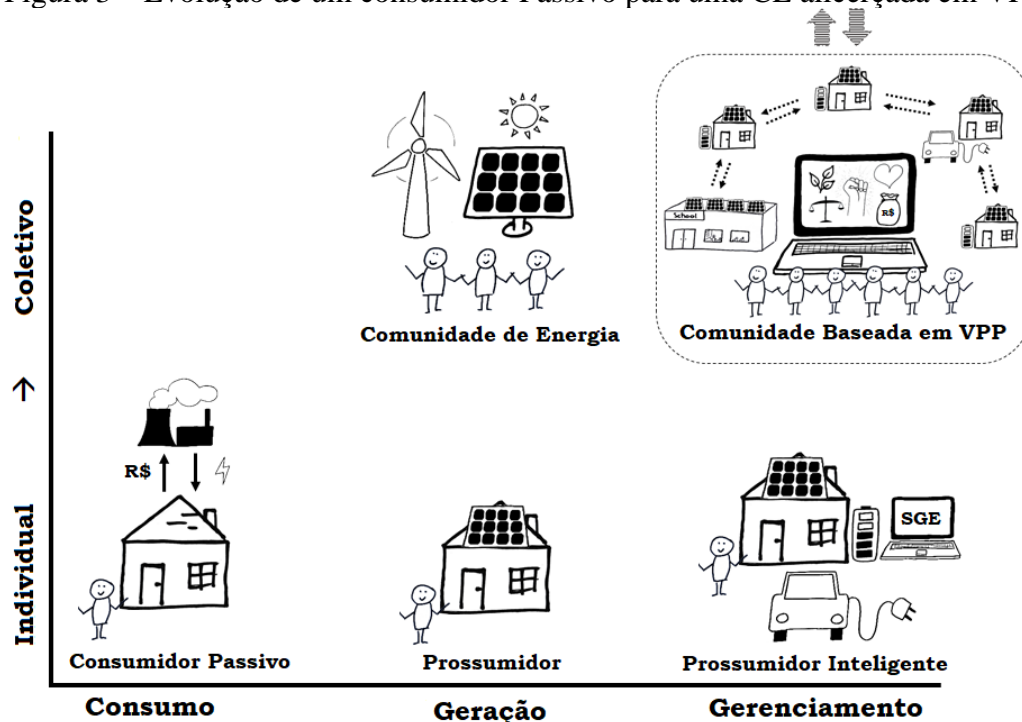
2.12 Interrelação entre GD, Microrrede, VPP e CE

Embora as interações específicas entre GD, Microrrede, VPP e CE possam variar dependendo do contexto e da implementação, em geral, esses conceitos estão interligados para promover uma transição energética mais sustentável, descentralizada e eficiente. A GD e as Microrredes fornecem a base para a produção e distribuição de energia local, enquanto as VPPs coordenam e otimizam essas fontes de energia distribuída. As CEs envolvem a participação ativa da comunidade na geração e consumo de energia, promovendo a autossuficiência e a resiliência energética. A necessária digitalização da matriz elétrica pode ser alcançada através dos medidores inteligentes, e toda tecnologia de hardware e software que podem ser adicionadas às redes de distribuição. Visando mitigar os problemas relacionados ao controle e ao gerenciamento da rede e o pleno desempenho de uma CE ativamente conectada, é necessário que haja uma comunicação rápida e segura. As tecnologias de comunicação sem fio desempenham um papel fundamental na rede devido à possibilidade de monitoramento em tempo real, detecção e recuperação de falhas, supervisão do consumo instantâneo de energia e possíveis demandas extras. Com auxílio da tecnologia digital, é possível monitorar de forma inteligente o status da bateria, direcionar mensagens de

compartilhamento de energia e outros recursos relevantes para uma Rede Inteligente (RI) (MILLER; SENADEERA, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2020).

Algumas soluções de RI estão sendo adotadas para ter controle sobre a geração, distribuição e comercialização de energia, como destaque para a VPP e Micro Rede (MR). Uma VPP apresenta-se como o mais popular para integração de soluções de GD, Figura 3, baseado em software que permite o controle de GD conectado à rede principal. MR é um sistema físico de energia que de forma integrada pode funcionar em paralelo ou isolado da rede principal (VAN SUMMEREN *et al.*, 2020). Para regiões remotas ou subdesenvolvidas que não têm acesso à rede, uma MR pode ser a única forma de acesso à energia e equidade energética, tratando a energia como parte adicional da infraestrutura para o desenvolvimento (GUI; MACGILL, 2018).

Figura 3 – Evolução de um consumidor Passivo para uma CE alicerçada em VPP



Fonte: Adaptado de (RESCOOP.EU, 2020).

Uma CE alicerçada numa VPP obtém características que agregam valor à GD flexibilizada por meio de um Sistema de Gerenciamento de Energia (SGE), que permite a modelagem de mudança de preços, fluxos de energia e condições climáticas mitigando problemas na rede. Uma VPP permite que a CE administre a demanda e o abastecimento de forma flexível, atuando como operador na democratização do sistema de energia (RESCOOP.EU, 2020). No Brasil, não há regulação ainda para uma CE estruturada em VPP.

3 ESTADO DA ARTE DE COMUNIDADES DE ENERGIA

3.1 Introdução

Durante a COP21, em 2015, foi firmado o Acordo de Paris; neste Acordo, líderes de 150 países se comprometeram em apoiar o enfrentamento das mudanças climáticas (UNITED NATIONS, 2015). Esse tema foi bastante discutido em outubro de 2021, na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em Glasgow (COP26); na ocasião, os países ratificaram o propósito do Acordo de Paris de limitar o incremento da temperatura média global bem abaixo de 2°C, acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitá-lo a 1,5°C (UNITED NATIONS, 2021). Durante a COP27, o secretário geral da ONU, Antônio Guterres, comunicou o estabelecimento e a operacionalização do fundo de perdas e danos, enfatizando que são imprescindíveis ações para redução das emissões (UNITED NATIONS, 2022). Para que sejam alcançadas as metas climáticas e o consequente desenvolvimento sustentável, faz-se necessária uma transição energética baseada em Fontes de Energia Renovável (FER) e consequentemente uma redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (EUROPEAN COMMISSION, 2021; IRENA, 2022).

A União Europeia (UE), por meio do pacto ecológico, pretende alcançar zero emissão líquida de GEE até 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Os Estados Unidos da América (EUA) no final de 2018, por meio de 29 estados e Washington DC, adotaram metas agressivas para aumentar a participação de FER para as demandas estaduais de eletricidade, destacando que estará 100 % livre de carbono em 2045 na Califórnia, Havai e Novo México (HEADLEY; COPP, 2020). A China tem como meta atingir a neutralidade de carbono em 2060 (FENG *et al.*, 2021). O Brasil também assinou o Acordo de Paris; com uma matriz elétrica baseada em FER representando 78,1 % em 2021 (EPE, 2022). O país tem estimulado o uso de FER com políticas regulamentares através da ANEEL para a GD, por meio da REN nº 687/2015, revisando a REN nº 482/2012 (ANEEL, 2022).

A FV no Brasil tem se destacado em decorrência do grande potencial energético com níveis superiores de irradiação solar quando comparado a outros países (INPE, 2017). Da matriz elétrica brasileira com capacidade instalada de 219,181 MW, em outubro de 2023, 109.917 MW vem da fonte hídrica representado 50,1 % do total, 33.757 MW é proveniente da fonte solar FV, representando 15,4 % e 26.906 MW oriunda da fonte eólica correspondendo a 12,3 %. De toda GD no Brasil, 98,9 % provêm da fonte solar FV com 2.106.439 sistemas conectados à rede, e, desse total, 1.652.883 sistemas conectados são residenciais equivalendo a 78,5 % do todo (ABSOLAR, 2023).

Vale destacar que no Brasil a motivação de se investir em FV é a necessidade de diversificação da matriz de geração, e os benefícios financeiros trazidos desde a resolução da ANEEL que estabeleceu mecanismos de compensação. Outro fator que colabora para o forte desempenho da FV é a sua capacidade de integração às edificações urbanas, com redução de preços a cada ano, proporcionando uma forma de compensar o elevado custo da tarifa convencional de eletricidade praticado pelas distribuidoras.

A contínua descarbonização do sistema energético é necessária para o cumprimento dos objetivos relacionados ao clima que foram estabelecidos para 2030 e 2050, visto que, na Europa, mais de 75 % das emissões de GEE estão relacionadas à produção e ao uso de energia de todos os setores econômicos (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Além disso, a realização da transição energética será possível com a utilização da tecnologia da informação, estruturação política, instrumentos de mercado e com o uso de tecnologias inteligentes. Os vetores atuais das mudanças dos sistemas de energia são os processos de Descarbonização, Digitalização e Descentralização (3Ds) (DI SILVESTRE *et al.*, 2018).

Considerando que a descarbonização é um processo importante dentro da transição energética, bem como a digitalização e descentralização do sistema elétrico de potência, as CEs surgem como uma alternativa de gestão e controle desses três segmentos. A CE permite ao cidadão participar ativamente das escolhas do perfil de consumo ao longo do dia, e proporciona benefícios econômicos com geração de emprego e renda para as comunidades próximas ao local da geração, muitas vezes em regiões de desequilíbrio econômico (BRUMMER, 2018). A CE pode atuar de forma colaborativa à geração descentralizada, utilizando das mais variadas FERs, como FV e eólica. Essas formas de geração podem ser consolidadas devido ao nível de escalabilidade dos investimentos, não ficando restritas aos grandes fornecedores de energia, tornando viável também para uma CE (BRUMMER, 2018; THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2019).

A CE, com suas características e papéis, pode atuar fortemente no cumprimento do objetivo 7 proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU), referente ao desenvolvimento sustentável, que trata do acesso à energia limpa e sustentável para todos, no cumprimento do objetivo 11 da ONU, relativo às cidades e comunidades sustentáveis e nas ações referentes ao objetivo 13 da ONU, referente ao combate às alterações climáticas provocadas pelas atividades humanas que ameaçam a vida na terra (UNITED NATIONS, 2015). Os fatores que levam à formação de uma CE não são apenas os fatores climáticos nem a insegurança energética, mas todo um contexto social e ambiental em torno das possibilidades e oportunidades relacionadas à sustentabilidade. O sucesso de uma CE depende

de todos os agentes envolvidos, como o poder público e a sociedade em geral, pois ao formar ou operacionalizar uma CE, é fator de extrema importância considerar o meio ambiente ao qual estará inserida, objetivando uma melhor solução para as localidades onde serão desenvolvidas (SOEIRO; FERREIRA DIAS, 2020).

A organização de cidadãos em comunidades de energia renovável (CER) promove a possibilidade da participação ativa no sistema energético; para tanto, são necessários elementos que garantam a livre participação baseada numa legislação acessível e justa (EUROPEAN COMMISSION, 2019); (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2018).

A UE, por meio da Diretiva para a promoção da utilização de energia de fontes renováveis (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2018), regulamentou as CER e, através da diretiva referente ao mercado interno de eletricidade (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2019), regulamentou as comunidades de energia cidadã (CEC), possibilitando aos consumidores do segmento tradicional a atuarem no mercado de energia mediante uma legislação garantidora das condições técnicas, administrativas e financeiras que contemplem a atuação das CER e CEC.

Uma CER pode ser definida como uma entidade jurídica que tem como base a participação aberta e voluntária de modo autônomo, controlada por acionistas ou membros que podem ser pessoas singulares, pequenas empresas, autoridades locais ou até mesmo municípios (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2018). CER estão próximas dos projetos de energias renováveis e possuem como objetivo principal trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais aos seus componentes ou localidade sem visar fins lucrativos.

Uma CEC pode ser definida como uma entidade jurídica aberta e voluntária que deve ser efetivamente controlada por seus membros ou pessoas singulares que sejam titulares de participações sociais, autoridades locais, pequenas empresas e até municípios (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2019). Os objetivos principais de uma CEC não são gerar lucros financeiros e sim proporcionar benefícios ambientais, econômicos e sociais aos seus membros e para as localidades onde operam, podendo atuar não somente com energia de fontes renováveis, como também com outras fontes de energia. As CEC podem atuar na geração e distribuição, fornecendo, consumindo e armazenando energia de todas as fontes, além de oferecer serviços relacionados à energia como carregamento de veículos elétricos.

Nem todos os países da UE adotaram as CER e CEC em suas estruturas legais (BIRESSELIOGLU *et al.*, 2021). A adoção da CE está diretamente relacionada ao país dispor de políticas regulamentares e elementos jurídicos que assegurem a sua implantação e sobrevivência de forma semelhante às diretivas estabelecidas pela UE.

Uma visão de geração FV em edifícios é discutida em Ramos *et al.* (2021). Os autores exploram conceitualmente várias formas de geração partilhada nas construções, bem como em CE. A ideia principal é a edificação ser compreendida como um consumidor único de eletricidade, possibilitando a um agregador minimizar o valor da potência contratada, considerando-se o gerenciamento da geração FV e o controle de carga e descarga de veículos elétricos (VE) e sistemas de armazenamento por baterias (BAT). A aceitação da população em investir em comunidades locais de energia em quatro países da Europa (Alemanha, Áustria, Itália e Suíça) é analisada em Azarova *et al.* (2019). Segundo os autores, é fundamental a realização de um trabalho de conscientização da sociedade com programas educacionais e campanhas publicitárias sobre as fontes renováveis, visando identificar a melhor escolha de tecnologia renovável, tomando-se como base as preferências locais para garantir que a solução adotada para a transição energética possa atingir altos níveis de apoio da população afetada. Também importante é que o apoio das autoridades políticas, tanto em nível local, nacional e da UE, possa influenciar de forma positiva a adesão em se investir em CE.

No Brasil, a modalidade do SCEE que se enquadra uma CE é a geração compartilhada. Nesse modelo, um grupo de consumidores se une para produzir eletricidade por FER em uma instalação compartilhada, como um parque solar ou eólico, e compartilham os benefícios dessa geração entre si. A geração compartilhada permite que os participantes da CE utilizem a energia gerada para consumo próprio, reduzindo suas contas de eletricidade, e possam compensar a energia ativa gerada conforme regra do SCEE vigente. A legislação da UE através de suas diretivas permitem a uma CE, produzir, vender, armazenar e distribuir energia (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2018, 2019).

No Brasil, não há regulamentação específica para CEs. No entanto, é importante considerar as diretrizes estabelecidas pela UE sobre CEs ao prever um modelo de regulação para o Brasil. Alguns aspectos importantes devem ser considerados, tais como: a definição e reconhecimento legal de uma CE; regras e critérios claros de quem pode participar de uma CE; as responsabilidades e direitos dos participantes; regras para a conexão à rede elétrica; regras de compensação e venda de excedentes da geração; programas de fomento para as CEs, e monitoramento e controle do mercado de modo a garantir o modelo e regras propostas.

3.2 Experiências de Comunidades de Energia

Em Maturéia, na Paraíba (PB), foi inaugurada no dia 7 de janeiro de 2023 a Cooperativa de Compartilhamento de Energia Solar Bem Viver (BV). Essa cooperativa é composta por 22 sócios fundadores e nasceu com a proposta de geração descentralizada, cooperativista e solidária, visando o desenvolvimento regional sustentável. Além dos ganhos financeiros na conta de luz, a BV inova com a adaptação do convívio com o semiárido através da implantação de um sistema de coleta de água da chuva, captada pelos módulos FV e armazenada em cisternas, proporcionando segurança hídrica em relação à lavagem dos módulos, de modo a não ser necessário o compartilhamento dos recursos hídricos para a operação da planta.

A cooperativa criou um fundo solidário solar e incluiu produtores rurais da agricultura familiar como favorecidos. A planta FV tem uma capacidade instalada de 38,2 kWp, com 83 módulos de 460 Wp. Os 22 sócios fundadores possuem 61 módulos e têm direito à geração equivalente a 200 kWh/mês; cada sócio doou um módulo com o objetivo de inserir e alavancar o trabalho junto aos agricultores, possibilitando a Cooperativa BV iniciar o conceito da Solidariedade Solar (DEMENTSHUK, 2023).

As regiões Nordeste e Norte do Brasil apresentam um grande potencial de desenvolvimento para as FER, principalmente a solar FV. O desenvolvimento das CE nestas regiões pode facilitar o acesso de energia elétrica para as localidades mais remotas, oferecendo energia com melhor qualidade e proporcionando um melhor desenvolvimento regional com benefícios para a população em geral (NOMINATO, 2023).

A implantação de uma CE em áreas carentes, além de proporcionar o acesso à energia limpa e a redução de gastos, reduz os acidentes com choque elétrico através de ligações clandestinas. Estes resultados estão sendo percebidos pelas 240 famílias, com aproximadamente 700 moradores de uma comunidade em São José do Rio Preto, interior paulista, conhecida como Favela Marte. A instalação de módulos FV foi possível através de um projeto coordenado pela Organização Não Governamental (ONG) Gerando Falcões, com parceria da iniciativa privada, poder público e terceiro setor. A iniciativa foi anunciada como a primeira comunidade da América Latina com energia 100 % solar. Para concretização do projeto, serão instalados mais de 1.000 módulos entre 2022 e 2023, com investimento previsto de R\$ 58 milhões; além dos ganhos com a instalação dos módulos, a comunidade se beneficiará da regularização da área ocupada e dos serviços básicos de fornecimento de água

e esgoto, além de equipamentos públicos que visam ao desenvolvimento e bem-estar social da comunidade (LUCIANO, 2022).

Em estudo voltado para análise das CEs visando o desenvolvimento sustentável dos sistemas elétricos da América Latina e Caribe (ALC), é destacado que seguindo o conceito de um estilo de vida pautado no coletivo, comunitário e harmônico com a natureza sob a ótica do BV, as CEs podem ser agentes de transformação para a sustentabilidade, justiça e proteção para os sistemas elétricos da ALC (GONZÁLEZ; VIGLIO; FERREIRA, 2022).

O Relatório do Fundo Mundial da Natureza (*World Wildlife Fund-Brasil – WWF-Brasil*) em parceria com a Fundação Mott, fruto de uma pesquisa em dez projetos (nove na Amazônia Brasileira e um no Pantanal) desenvolvidos por organizações da sociedade civil e por universidades durante a última década em comunidades isoladas que receberam iniciativas *off-grid* com FER, foram ratificadas práticas e cuidados fundamentais para o sucesso de uma CE. Os projetos avaliados tiveram um forte envolvimento social, com palestras de capacitação e conscientização do uso de energia.

Outro aspecto importante que o relatório destaca é que projetos *off-grid* com FER só serão viáveis economicamente com o envolvimento direto do poder público atrelado a políticas de energia inclusiva. De acordo com o Relatório, as melhores ideias vêm da comunidade, corroborando a necessidade de se investir tempo na mobilização de todos, desde a concepção do projeto, execução e manutenção para que seja garantida a sustentabilidade energética local. O Relatório enfatiza que estas ações estão alinhadas com o cumprimento do objetivo 7 da ONU, de desenvolvimento sustentável, e deixa claro que a intenção do trabalho é demonstrar que investir em fontes limpas, mesmo que em sistemas remotos e isolados, é a melhor alternativa para aqueles que necessitam da energia para viver e se desenvolver, assim como para desenvolver um mercado de bens e serviço de energia limpa na região (WWF-BRASIL, 2020).

No contexto europeu, existe uma associação belga, Rescoop.EU, sem fins lucrativos, que foi constituída legalmente em 2013, e que defende os interesses de mais de 1.900 CEC em toda Europa, e representam juntas mais de 1,25 milhão de cidadãos (RESCOOP.EU, 2023). Segundo o Relatório Comunidades Renováveis (2021), publicado pela associação ambientalista italiana Legambiente, a revolução energética já começou. O documento relata que em toda a Itália já estão em operação ou em processo de operação 20 CER, e outras 7 estão em fase de projeto. Além disso, as comunidades energéticas podem chegar a contribuir com 17 GW de potência oriunda de fontes renováveis, equivalendo a 30 %

da meta para o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima 2030 (PNIEC) (LEGAMBIENTE, 2021).

Em estudo de caso realizado pelo *Joint Research Centre* (JRC), uma CE desempenha um forte papel no empoderamento do consumidor com as iniciativas voltadas para a comunidade, permitindo uma inovação social que reflete na mudança de comportamento. O trabalho apresenta que existem diferentes modelos de instalações que podem ser em prédios escolares, telhados de fazendas e até mesmo em moinhos de vento que beneficiam moradores de uma aldeia. Toda diversidade dos modelos de CEs praticados foram estudados em nove países da Europa: Alemanha, Dinamarca, Bélgica, França, Polônia, Espanha, Suécia, Holanda e Reino Unido. É destaque pelo número de CEs a Alemanha, com 1750, a Dinamarca com 700, Holanda com 500 e Reino Unido com 431, ficando os demais com um total de 371 unidades. A liderança da Alemanha e Dinamarca é decorrente do fato desses países possuírem tradicionalmente propriedades comunitárias e empresas sociais (CARAMIZARU, 2020).

As mais variadas formas de CE podem ser implantadas, e se faz necessário a constante atualização das leis e normas que regulam o setor elétrico, visando a celeridade e eficiência burocráticas no processo de transição energética. Em Roma, foi estabelecida uma CE entre mulçumanos e franciscanos denominada de Energia de Paz, apoiados por uma cooperativa energética chamada "ènostra". Energia de Paz é uma comunidade energética com potência instalada FV de 420 kW: 50 kW na casa geral dos frades menores, 120 kW na Pontifícia Universidade Antonianum e 250 kW na mesquita do Monte Antenne.

A intenção é que toda eletricidade produzida seja compartilhada, e a CE possa receber um incentivo econômico público. Na atual conjuntura, Energia de Paz se encontra parada devido à falta de um decreto de implementação de uma CE com essas características. Apesar das normas que instituíram as CEs na Itália serem de 2020, a falta de um decreto de implementação atrasa o funcionamento da Energia de Paz. O Ministério do Meio Ambiente italiano redigiu as normas necessárias em fevereiro de 2023, mas ainda estão sendo analisadas pela comissão Europeia (INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS, 2023). A CE Energia de Paz tem um grande simbolismo, pois remete ao encontro ocorrido há cerca de 800 anos entre São Francisco e o sultão Al-Malik Al-Kamil, no Egito. Diante do cenário das Cruzadas, os dois líderes descobriram a essência e visões do outro (FRANCISCANOS, 2023).

3.3 Análise Bibliométrica sobre CE

Considerando a importância do desenvolvimento das CEs para a transição energética, a análise de revisão bibliométrica foi adotada para os últimos 10 anos, devido a esta metodologia ser bastante aplicada como ferramenta para citação estatística e quantitativa da literatura. Adicionalmente, é utilizada para análise da produção científica e das tendências de pesquisas nas diversas áreas do conhecimento (SHEN *et al.*, 2021).

Para atingir os objetivos propostos com a realização da análise bibliométrica, foram utilizados o diagnóstico de resultados de pesquisa da própria Scopus e o VOSviewer, *software* em Java desenvolvido por Van Eck e Waltman, e disponibilizado gratuitamente para a comunidade de pesquisa. O VOSviewer pode ser utilizado com facilidade na interpretação e elaboração de grandes mapas com até milhares de itens (VAN ECK; WALTMAN, 2010). O conteúdo explorado foi coletado da base de dados Scopus com as seguintes palavras-chave: *energy AND community e renewable AND energy AND community*. Ao todo foram selecionados 1.882 documentos, cuja busca foi definida com os seguintes parâmetros: documentos do tipo artigos e papéis de conferência, áreas de estudos de energia e engenharia. Por fim, para facilitar o acesso e leitura dos artigos, optou-se em buscar apenas artigos de livre acesso, resultando na seguinte *STRING* de busca:

```
( TITLE-ABS-KEY ( energy AND community ) AND TITLE-ABS-KEY ( renewable AND energy AND community ) ) AND PUBYEAR > 2012 AND PUBYEAR < 2023 AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( OA , "all" ) )
```

Essa busca foi realizada durante o mês de março de 2023, e o período de estudo abrangeu o intervalo de 2013 a 2022; o ano de 2023 foi excluído da pesquisa para se obter períodos anuais completos. Os aspectos analisados nesta etapa do trabalho são: a produção anual de artigos produzidos, número de autores envolvidos na produção, as instituições e países dos diferentes autores, as diferentes áreas de estudo segundo compilado da Scopus, periódicos e palavras-chave. Depois da coleta de dados, *download* e processamento, foram elaboradas tabelas e figuras para análise da pesquisa. Os indicadores de qualidade mais utilizados foram adotados para examinar a relevância dos documentos, e foram tomados como base o número de citações, a importância do artigo, o índice H e seu fator de impacto.

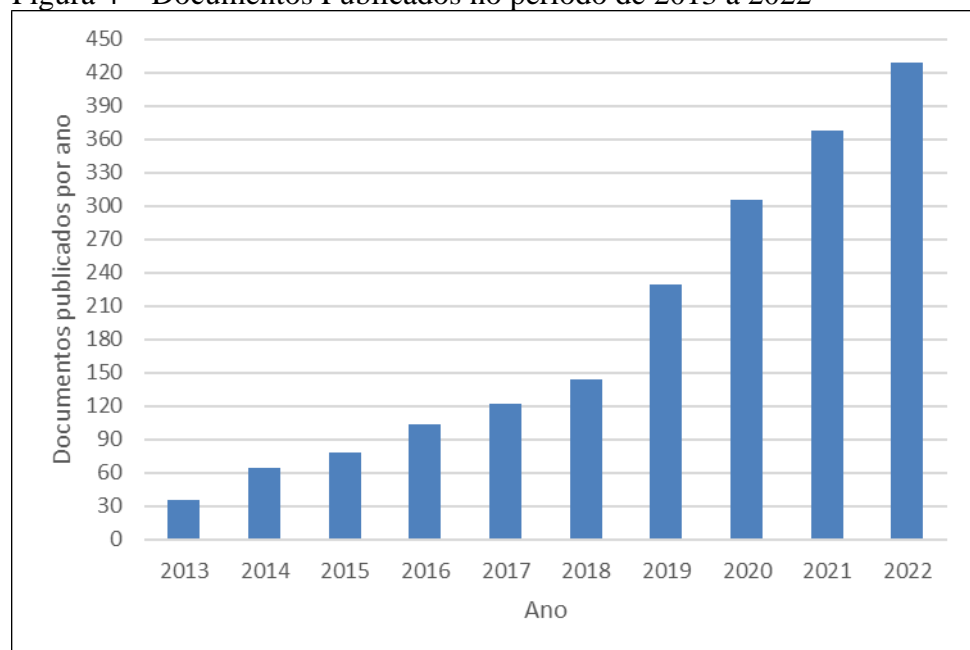
A metodologia aplicada no presente estudo pode demonstrar algumas limitações, devido à escolha das palavras-chave e restrições impostas manualmente à *string* booleana

escolhida para busca na plataforma da Scopus. Outro fator que pode delimitar os resultados é a utilização de uma base única na busca do material estudado, mesmo sendo a Scopus o maior banco de dados de resumos e citações organizados por especialistas (ELSEVIER, 2021), o que possibilita alguns trabalhos e suas citações publicados em periódicos não indexados na base da SCOPUS terem sido excluídos.

Do total dos 1.882 documentos encontrados para o período da pesquisa, o primeiro artigo relacionado à CE foi de origem tailandesa, publicado em 2013 na *Energy Procedia*. Os autores realizaram uma pesquisa através de levantamento e questionário distributivo nas aldeias rurais da Tailândia, que utilizavam sistemas solares domésticos localizadas em diversas regiões, e que teriam sido beneficiadas pelo projeto do governo de levar energia para toda população, promovendo o uso de energia renovável, principalmente por sistemas FV.

Considerando o número de publicações anuais de 2013 a 2022, em 2013 foram 36 publicações; em 2022 o número foi de 429, acumulando para o período 1.882 documentos, dos quais 1.333 publicados entre 2019 e 2022, representando 70,83 % do total, conforme Figura 4. Do universo de publicações, 1.530 são artigos de periódicos e 352 de conferências (SCOPUS, 2023). Assim, fica evidente pelo número de publicações da última década a preocupação com o processo de descarbonização e as ações voltadas para as CEs.

Figura 4 – Documentos Publicados no período de 2013 a 2022



Fonte: Adaptado de Scopus.

3.4 Desempenho dos países/regiões

Os 1.882 documentos foram contribuição de 133 países com no máximo 8 contribuições por país. Os 10 países que mais contribuíram de forma colaborativa publicaram juntos 1.416 artigos, sendo o Reino Unido o de maior representatividade, com 275 documentos e 5.928 citações; em seguida, EUA, Itália e Alemanha, com 235, 199 e 150 documentos, respectivamente. Dentre os 10 países com maior número de publicações, 6 são da Europa, demonstrando a seriedade com que o continente trata a descarbonização da energia, adotando alternativas renováveis e incluindo as formas de associação para o empoderamento da sociedade como agente de transformação.

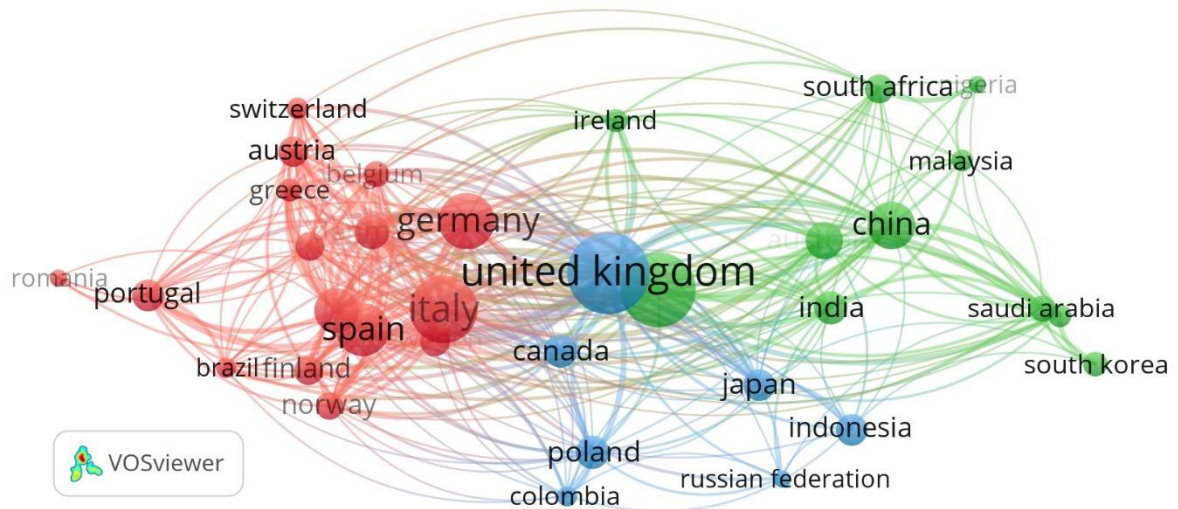
Na Tabela 1 é apresentada a relação dos países e seus respectivos número de Publicações (TP), número de citações (TC) e a relação TC/TP, que denota o impacto das contribuições de cada país na comunidade científica. Na Figura 5 é apresentada a rede de colaboração dos países para uma frequência de documentos ≥ 21 . O mapa obtido da análise realizada no Vosviewer chegou a uma rede de colaboração de 323 links entre 34 países distribuídos em três grupos de cores distintas.

Tabela 1 – 10 países com maiores colaborações em CE

País	TP	TC	TC/TP
Reino unido	275	5928	22
EUA	237	3936	17
Itália	199	3027	15
Alemanha	150	3350	22
Espanha	135	1845	14
China	110	2040	19
Holanda	104	2255	22
Austrália	75	1984	26
Dinamarca	67	2217	33
Índia	64	826	13

Fonte: VOSviewer.

Figura 5 – Rede de colaboração do país para frequência ≥ 21 . O tamanho do círculo corresponde ao nº de artigos



Fonte: O próprio autor.

O tamanho de cada círculo demonstra o número de trabalhos sobre o tema e as diferentes cores representam as ligações possíveis de contribuições entre os inúmeros países. Três grandes conjuntos são identificados: o azul liderado pelo Reino Unido, e tendo como principais parceiros o Canadá, Polónia e Japão; o vermelho, grupo que o Brasil faz parte, liderado pela Itália, Alemanha, Espanha e Portugal; e o verde liderado pelos EUA e China.

A distância de alguns países ao conjunto que pertence está diretamente ligada ao nível de desenvolvimento da pesquisa naquele país ao tema. Os nomes dos países estão em letras minúsculas, obedecendo ao padrão de apresentação gráfica do VOSviewer para as redes de colaboração.

3.5 Análise de rede de colaboração

Nos últimos anos houve diversos avanços no campo do estudo das energias renováveis para CE; o total de 1.882 publicações compreendeu 4.549 organizações, e desse universo as 26 que mais publicaram estão apresentadas na Tabela 2: seis são da Itália, quatro são dos EUA, duas da Áustria, duas do Reino Unido, duas da África do Sul e duas das Filipinas, ficando as oito restantes com a Finlândia, Croácia, Espanha, Paquistão, Arábia Saudita, Japão, Camarões e Holanda. A escola italiana é a mais colaborativa, com 21 documentos distribuídos entre 6 instituições que somam 503 citações. Destaca-se a instituição italiana *Università Politecnica delle Marche* com 311 citações em 3 publicações, obtendo uma média de 74 citações por documento.

Do total de 340 fontes que exploraram o tema em 1.882 documentos, as dez principais publicações colaboraram com 941 artigos, representando 50 % do total, conforme Tabela 3. O artigo mais citado, com 285 citações, foi um trabalho colaborativo internacional, publicado na revista *Energies*, em 2018. O trabalho se concentra na técnica de controle preditivo para melhoria da eficiência energética em edifícios, com foco em sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (SERALE *et al.*, 2018).

Na Figura 6 é apresentada a rede de colaboração por acoplamento bibliográfico das 08 fontes que mais publicaram sobre CE. O tamanho de cada círculo representa o número de publicações, as diferentes cores significam o grau de afinidade e cooperação, e a espessura da linha é referente à força de interação de coautoria. A rede formada inicialmente pelas 340 fontes é de grande complexidade devido às centenas de conexões de contribuições entre elas; por este motivo utilizou-se um filtro maior ou igual a 40 para um número mínimo de documentos por fonte, e com esse limite o Vosviewer chegou ao mapa das 08 fontes mais relevantes da pesquisa. A rede de contribuição é composta por três grupos: o de cor vermelha com quatro componentes liderado pela *Energies* com 306 publicações, 3.419 citações; o de cor verde com três componentes liderado pela *Sustainability* (Switzerland), com 165 publicações e 1.923 citações, e o grupo liderado pela *Energy Procedia* com 102 documentos e 1.355 citações.

Tabela 2 – As 26 instituições mais produtivas sobre CE

Instituição/País	TP	TC	TC/TP
Department of Mechanical, University of Calabria, Italy	5	41	8
Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia	5	87	17
Aalto University, School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Aalto, Finland	4	58	15
Ait Austrian Institute of Technology, Vienna, Austria	4	81	20
Department of Computer Science, Comsats University Islamabad, Islamabad, Pakistan	4	90	23
Department of Electrical Engineering, College of Engineering, King Saud University, Saudi Arabia	4	73	18
Department of Energy, Politecnico Di Torino, Torino, Italy	4	73	18
National renewable energy laboratory, United States	4	64	16
Departamento de Física Aplicada, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain	3	188	63
Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, United States	3	15	5
Department of Electrical and Electronic Engineering Science, University of Johannesburg, South Africa	3	33	11
Department of Engineering, University of Sannio, Benevento, Italy	3	25	8
Department of Industrial Engineering, Stellenbosch University,	3	20	7

Stellenbosch, South Africa			
Department of Industrial Engineering, University of San Carlos, Cebucity, Philippines	3	8	3
Department of Information Engineering and Computer Science, University of Trento, Trento, Italy	3	23	8
Department of Information Engineering, Università Politecnica Delle Marche, Ancona, Italy	3	311	104
Ding, Department of Engineering, University of Sannio, Benevento, Italy	3	30	10
Engineering Graduate Program, School of Engineering, University of San Carlos, Cebucity, Philippines	3	5	2
Grantham Institute, Imperial College London, London, United Kingdom	3	36	12
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria	3	118	39
Meiji University, Tokyo, Japan	3	17	6
National Renewable Energy Laboratory, Golden, United States	3	18	6
National Renewable Energy Laboratory, Golden, United States	3	59	20
Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom	3	50	17
University of Twente, Department of Industrial Engineering Business Information Systems, Netherlands	3	73	24
Urisie, University Institute of Technology Fotso Victor, University of Dschang, Bandjoun, Cameroon	3	17	6

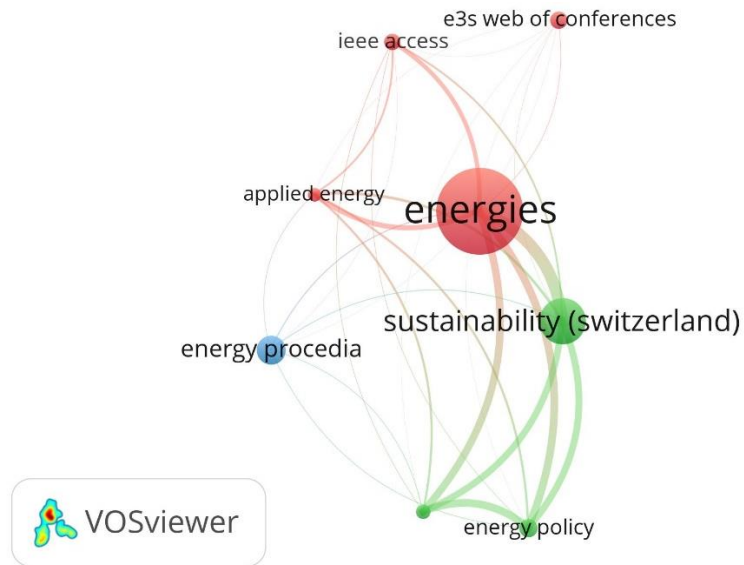
Fonte: O próprio autor.

Tabela 3 – As 10 fontes mais produtivas sobre CE

Fonte	TP	TC	TC/TP
Energies	306	3419	11
Sustainability (Switzerland)	165	1923	12
Energy procedia	102	1355	13
Energy policy	67	2324	35
E3s web of conferences	63	151	2
IEEE open access	58	935	16
Energy research and social science	54	1693	31
Applied energy	50	2271	45
Renewable energy	39	986	25
Energy reports	37	396	11

Fonte: O próprio autor.

Figura 6 – Rede de colaboração das 08 fontes que mais publicaram sobre CE

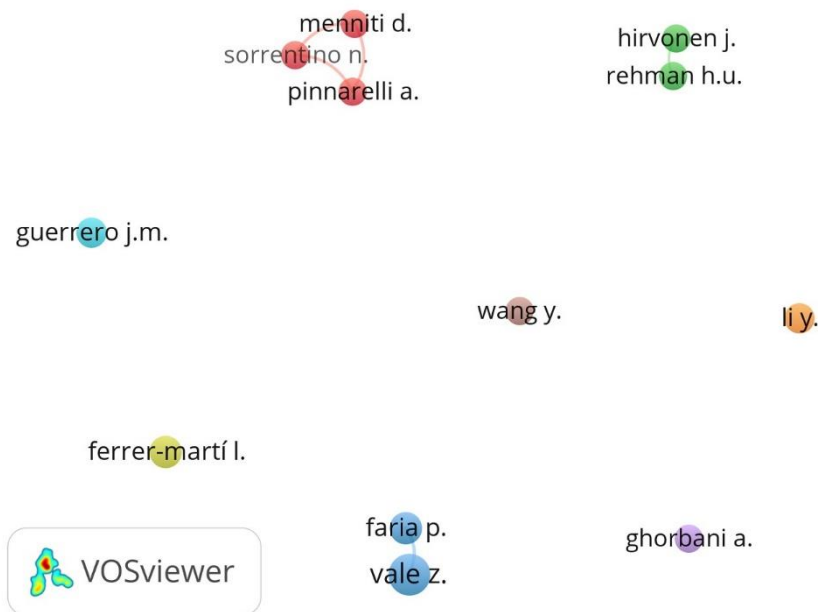


Fonte: O próprio autor.

3.6 Autores de alta produtividade e análise de colaboração

6.490 autores trabalharam de forma colaborativa para o total dos 1.882 documentos. Na Figura 7 é apresentada a rede de colaboração formada pelos 12 principais autores, com no mínimo 8 documentos publicados. O tamanho de cada círculo caracteriza o número de trabalhos e as diferentes cores assinalam os agrupamentos prováveis de acordo com o número de colaborações. De acordo com as estatísticas, a maior parte dos autores de alto rendimento possuem coautorias normalmente relacionadas nas adjacências da mesma instituição.

Figura 7 – Rede de colaboração dos 12 autores mais produtivos sobre CE



Fonte: O próprio autor.

Na tabela 4 são apresentados os 10 autores mais produtivos sobre CE. Zita Vale se destaca como a autora que mais colaborou, com 14 documentos; em seguida se destaca Pedro Faria com 10 autorias. Ambos são do Instituto Politécnico do Porto e abordam CE, RI, MR, mercado de energia de pessoa para pessoa (P2P), armazenamento e gerenciamento por BAT. Os trabalhos apresentam aprimoramento desses modelos e soluções com aplicação da engenharia de *software*. Os autores finlandeses Janne Hirvonen e Hassam Rehman, representados na cor verde, têm desenvolvido pesquisas voltadas para CE no que concerne à utilização da energia solar térmica para aquecimento de lares. Os pesquisadores buscam soluções ao enfrentamento das diferentes condições climáticas e dificuldades de se implantar redes de aquecimento solar distrital, propõem soluções de armazenamento térmico sazonal, soluções de infraestruturas otimizadas para o local e fazem uso de simulações por *softwares* e algoritmos de otimização.

Outro conjunto que se destaca é o de cor vermelha, liderado pelos autores italianos Daniele Menniti, Anna Pinnarelli e Nicola Sorrentino. Os três autores, relacionados entre os dez mais produtivos, são da *Università della Calabria*, Itália, trabalhando juntos nos 8 artigos da pesquisa. Os italianos abordam CE no que concerne à otimização operacional das redes para o uso das micro redes e tecnologia das nano redes, propondo gerenciamento local visando ao melhor controle de carga, demanda e geração de forma a otimizar o autoconsumo da comunidade. Outro autor que se destaca pelo número de citações é Li Yang, da *Northeast*

China Institute of Electric Power Engineering, China, contribuindo com nove documentos que lideram o ranking de citações com 484, conforme tabela 4; em destaque o artigo (LI *et al.*, 2021) com 140 citações.

Tabela 4 – Os 10 Atores mais produtivos sobre CE

Autor	Afiliação	Índice h	TP	TC	TC/TP
Vale, Zita	Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal	47	14	257	18
Faria, Pedro	Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal	25	10	48	5
Ferrer-Martí, Laia	Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain	22	10	180	18
J. M. Guerrero	Aalborg University, Aalborg, Denmark	119	9	398	44
Li, Yang	Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin, China	30	9	484	54
Ghorbani, Amineh	Faculteit Techniek, Bestuur en Management, TU Delft, Delft, Netherlands	13	8	199	25
Hirvonen, Jane	Aalto University, Espoo, Finland	14	8	169	21
Menniti, Daniele	Università della Calabria, Rende, Italy	20	8	71	9
Pinnarelli, Anna	Università della Calabria, Rende, Italy	17	8	71	9
Rehman, Hassam Ur	VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland	12	8	180	23

Fonte: O próprio autor.

O autor Josep M. Guerrero destaca-se pelo índice h igual a 119; o índice foi proposto em 2005 pelo pesquisador Jorge E. Hirsch, para que através de um único indicador fosse possível caracterizar a produção científica de um pesquisador de forma simples e útil. Um autor que possui um índice h de 60 após 20 anos de carreira ou 90 após 30 anos de carreira é caracterizado como um indivíduo verdadeiramente único (HIRSCH, 2005). Josep M. Guerrero atua em micro redes, sistemas de armazenamento de energia distribuída, controle hierárquico e cooperativo, otimização de micro redes e mini redes ilhadas (GUERRERO, 2023).

4 METODOLOGIA

Na presente seção é apresentada a metodologia utilizada para verificar a viabilidade técnica e financeira de uma CE para Condomínio.

4.1 Estudo de Caso

O condomínio de casas objeto do presente estudo de caso está inserido num loteamento residencial estruturado juridicamente como Associação Alphaville Ceará – Residencial 1 e 2, uma associação civil sem fins econômicos, políticos ou religiosos, chamado meramente como Associação, com personalidade jurídica e patrimônio próprio, distintos de seus associados, com atividades determinadas pelo estatuto firmado em março de 2014. A Associação possui sede administrativa localizada na Avenida Quarto Anel Viário S/N, Loteamento Alphaville Ceará, Eusebio - CE - Brasil, 61760-000, conforme Figura 8.

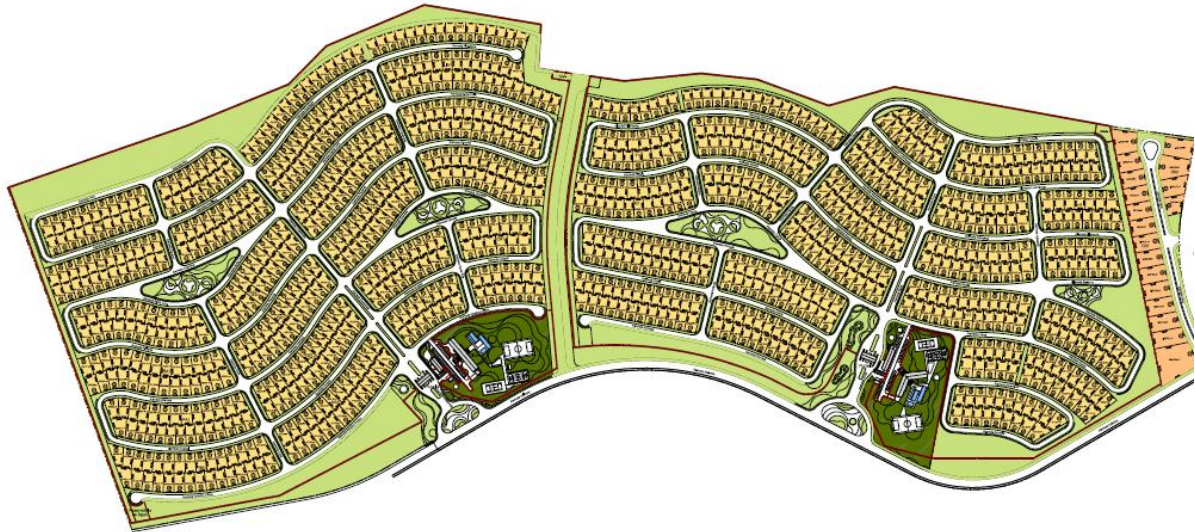
Figura 8 – Localização do Condomínio estudado no Google Earth



Fonte: Google Earth.

Até maio de 2023 o Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2, dados fornecidos pela Associação, relata que a ocupação do empreendimento chegou a 127 residências habitadas, representando 13 % do total. Na Figura 9 são apresentados os 1.002 lotes que compõem o Condomínio.

Figura 9 – Disposição dos 1.002 lotes que compõem o Condomínio estudado



Fonte: Associação Alphaville Ceará – Residencial 1 e 2.

4.2 Premissas para dimensionamento de um sistema FV de uma casa padrão

Para que seja levantada a capacidade média de instalação dos sistemas FV participantes da CE no condomínio, é importante a observação das premissas abaixo:

- consumo médio de uma casa padrão do Condomínio kWh/mês;
- geração média de eletricidade (kWh/mês) de cada Unidade Familiar (UF);
- área necessária para instalação de uma usina FV padrão em cada UF;
- investimento necessário de cada usina por UF;
- ganho financeiro (R\$) inicial com o ingresso na GD.

4.3 Casa padrão

A determinação de uma casa padrão no presente estudo de caso foi estimada pela área média das edificações já construídas e de empreendimentos semelhantes, variando de 200 m² a 400 m². Para o caso específico é adotado o projeto de uma residência de 250 m², conforme foto ilustrativa apresentada na Figura 10. A Residência padrão é composta de dois pavimentos com 31 unidades de consumo, conforme relacionados na Tabela 5.

Figura 10 – Desenho da casa padrão



Fonte: SCALER – Arquitetura e Interiores.

Tabela 5 – Unidades de Consumo da Casa Padrão

Item	Pavimento	Divisão da casa
1	Térreo	Garagem
2		Home TV
3		Sala de estar
4		Sala de jantar
5		Cozinha
6		Despensa
7		Lavabo interno
8		Suíte de hóspedes
9		Suíte funcionário
10		Área de serviço
11		Área gourmet
12		Lavabo área gourmet
13		Hidromassagem SPA
14		Hall escada
15		Área externa
16		Poço profundo
17		Varanda
18	Superior	Suíte 01 casal
19		Suíte 02
29		Suíte 03
30		Escritório
31		Corredor

Fonte: O próprio autor.

4.4 Local da Instalação da Usina FV

A localização georreferenciada da casa padrão possui coordenadas determinadas pela Latitude: -3.886412° e Longitude -38.489041° , como na Figura 11.

Figura 11 – Localização da Instalação pelo Google Earth



Fonte: Google Earth.

4.5 Ponto de Injeção da Eletricidade Gerada

A planta FV foi instalada em julho de 2023, e já se encontra em operação com o parecer de acesso emitido. O ponto de injeção da eletricidade gerada é no Quadro Geral de Distribuição (QGD), localizado dentro da residência no quadro de distribuição, conforme ilustrado na Figura 12.

O QGD é Trifásico, sendo alimentado por 5 cabos (3F+N+T) de 10 mm^2 oriundos do disjuntor geral de 50 A do medidor de energia. A conexão da usina FV ao QGD se dá por um disjuntor CA de 15 A. O QGD contém quatro Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS/275Vca /45kA / Classe II).

Figura 12 – Ponto de Injeção da energia no QGD



Fonte: O próprio autor.

4.6 Aterramento

A edificação possui malhas de aterramentos no esquema TT em conformidade com a norma ABNT NBR 5410:2004, resultando em uma resistência de aterramento inferior a 10Ω , mesmo que em solo seco. A instalação do sistema de aterramento do sistema FV é composta por 2 hastes de 2,44 m, com seção de 5/8” enterradas no solo adjacente. A instalação do sistema garante a qualidade do aterramento.

Os cabos de aterramento dos módulos FV, assim como os cabos de força CC, são apropriados para instalação externa com resistência à radiação ultravioleta. A bitola para aterramento entre as estruturas metálicas e os *string boxes* é de 6 mm^2 , conforme recomendado pela IEC/TS 62548:2013 (norma em elaboração no Brasil pela Comissão de Estudo CE-03:064.01 do COBEI). A conexão da moldura dos módulos com o cabo terra é executada por clips de aterramento, *jumpers* entre os perfis e grampos terminadores específicos para aterramento.

4.7 Ponto de Conexão e Medição

Após aprovação do projeto técnico junto à concessionária de energia e emissão do parecer de acesso para GD, a concessionária realiza vistoria no ponto de conexão e substitui o medidor atual por um do tipo bidirecional eletrônico, em conformidade com a REN ANEEL nº 956/2021 (ANEEL, 2022b), figura 13.

Figura 13 – Pontos de Conexão e Medidor

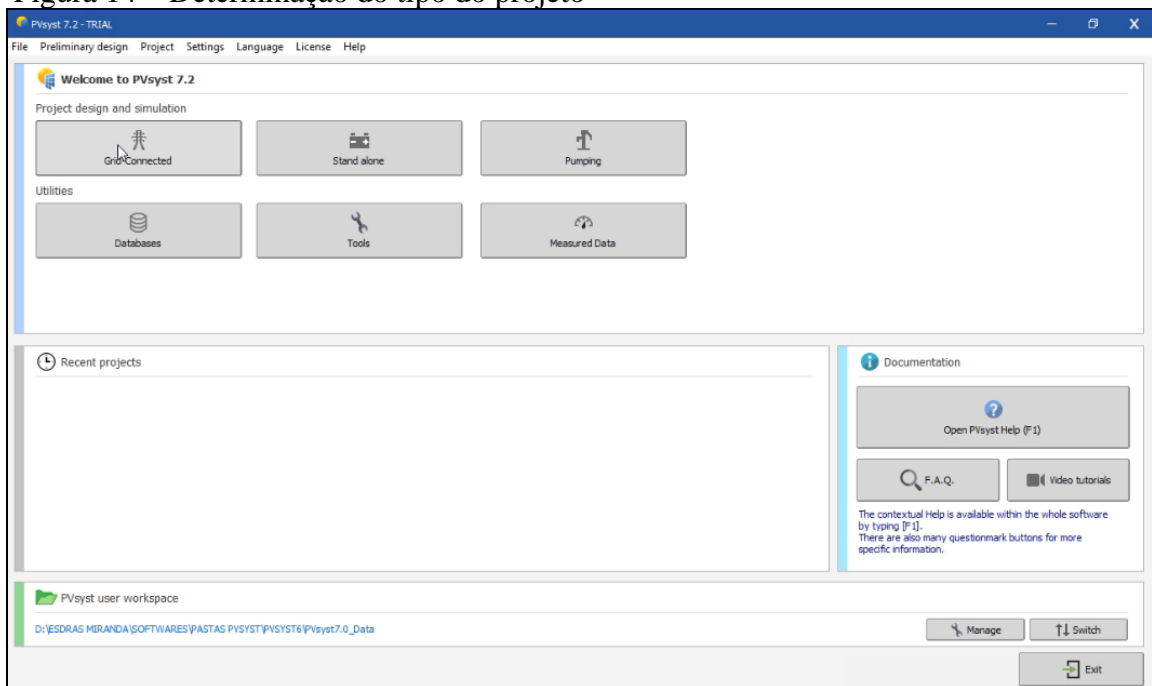


Fonte: O próprio autor.

Para realização do dimensionamento da planta FV, é utilizado *software* PVSYST V7.2.21 versão de avaliação. Este programa destina-se ao uso de engenheiros, arquitetos e pesquisadores no que tange ao dimensionamento, simulação e análise dos dados de sistemas FV completos, conectados à rede ou autônomos. O PVSYST tem a capacidade de importar dados meteorológicos, bem como dados próprios de fontes diferentes (PVSYST, 2023).

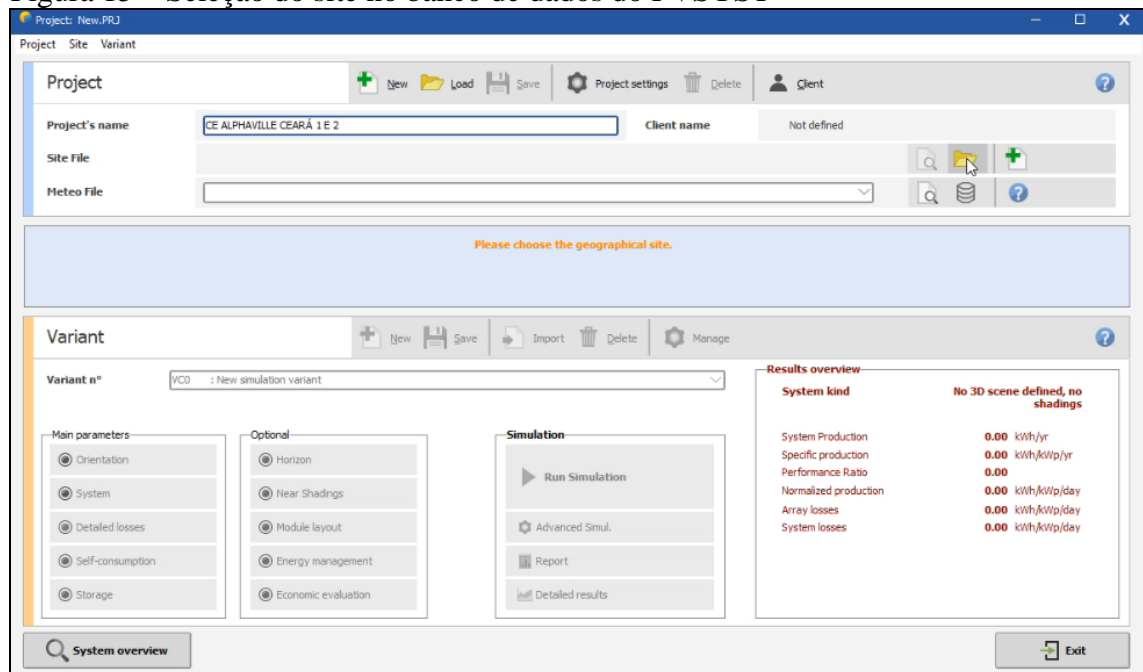
A utilização do PVSYST é bastante didática e interativa, inicialmente o projetista deve determinar se o projeto é conectado à rede, isolado ou de bombeamento de água, conforme figura 14. Após a determinação do tipo de projeto, é necessário selecionar o site do projeto no banco de dados meteorológicos do PVSYST e, na ausência do local específico, determiná-lo no mapa global do banco de dados do PVSSYTY, com o objetivo de importar os dados meteorológicos necessários à simulação da geração de eletricidade da planta, conforme figuras 15 e 16.

Figura 14 – Determinação do tipo do projeto



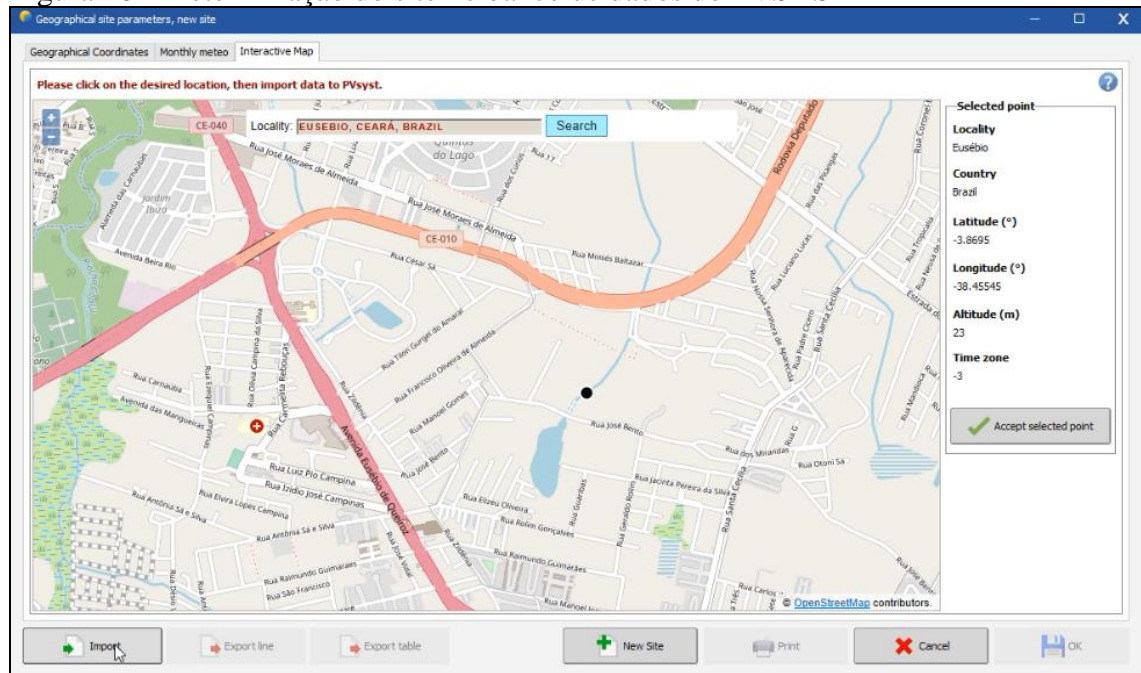
Fonte: PVSYST.

Figura 15 – Seleção do site no banco de dados do PVSYST



Fonte: PVSYST.

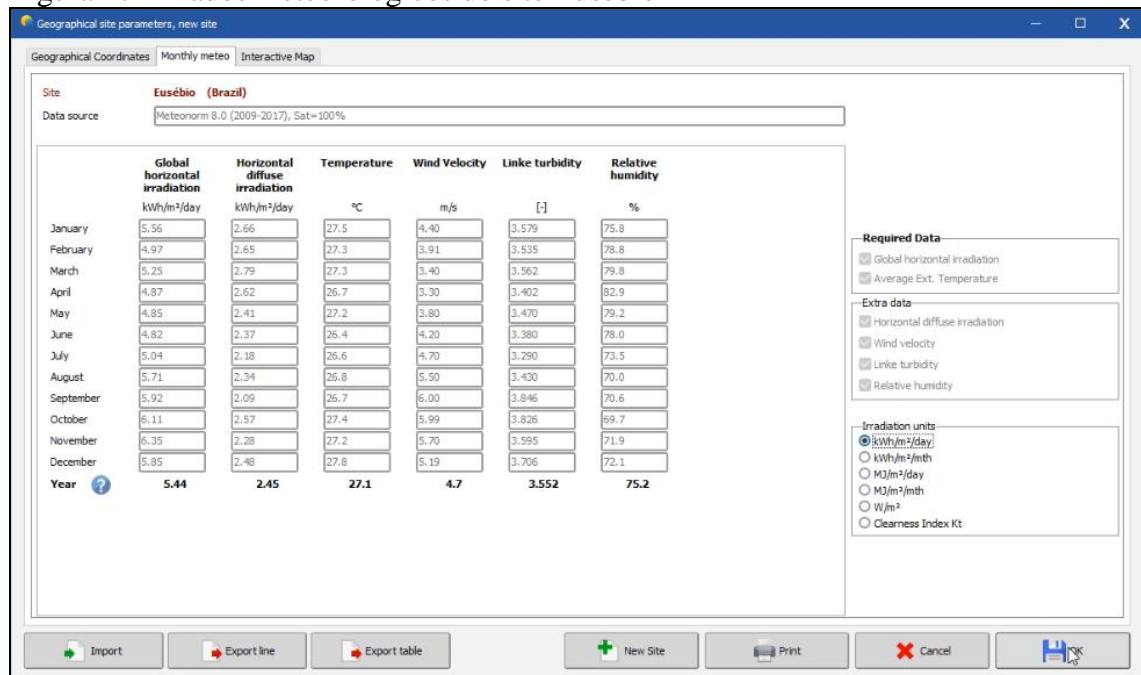
Figura 16 – Determinação do site no banco de dados do PVSYS



Fonte: PVSYS.

Após a determinação do site no PVSYS, tem-se os dados meteorológicos necessários para a simulação de geração de eletricidade, conforme figura 17.

Figura 17 – Dados meteorológicos do site Eusebio



Fonte: PVSYS.

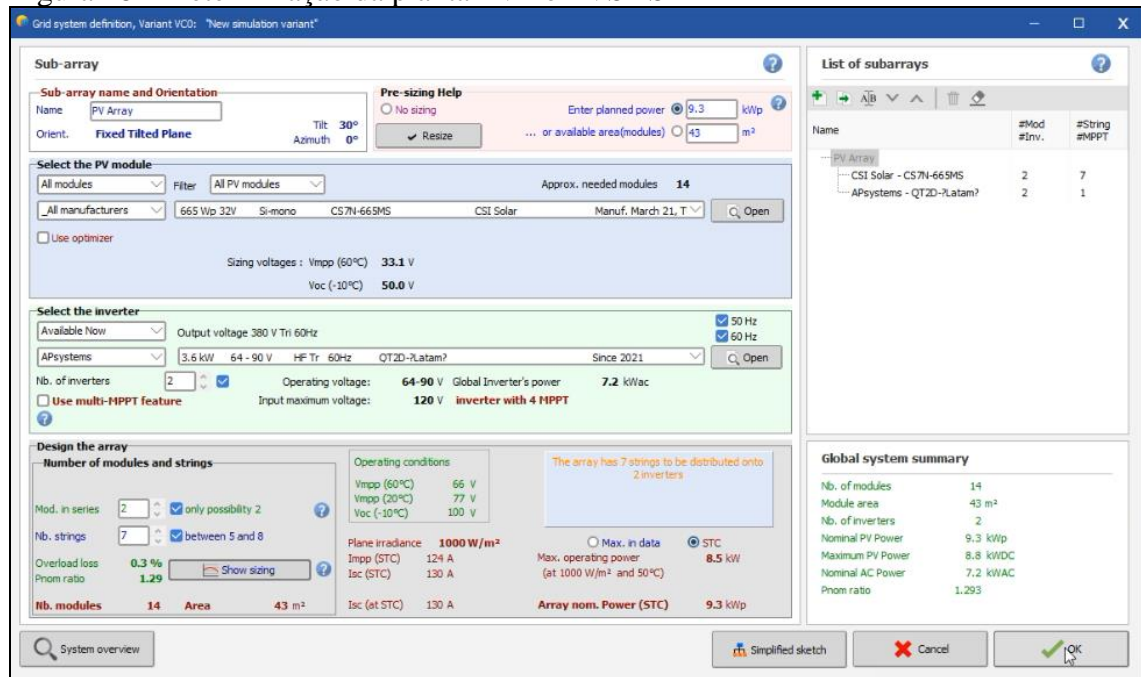
Com o uso do PVSYST é determinada a planta FV da UF e a estimativa de geração de eletricidade média mensal. Para obter a estimativa de consumo da casa padrão, tomou-se como base a tabela elaborada pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético, encontrada no endereço <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D> (ANEXO A).

A partir da estimativa dos aparelhos existentes na UF, bem como seu uso ao longo de um mês, chega-se ao consumo médio mensal hipotético da UF de 1.158 kWh. Este é o valor da geração mínima mensal de eletricidade que a planta da UF necessita para zerar o fluxo médio de eletricidade junto à distribuidora de eletricidade, e usufruir da política vigente do SCEE.

4.8 Elaboração do projeto da planta FV

Mediante a necessidade de geração mensal de eletricidade de 1.158 kWh, com uso do PVSYST é determinada a planta de 9,31 kWp. A planta é composta de 14 Módulos FV, modelo CS7N-665MS, acoplados a dois micros inversores modelo QT2D-380, com uma área total de 43,5 m². O PVSYST simula a geração de eletricidade da planta após a inserção dos parâmetros necessários e em conformidade com o nível de operação dos equipamentos selecionados, conforme figura 18.

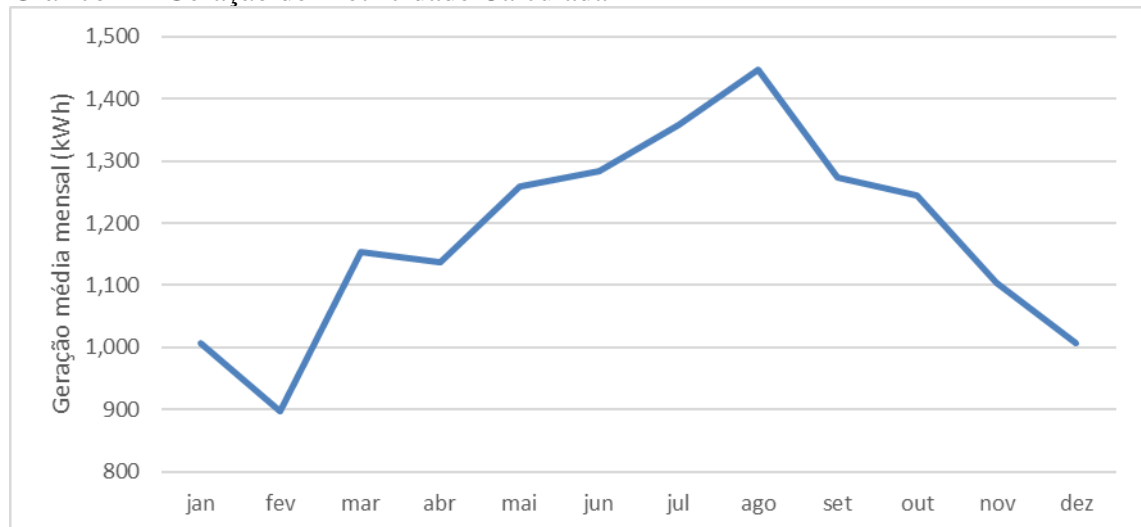
Figura 18 – Determinação da planta FV no PVSYS



Fonte: PVSYS.

Através do PVSYS é calculada para a planta FV de 9,31 kWp uma geração anual de energia elétrica de 14.379 kWh/ano, equivalendo a uma média de 1.198 kWh/mês (APÊNDICE A), conforme o gráfico 1.

Gráfico 1 – Geração de Eletricidade Calculada



Fonte: O próprio autor.

4.9 Características Técnicas dos Módulos FV e Micro Inversores

Os Módulos FV utilizados são do modelo CS7N-665MS, cujas principais características técnicas são apresentadas na folha de dados (ANEXO B), e de forma resumida na tabela 6.

Tabela 6 – Características técnicas do módulo FV adotado

Parâmetro	
Potência Máxima	665 W
Tensão Máxima (Vmp)	38,5 V
Corrente Máxima (Imp)	17,28 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,6 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	18,51 A
Eficiência	21,4 %
Temperatura de Operação	-40 °C à +85 °C
Tensão Máxima do Sistema	1500 V (IEC) / 1500 V (UL)
Corrente Máxima de Proteção (Fusível)	30 A
Classificação de Operação	Classe A
Tolerância de Energia	0 à +10 W
Certificado do INMETRO	001188/2021

Fonte: Folha de Dados técnicos do Módulo FV CS7N-665MS.

Os micros inversores trifásicos utilizados são do modelo QT2D/ 380 V 3PH / 3.600 W, cujas principais características técnicas são apresentadas na folha de dados (ANEXO C) e de forma resumida na Tabela 7.

Tabela 7 – Características técnicas do Inversor adotado

Parâmetro	
Potência de Entrada Máxima/módulo (CC)	315 Wp - 670 Wp
Tensão de Entrada Máxima (CC)	120 Vcc
Faixa de Operação SPMP (MPPT)	64 Vcc à 110 Vcc
Tensão CC de Partida	52 Vcc
Corrente CC Máxima	4 X 20 A
Número de Strings	8
Potência CA Nominal	3.600 W
Corrente CA Máxima	5,45 A x 3
Saída Nominal CA (Ajuste)	305 V - 478 Vca
Faixa de Frequência Ajustável	55 Hz – 65 Hz
Fator de Potência	> 0,99
Eficiência Máxima Europeia	97 %
Proteção de Anti-Ilhamento	Sim
Grau de Proteção	IP67
Certificado do INMETRO	002411/2022

Fonte: Folha de Dados técnicos do Microinversor QT2D-380.

4.10 Composição da planta FV

A planta é composta pelo arranjo dos 14 módulos instalados conforme figura 19, conjunto de 2 micro inversores com potência unitária de 3.600 W, e potência elétrica máxima para o arranjo de 7.200 W, cabeamento CA, cabeamento CC e quadro geral de distribuição (QGBT), cuja injeção da eletricidade gerada é realizada nas três fases de alimentação da instalação no ponto de conexão, conforme diagrama unifilar apresentado na figura 20. A planta está na categoria de microgeração distribuída e cadastrada na modalidade de participação no SCEE de autoconsumo local.

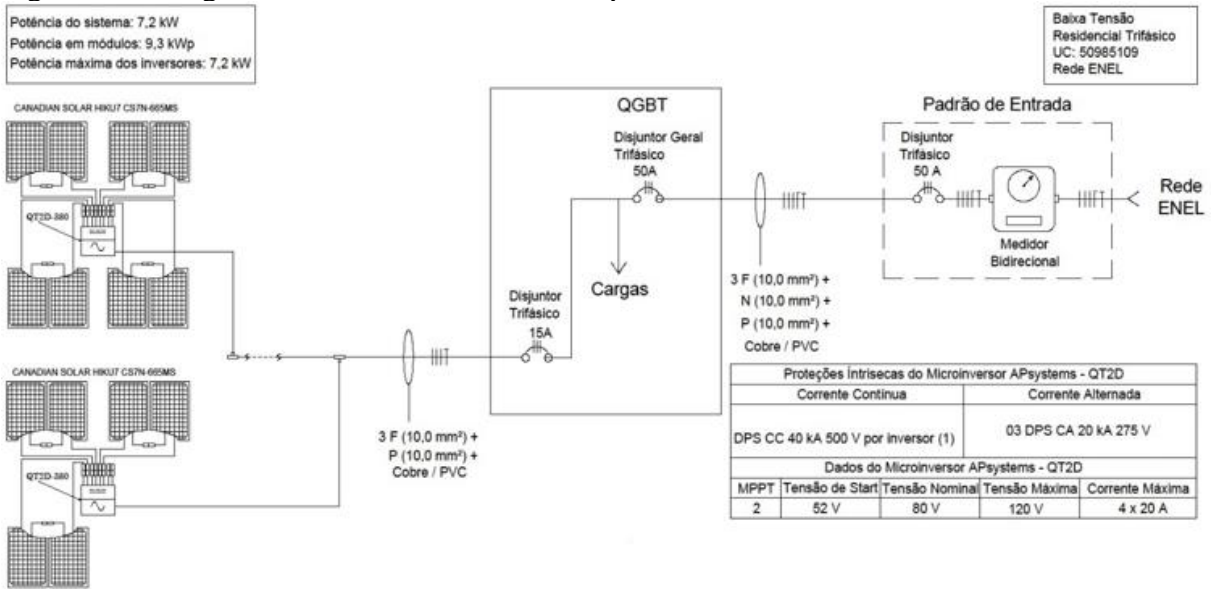
O custo do kit instalado para a casa padrão do Condomínio foi coletado em março de 2023, com valor estimado de R\$ 40.000,00 (quarenta mil reais). Tomando-se como base esses parâmetros, é possível realizar a estimativa dos valores para os diferentes cenários de participação (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) do Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2.

Figura 19 – Arranjo dos módulos FV instalados na UF



Fonte: O próprio autor.

Figura 20 – Diagrama unifilar do SFV 9,31 kWp da UF



Fonte: O próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de analisar a viabilidade financeira de uma CE para Condomínio, esta seção mostra os resultados obtidos através de uma casa padrão de uma UF com consumo hipotético mensal. Os dados unitários obtidos são extrapolados para uma CE em diferentes cenários de participação (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) do número de UF do Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2.

Realizado o levantamento dos dados técnicos para a casa padrão e com o auxílio do PVSYST, obtém-se os resultados da tabela 8.

Tabela 8 – Resultados obtidos para uma UF

Número de UF	1
Potência do SFV de uma UF	9,31 Kw
Consumo mês UF	1.158 kWh/mês
Geração média mensal calculada	1.198 kWh/mês
Saldo de geração	40 kWh/mês
Área ocupada pelos módulos	43,5 m ²
Investimento estimado do SFV	R\$ 40.000,00

Fonte: O próprio autor.

Conforme apresentado na tabela 8, a UF tem consumo mensal de 1.158 kWh, e a planta FV de 9,31 kWp tem uma média mensal de geração de 1.198 kWh, proporcionando um saldo mensal de 40 kWh.

Realizado o levantamento dos Resultados para os diferentes cenários de adesão à comunidade de energia, obtém-se a tabela 9.

De modo análogo ao dimensionado para uma UF, a tabela 9 apresenta os resultados para os diversos cenários de participação (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) do Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2. Importante destacar que os resultados obtidos pela contribuição de cada UF à CE atingem montantes de investimento e área imobilizada equivalentes a grandes plantas FV. Pode-se verificar para os quatro níveis de participação o consumo mensal de 290 MWh, 580 MWh, 870 MWh e 1.160 MWh, respectivamente, e potências instaladas de 2.332 kWp, 4.664 kWp, 6.996 kWp e 9.329 kWp, respectivamente. Os resultados obtidos para os 4 níveis de participação à CE, ratificam o potencial de relevância que uma CE obtém de acordo com o crescimento do número de participantes em relação à capacidade de geração, à potência instalada e ao saldo de energia.

Tabela 9 – Resultados para diferentes cenários de Adesão a CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) **Dados obtidos para implementação da CE para o Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2 para 25 %, 50 %, 75 % e 100 % de adesão**

Descrição do Item	Adesão de 25 %	Adesão de 50 %	Adesão de 75 %	Adesão de 100 %
Unidades Familiares (UF)	251	501	752	1.002
Consumo total mês (kWh/mês)	290.122	580.243	870.365	1.160.486
Pot. Total KIT Solar (kWp)	2.332	4.664	6.996	9.329
Geração média mensal calculada (kWh/mês)	300.162	600.323	900.485	1.200.647
Saldo de geração (kWh/mês)	10.040	20.080	30.120	40.160
Área ocupada pelos módulos (m ²)	10.897	21.794	32.690	43.587
Investimento Necessário (R\$)	10.020.000	20.040.000	30.060.000	40.080.000

Fonte: O próprio autor.

5.1 Análise da Viabilidade Financeira de uma CE para o Condomínio

A decisão de fazer ou não um investimento depende de vários fatores que determinam a sua viabilidade, os critérios financeiros devem ser levados em consideração para a tomada de decisão. Nesta seção são verificados alguns fatores que impactam na viabilidade financeira do investimento da CE para condomínio com base nas regras atuais do SCEE.

A regulamentação da GD no Brasil, através da Lei nº 14.300, estabeleceu mudanças no sistema SCEE para o excedente de energia que é injetado na rede da distribuidora, e entrou em vigor a partir de 07 de janeiro de 2023. Para unidades que entraram com o processo de homologação junto a concessionária para as unidades de MMGD, até o dia 06 de janeiro de 2023, têm direito adquirido até 31 de dezembro de 2045 de permanecerem nas regras do SCEE anterior à Lei nº 14.300.

Para o estudo de caso da CE, as unidades consumidoras são residências do grupo tarifário B1 da concessionária ENEL Ceará com tarifa de 743,73 R\$ / MWh (ENEL, 2023). Para o grupo tarifário B1, de janeiro de 2023 até dezembro de 2028, será cobrada de forma gradual a Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) relativo ao Fio B, conforme Tabela 10. O valor referente ao Fio B é uma componente da TUSD referente aos custos de operação e manutenção do serviço de distribuição. Para a concessionária ENEL Ceará, o Fio B em 2023 é de R\$ 286,95 / MWh, representando neste caso 38,6 % da tarifa de energia (ANEEL, 2023).

Tabela 10 – Cobrança gradual do Fio B

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
15 % do Fio B	30 % do Fio B	45 % do Fio B	60 % do Fio B	75 % do Fio B	90 % do Fio B	Nova Regra

Fonte: Lei nº 14.300.

Após 2028, período de transição da cobrança gradativa do Fio B, a ANEEL estabelecerá novas regras de tarifação para as unidades integrantes do SCEE em MMGD.

A TUSD Fio B incide apenas no montante da energia injetada na rede de distribuição, e é um valor absoluto calculado pelas concessionárias anualmente e validado pela ANEEL (CANAL SOLAR, 2022). A parcela da energia que é consumida simultaneamente ao momento da geração não sofre os impactos da tarifação, e passa a ser um fator determinante para que um projeto em GD seja mais ou menos atrativo.

Para realizar a análise da viabilidade financeira do investimento, toma-se como balizador uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que auxilia a decidir em investir no projeto ou no mercado de capitais. Para decisão do investimento, utilizam-se alguns critérios de análise de atratividade do projeto por meio do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e o período de recuperação do investimento ou *payback* (ALLEN, 2013), conforme tabela 11.

Tabela 11 – Critérios de análise de atratividade do projeto

Critério	Definição	Critério de Viabilidade
TMA	É o custo de oportunidade (Rendimentos de poupança ou rendimentos de títulos do tesouro nacional)	O retorno do projeto deve ser mais rentável do que o mercado de capitais ($TIR > TMA$)
VPL	A diferença entre o valor de um projeto e o seu custo é o Valor Presente Líquido (VPL)	Deve investir se o $VPL > 0$
TIR	É a taxa de desconto que torna o VPL igual a zero.	$TIR > TMA$
<i>Payback</i>	Tempo em anos necessário para que os fluxos de caixa acumulados estimáveis se igualem ao montante do investimento inicial.	<i>Payback</i> < período-limite especificado

Fonte: (ALLEN, 2013).

Para verificar a viabilidade do investimento em relação ao mercado de Capitais, é utilizada uma TMA igual a taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) praticada no primeiro semestre de 2023 de 13,75 %, coletada do histórico das taxas de juros básicos emitido pelo Comitê de Política Monetária (COPOM) (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2023b). É utilizado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), para prever a inflação durante a vida útil da planta FV. De acordo com o relatório FOCUS do Banco Central do Brasil, do dia 02 de junho de 2023, a projeção do IPCA para os anos de

2023, 2024, 2025 e 2026 é de 5,69 %, 4,12 %, 4 % e 4 %, respectivamente (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2023a). O IPCA anual impacta nos custos de Operação e Manutenção (O & M), bem como no reajuste da tarifa. Será adotada a média geométrica do IPCA para o período de 2023 a 2026, resultante de 4,4 % para os cálculos dos reajustes.

5.2 Premissas para a Análise da Viabilidade Financeira da CE

- a) Unidade consumidora do grupo B1- convencional – residencial – trifásico;
- b) microgeração com autoconsumo local e fator de simultaneidade de 52 %;
- c) despesas com O&M de 1 % ao ano do investimento inicial do SFV;
- d) incidência de PIS/ COFINS 4,87 % e ICMSS de 20 %;
- e) TMA igual a SELIC de 13,75 %;
- f) taxas de iluminação pública e bandeiras tarifárias não apreciadas para o custo da energia;
- g) redução de produtividade dos módulos FV de 2 % no primeiro ano, e 0,5 % nos demais;
- h) vida útil da planta FV de 25 anos;
- i) início da operação da Usina em janeiro de 2024;
- j) todo investimento realizado no ano 0;
- k) análise do Fluxo de caixa para 25 anos;
- l) reajuste da tarifa conforme a previsão do IPCA de 4,4 %;
- m) investimento do sistema SFV de R\$ 40.000,00.

O fluxo de caixa do projeto é considerado para o período de vida útil com o objetivo de obter a resposta de todas as variáveis de análise financeira. Os investimentos ou *Capital Expenditure* (CAPEX) são os valores necessários para aquisição dos equipamentos e instalação de toda planta, as receitas consideradas são os valores economizados com energia ao longo do ano, calculadas pelo produto da eletricidade gerada ao longo do ano pela tarifa aplicada, O&M representa todos os custos de operação e manutenção da planta ao longo de sua vida útil, e impostos representa as alíquotas de PINS/COFINS e ICMS aplicadas, conforme tabela 12.

Tabela 12 – Configuração do fluxo de caixa do projeto

Ano	0	1	2	3	4	...	25
		Receita	Receita	Receita	Receita		Receita
Fluxo de caixa	- Investimentos	- impostos	- impostos	- impostos	- impostos	...	- impostos
		- O&M	- O&M	- O&M	- O&M		- O&M

Fonte: O próprio autor.

A economia alcançada com a energia injetada é referenciada pelo valor total da tarifa de energia. A economia de toda energia consumida no período de simultaneidade é compensada de forma integral, enquanto para a compensada fora desse horário é considerado a TUSD Fio B. A tabela 13 contém os valores da tarifa e geração e a tabela 14 as saídas do fluxo de caixa referente a uma UF.

Conforme apresentado na tabela 13, na coluna da tarifa de energia aplicada a UF, o valor é de R\$ 0,92 para o ano de 2023, reajustado anualmente com o IPCA para os 25 anos de vida útil previsto para a planta. Na coluna da tarifa de compensação de energia são apresentados os valores de compensação segundo o Artigo 27 da Lei nº 14.300, referentes aos percentuais das componentes tarifárias relativas ao Fio B, apresentados na tabela 10. Após 2029, aplicou-se o valor de 90 % da TUSD Fio B. No tocante à coluna de geração anual, deve-se considerar a degradação dos módulos apresentados na alínea g do item 5.5.

Tabela 13 – Tarifas e Geração de eletricidade para a UF

Ano	Tarifa de Energia da UF (R\$/kWh)	Tarifa de Compensação (R\$/kWh)	Geração anual (kWh/ano)
0	R\$ 0,92	R\$ 0,92	0,00
1	R\$ 0,96	R\$ 0,87	14.379,00
2	R\$ 1,00	R\$ 0,86	14.091,42
3	R\$ 1,05	R\$ 0,85	14.020,96
4	R\$ 1,09	R\$ 0,83	13.950,86
5	R\$ 1,14	R\$ 0,82	13.881,10
6	R\$ 1,19	R\$ 0,86	13.811,70
7	R\$ 1,24	R\$ 0,89	13.742,64
8	R\$ 1,30	R\$ 0,93	13.673,93
9	R\$ 1,36	R\$ 0,97	13.605,56
10	R\$ 1,42	R\$ 1,02	13.537,53
11	R\$ 1,48	R\$ 1,06	13.469,84
12	R\$ 1,54	R\$ 1,11	13.402,49
13	R\$ 1,61	R\$ 1,16	13.335,48
14	R\$ 1,68	R\$ 1,21	13.268,80
15	R\$ 1,76	R\$ 1,26	13.202,46
16	R\$ 1,83	R\$ 1,32	13.136,45
17	R\$ 1,91	R\$ 1,38	13.070,76
18	R\$ 2,00	R\$ 1,44	13.005,41
19	R\$ 2,08	R\$ 1,50	12.940,38
20	R\$ 2,18	R\$ 1,57	12.875,68
21	R\$ 2,27	R\$ 1,63	12.811,30
22	R\$ 2,37	R\$ 1,71	12.747,25
23	R\$ 2,48	R\$ 1,78	12.683,51

24	R\$ 2,59	R\$ 1,86	12.620,09
25	R\$ 2,70	R\$ 1,94	12.556,99

Fonte: O próprio autor.

Conforme a tabela 14, é apresentado o fluxo de caixa da planta FV com os valores referentes à economia obtida com a compensação, utilizando a regra de transição da TUSD Fio B, os valores referentes à economia obtida pela simultaneidade de geração de 52 % adotada para o projeto. No fluxo de caixa do projeto, a economia com a energia compensada mediante a regra de transição, mais a compensada pela simultaneidade, resultou em R\$ 485.504,62. Embora a simultaneidade seja de 52 %, a economia total compensada pela simultaneidade representa 60 % do total em função da não incidência da TUSD Fio B.

Tabela 14 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado para a UF

Ano	Economia obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 40.000,00	-R\$ 40.000,00
1	R\$ 6.007,98	R\$ 7.181,59	-R\$ 417,60	R\$ 12.771,97
2	R\$ 5.835,48	R\$ 7.347,62	-R\$ 435,97	R\$ 12.747,13
3	R\$ 5.699,43	R\$ 7.632,56	-R\$ 455,16	R\$ 12.876,84
4	R\$ 5.577,60	R\$ 7.928,56	-R\$ 475,18	R\$ 13.030,97
5	R\$ 5.470,35	R\$ 8.236,03	-R\$ 496,09	R\$ 13.210,28
6	R\$ 5.701,47	R\$ 8.555,42	-R\$ 517,92	R\$ 13.738,97
7	R\$ 5.870,86	R\$ 8.887,20	-R\$ 540,71	R\$ 14.217,34
8	R\$ 6.104,04	R\$ 9.231,84	-R\$ 564,50	R\$ 14.771,38
9	R\$ 6.334,75	R\$ 9.589,85	-R\$ 589,34	R\$ 15.335,26
10	R\$ 6.627,97	R\$ 9.961,75	-R\$ 615,27	R\$ 15.974,45
11	R\$ 6.853,46	R\$ 10.348,06	-R\$ 642,34	R\$ 16.559,18
12	R\$ 7.140,85	R\$ 10.749,36	-R\$ 670,60	R\$ 17.219,61
13	R\$ 7.425,20	R\$ 11.166,22	-R\$ 700,11	R\$ 17.891,31
14	R\$ 7.706,52	R\$ 11.599,25	-R\$ 730,92	R\$ 18.574,85
15	R\$ 7.984,85	R\$ 12.049,07	-R\$ 763,08	R\$ 19.270,84
16	R\$ 8.323,25	R\$ 12.516,33	-R\$ 796,65	R\$ 20.042,93
17	R\$ 8.658,07	R\$ 13.001,71	-R\$ 831,70	R\$ 20.828,08
18	R\$ 8.989,34	R\$ 13.505,92	-R\$ 868,30	R\$ 21.626,96
19	R\$ 9.317,08	R\$ 14.029,68	-R\$ 906,50	R\$ 22.440,25
20	R\$ 9.703,11	R\$ 14.573,75	-R\$ 946,39	R\$ 23.330,48
21	R\$ 10.023,56	R\$ 15.138,92	-R\$ 988,03	R\$ 24.174,45
22	R\$ 10.462,94	R\$ 15.726,01	-R\$ 1.031,50	R\$ 25.157,44
23	R\$ 10.836,79	R\$ 16.335,86	-R\$ 1.076,89	R\$ 26.095,76
24	R\$ 11.267,22	R\$ 16.969,37	-R\$ 1.124,27	R\$ 27.112,31
25	R\$ 11.693,07	R\$ 17.627,44	-R\$ 1.173,74	R\$ 28.146,77
	R\$ 195.615,23	R\$ 289.889,38	-R\$ 58.358,78	R\$ 427.145,84

Fonte: O próprio autor.

Nas Tabelas 15, 16, 17 e 18, respectivamente, são apresentados os fluxos de caixas dos diferentes cenários de adesão à CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) do Condomínio Alphaville Ceará 1 e 2.

Tabela 15 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 25 %

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 10.020.000,00	-R\$ 10.020.000,00
1	R\$ 1.504.999,82	R\$ 1.798.987,24	-R\$ 104.608,80	R\$ 3.199.378,26
2	R\$ 1.461.787,44	R\$ 1.840.579,83	-R\$ 109.211,59	R\$ 3.193.155,68
3	R\$ 1.427.707,74	R\$ 1.911.957,51	-R\$ 114.016,90	R\$ 3.225.648,36
4	R\$ 1.397.188,75	R\$ 1.986.103,23	-R\$ 119.033,64	R\$ 3.264.258,33
5	R\$ 1.370.321,98	R\$ 2.063.124,31	-R\$ 124.271,12	R\$ 3.309.175,17
6	R\$ 1.428.218,00	R\$ 2.143.132,27	-R\$ 129.739,05	R\$ 3.441.611,22
7	R\$ 1.470.649,36	R\$ 2.226.242,94	-R\$ 135.447,57	R\$ 3.561.444,73

Fonte: O próprio autor.

Tabela 15 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 25 % (continuação)

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
8	R\$ 1.529.062,23	R\$ 2.312.576,64	-R\$ 141.407,26	R\$ 3.700.231,61
9	R\$ 1.586.854,20	R\$ 2.402.258,36	-R\$ 147.629,18	R\$ 3.841.483,38
10	R\$ 1.660.307,56	R\$ 2.495.417,94	-R\$ 154.124,86	R\$ 4.001.600,63
11	R\$ 1.716.790,57	R\$ 2.592.190,25	-R\$ 160.906,36	R\$ 4.148.074,46
12	R\$ 1.788.782,40	R\$ 2.692.715,39	-R\$ 167.986,24	R\$ 4.313.511,55
13	R\$ 1.860.011,39	R\$ 2.797.138,89	-R\$ 175.377,63	R\$ 4.481.772,65
14	R\$ 1.930.483,38	R\$ 2.905.611,94	-R\$ 183.094,25	R\$ 4.653.001,06
15	R\$ 2.000.204,14	R\$ 3.018.291,57	-R\$ 191.150,40	R\$ 4.827.345,31
16	R\$ 2.084.974,70	R\$ 3.135.340,91	-R\$ 199.561,01	R\$ 5.020.754,60
17	R\$ 2.168.847,54	R\$ 3.256.929,43	-R\$ 208.341,70	R\$ 5.217.435,28
18	R\$ 2.251.829,53	R\$ 3.383.233,16	-R\$ 217.508,73	R\$ 5.417.553,96
19	R\$ 2.333.927,49	R\$ 3.514.434,94	-R\$ 227.079,12	R\$ 5.621.283,31
20	R\$ 2.430.629,88	R\$ 3.650.724,73	-R\$ 237.070,60	R\$ 5.844.284,01
21	R\$ 2.510.902,60	R\$ 3.792.299,83	-R\$ 247.501,70	R\$ 6.055.700,72
22	R\$ 2.620.966,39	R\$ 3.939.365,22	-R\$ 258.391,78	R\$ 6.301.939,83
23	R\$ 2.714.616,13	R\$ 4.092.133,80	-R\$ 269.761,02	R\$ 6.536.988,91
24	R\$ 2.822.438,24	R\$ 4.250.826,75	-R\$ 281.630,50	R\$ 6.791.634,49
25	R\$ 2.929.114,27	R\$ 4.415.673,81	-R\$ 294.022,24	R\$ 7.050.765,83
	R\$ 49.001.615,72	R\$ 72.617.290,89	-R\$ 14.618.873,25	R\$ 107.000.033,35

Fonte: O próprio autor.

Tabela 16 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 50 %

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 20.040.000,00	-R\$ 20.040.000,00

1	R\$ 3.009.999,64	R\$ 3.597.974,48	-R\$ 209.217,60	R\$ 6.398.756,53
2	R\$ 2.923.574,87	R\$ 3.681.159,66	-R\$ 218.423,17	R\$ 6.386.311,35
3	R\$ 2.855.415,49	R\$ 3.823.915,03	-R\$ 228.033,79	R\$ 6.451.296,72
4	R\$ 2.794.377,50	R\$ 3.972.206,45	-R\$ 238.067,28	R\$ 6.528.516,67
5	R\$ 2.740.643,97	R\$ 4.126.248,62	-R\$ 248.542,24	R\$ 6.618.350,34
6	R\$ 2.856.435,99	R\$ 4.286.264,54	-R\$ 259.478,10	R\$ 6.883.222,43
7	R\$ 2.941.298,71	R\$ 4.452.485,88	-R\$ 270.895,14	R\$ 7.122.889,45
8	R\$ 3.058.124,45	R\$ 4.625.153,28	-R\$ 282.814,52	R\$ 7.400.463,21
9	R\$ 3.173.708,41	R\$ 4.804.516,72	-R\$ 295.258,36	R\$ 7.682.966,77
10	R\$ 3.320.615,11	R\$ 4.990.835,88	-R\$ 308.249,73	R\$ 8.003.201,27
11	R\$ 3.433.581,14	R\$ 5.184.380,50	-R\$ 321.812,72	R\$ 8.296.148,92
12	R\$ 3.577.564,80	R\$ 5.385.430,77	-R\$ 335.972,48	R\$ 8.627.023,10
13	R\$ 3.720.022,79	R\$ 5.594.277,78	-R\$ 350.755,27	R\$ 8.963.545,30
14	R\$ 3.860.966,75	R\$ 5.811.223,87	-R\$ 366.188,50	R\$ 9.306.002,13
15	R\$ 4.000.408,28	R\$ 6.036.583,13	-R\$ 382.300,79	R\$ 9.654.690,62
16	R\$ 4.169.949,39	R\$ 6.270.681,83	-R\$ 399.122,03	R\$ 10.041.509,19
17	R\$ 4.337.695,08	R\$ 6.513.858,87	-R\$ 416.683,40	R\$ 10.434.870,56
18	R\$ 4.503.659,07	R\$ 6.766.466,32	-R\$ 435.017,46	R\$ 10.835.107,92

Fonte: O próprio autor.

Tabela 16 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 50 % (continuação)

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
19	R\$ 4.667.854,97	R\$ 7.028.869,88	-R\$ 454.158,23	R\$ 11.242.566,62
20	R\$ 4.861.259,76	R\$ 7.301.449,45	-R\$ 474.141,20	R\$ 11.688.568,02
21	R\$ 5.021.805,19	R\$ 7.584.599,66	-R\$ 495.003,41	R\$ 12.111.401,44
22	R\$ 5.241.932,79	R\$ 7.878.730,44	-R\$ 516.783,56	R\$ 12.603.879,67
23	R\$ 5.429.232,26	R\$ 8.184.267,60	-R\$ 539.522,03	R\$ 13.073.977,83
24	R\$ 5.644.876,48	R\$ 8.501.653,50	-R\$ 563.261,00	R\$ 13.583.268,98
25	R\$ 5.858.228,53	R\$ 8.831.347,62	-R\$ 588.044,49	R\$ 14.101.531,67
	R\$ 98.003.231,44	R\$ 145.234.581,77	-R\$ 29.237.746,50	R\$ 214.000.066,71

Fonte: O próprio autor.

Tabela 17 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 75 %

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 30.060.000,00	-R\$ 30.060.000,00
1	R\$ 4.514.999,47	R\$ 5.396.961,73	-R\$ 313.826,40	R\$ 9.598.134,79
2	R\$ 4.385.362,31	R\$ 5.521.739,48	-R\$ 327.634,76	R\$ 9.579.467,03
3	R\$ 4.283.123,23	R\$ 5.735.872,54	-R\$ 342.050,69	R\$ 9.676.945,08
4	R\$ 4.191.566,25	R\$ 5.958.309,68	-R\$ 357.100,92	R\$ 9.792.775,00
5	R\$ 4.110.965,95	R\$ 6.189.372,93	-R\$ 372.813,36	R\$ 9.927.525,52
6	R\$ 4.284.653,99	R\$ 6.429.396,81	-R\$ 389.217,15	R\$ 10.324.833,65
7	R\$ 4.411.948,07	R\$ 6.678.728,82	-R\$ 406.342,70	R\$ 10.684.334,18
8	R\$ 4.587.186,68	R\$ 6.937.729,92	-R\$ 424.221,78	R\$ 11.100.694,82
9	R\$ 4.760.562,61	R\$ 7.206.775,09	-R\$ 442.887,54	R\$ 11.524.450,15
10	R\$ 4.980.922,67	R\$ 7.486.253,82	-R\$ 462.374,59	R\$ 12.004.801,90

11	R\$ 5.150.371,71	R\$ 7.776.570,75	-R\$ 482.719,08	R\$ 12.444.223,38
12	R\$ 5.366.347,20	R\$ 8.078.146,16	-R\$ 503.958,72	R\$ 12.940.534,65
13	R\$ 5.580.034,18	R\$ 8.391.416,67	-R\$ 526.132,90	R\$ 13.445.317,95
14	R\$ 5.791.450,13	R\$ 8.716.835,81	-R\$ 549.282,75	R\$ 13.959.003,19
15	R\$ 6.000.612,42	R\$ 9.054.874,70	-R\$ 573.451,19	R\$ 14.482.035,93
16	R\$ 6.254.924,09	R\$ 9.406.022,74	-R\$ 598.683,04	R\$ 15.062.263,79
17	R\$ 6.506.542,63	R\$ 9.770.788,30	-R\$ 625.025,09	R\$ 15.652.305,84
18	R\$ 6.755.488,60	R\$ 10.149.699,47	-R\$ 652.526,20	R\$ 16.252.661,88
19	R\$ 7.001.782,46	R\$ 10.543.304,82	-R\$ 681.237,35	R\$ 16.863.849,93
20	R\$ 7.291.889,65	R\$ 10.952.174,18	-R\$ 711.211,79	R\$ 17.532.852,03
21	R\$ 7.532.707,79	R\$ 11.376.899,49	-R\$ 742.505,11	R\$ 18.167.102,17
22	R\$ 7.862.899,18	R\$ 11.818.095,66	-R\$ 775.175,34	R\$ 18.905.819,50
23	R\$ 8.143.848,38	R\$ 12.276.401,41	-R\$ 809.283,05	R\$ 19.610.966,74
24	R\$ 8.467.314,72	R\$ 12.752.480,25	-R\$ 844.891,51	R\$ 20.374.903,47
25	R\$ 8.787.342,80	R\$ 13.247.021,44	-R\$ 882.066,73	R\$ 21.152.297,50
	R\$ 147.004.847,15	R\$ 217.851.872,66	-R\$ 43.856.619,75	R\$ 321.000.100,06

Fonte: O próprio autor.

Tabela 18 – Fluxo de caixa do investimento para o período analisado com adesão de 100 %

Ano	Economia Obtida com a compensação	Economia obtida com a simultaneidade	Capex + O&M	Fluxo de caixa
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-R\$ 40.080.000,00	-R\$ 40.080.000,00
1	R\$ 6.019.999,29	R\$ 7.195.948,97	-R\$ 418.435,20	R\$ 12.797.513,06
2	R\$ 5.847.149,74	R\$ 7.362.319,31	-R\$ 436.846,35	R\$ 12.772.622,71
3	R\$ 5.710.830,97	R\$ 7.647.830,05	-R\$ 456.067,59	R\$ 12.902.593,44
4	R\$ 5.588.754,99	R\$ 7.944.412,90	-R\$ 476.134,56	R\$ 13.057.033,33
5	R\$ 5.481.287,94	R\$ 8.252.497,23	-R\$ 497.084,48	R\$ 13.236.700,69
6	R\$ 5.712.871,99	R\$ 8.572.529,08	-R\$ 518.956,20	R\$ 13.766.444,86
7	R\$ 5.882.597,43	R\$ 8.904.971,76	-R\$ 541.790,27	R\$ 14.245.778,91
8	R\$ 6.116.248,91	R\$ 9.250.306,56	-R\$ 565.629,04	R\$ 14.800.926,42
9	R\$ 6.347.416,81	R\$ 9.609.033,45	-R\$ 590.516,72	R\$ 15.365.933,54
10	R\$ 6.641.230,23	R\$ 9.981.671,77	-R\$ 616.499,46	R\$ 16.006.402,54
11	R\$ 6.867.162,28	R\$ 10.368.761,00	-R\$ 643.625,43	R\$ 16.592.297,84
12	R\$ 7.155.129,60	R\$ 10.770.861,55	-R\$ 671.944,95	R\$ 17.254.046,20
13	R\$ 7.440.045,57	R\$ 11.188.555,56	-R\$ 701.510,53	R\$ 17.927.090,60
14	R\$ 7.721.933,51	R\$ 11.622.447,74	-R\$ 732.377,00	R\$ 18.612.004,25
15	R\$ 8.000.816,56	R\$ 12.073.166,27	-R\$ 764.601,58	R\$ 19.309.381,24
16	R\$ 8.339.898,78	R\$ 12.541.363,65	-R\$ 798.244,05	R\$ 20.083.018,39
17	R\$ 8.675.390,17	R\$ 13.027.717,74	-R\$ 833.366,79	R\$ 20.869.741,11
18	R\$ 9.007.318,14	R\$ 13.532.932,63	-R\$ 870.034,93	R\$ 21.670.215,84
19	R\$ 9.335.709,95	R\$ 14.057.739,76	-R\$ 908.316,47	R\$ 22.485.133,24
20	R\$ 9.722.519,53	R\$ 14.602.898,91	-R\$ 948.282,39	R\$ 23.377.136,04
21	R\$ 10.043.610,38	R\$ 15.169.199,33	-R\$ 990.006,82	R\$ 24.222.802,89
22	R\$ 10.483.865,57	R\$ 15.757.460,88	-R\$ 1.033.567,12	R\$ 25.207.759,33
23	R\$ 10.858.464,51	R\$ 16.368.535,21	-R\$ 1.079.044,07	R\$ 26.147.955,65
24	R\$ 11.289.752,96	R\$ 17.003.307,00	-R\$ 1.126.522,01	R\$ 27.166.537,96
25	R\$ 11.716.457,07	R\$ 17.662.695,25	-R\$ 1.176.088,98	R\$ 28.203.063,34
	R\$ 196.006.462,87	R\$ 290.469.163,54	-R\$ 58.475.493,00	R\$ 428.000.133,42

Fonte: O próprio autor.

As análises dos indicadores financeiros de viabilidade foram realizadas a partir dos fluxos de caixas mensais dos investimentos para cada nível de adesão à CE e período analisado. Foram utilizadas as regras e definições dos indicadores financeiros apresentados no item 5.4, e os cálculos realizados com auxílio do Microsoft Excel. Os resultados da análise financeira para os diferentes cenários são apresentados na tabela 19.

Tabela 19 – Indicadores financeiros obtidos do fluxo de caixa

Indicador	Uma UF	Adesão 25 %	Adesão 50 %	Adesão 75 %	Adesão 100 %
VPL	R\$ 65.550,56	R\$ 16.420.414,52	R\$ 32.840.829,04	R\$ 49.261.243,57	R\$ 65.681.658,09
TIR	34%	34%	34%	34%	34%
Payback	3,12 anos	3,12 anos	3,12 anos	3,12 anos	3,12 anos

Fonte: O próprio autor.

Como resultado da análise financeira do projeto FV da UF analisada, apresenta-se um *payback* de 3,12 anos e uma TIR de 34 % > TMA de 13,75 %, indicando que o projeto é mais rentável que o custo de oportunidade do mercado financeiro. O VPL positivo de R\$ 65.550,56 é um indicador que o projeto é viável. Os resultados para os diferentes cenários de adesão à CE (25 %, 50 %, 75 % e 100 %) para a TIR e *payback* da análise financeira se repetem, e o VPL se mantém positivo, indicando a viabilidade para todos os cenários analisados.

6 CONCLUSÕES

Na presente dissertação é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia e estudo de caso de uma CE para condomínios como alternativa financeira atrativa para a redução dos custos com eletricidade. As CE desempenham um papel fundamental no cumprimento dos ODS ao promoverem a geração de energia renovável e a eficiência energética, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a redução das mudanças climáticas e a transição para um modelo energético mais limpo e sustentável. A CE colabora na descentralização da matriz elétrica, e quando estruturada em VPP atua decisivamente na comercialização da energia dos integrantes. Com o uso da RI é possível o controle de resposta à demanda, contribuindo para o balanço de oferta-demanda de energia na rede de distribuição. É imprescindível a atualização permanente das normas para que o prosumidor participe ativamente do desenvolvimento do mercado de energia.

As comunidades de energia estão intrinsecamente ligadas aos princípios do ESG, pois promovem a sustentabilidade ambiental, a inclusão social e a governança participativa. Essas práticas são essenciais para a construção de um futuro mais justo e sustentável, com energia limpa e renovável acessível a todos de modo a contribuir para a melhoria da qualidade de vida das comunidades. De acordo com resultados apresentados, o potencial de ganhos da CE do Condomínio Residencial Alphaville Ceará I e II possibilita o compartilhamento de toda eletricidade gerada pela CE, atendendo cada UF de acordo com sua necessidade. Para uma UF com consumo médio mensal hipotético de 1.158 kWh, foi projetado através do PVSYSY uma planta de 9,31 kWp, com 14 módulos FV, com área necessária de 43,5 m², e geração mensal de 1.198 kWh. Importante destacar que os resultados obtidos pela contribuição de cada UF à CE ao ser extrapolado para os quatro níveis de adesão à CE (25%, 50 %, 75 % e 100 %) atingem montantes de investimentos e área imobilizada equivalentes a grandes plantas FV.

Para a CE formada pelo total de UF possíveis a 100 % de adesão, verifica-se que a planta FV passa a ter 9.329 kWp, gerando no mês 1.200.647 kWh. Estruturado em CE toda geração excedente de uma UF, pode ser comercializada entre os membros ou até mesmo para o mercado externo. A análise financeira demonstra viabilidade da planta FV de uma UF e de modo análogo para os quatros níveis de extrapolação realizados, apresentando para todas as análises um VPL positivo, *payback* de 3,12 anos e uma TIR de 34 % > TMA adotada de 13,75 %.

Diante dos resultados expostos, a inclusão das CE para condomínios no panorama energético se caracteriza como proposta viável financeiramente, além de contribuir para uma transição energética consciente e sustentável.

ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O MESTRADO

- **Em áreas afins a fotovoltaica**

SILVA, A. W. B. *et al.* Methodology Based on Artificial Neural Networks for Hourly Forecasting of PV Plants Generation. **IEEE Latin America Transactions**, v. 20, n. 4, April 2022.

FERREIRA, G. *et al.* Análise do consumo e geração de eletricidade dos estados nordestinos entre 2006 e 2020. **Revista Brasileira de Energia**, [S. l.], v. 28, n. 1, 2022.

ARTIGOS SUBMETIDOS DURANTE O MESTRADO

- **Na linha de Pesquisa**

ARAÚJO, M. C. P. Comunidade energética como agente catalizador da transição energética - uma análise bibliométrica. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, [S. l.], 2023. b. Dia: 24/09/2023. Situação: em avaliação.

ARAÚJO, E. M. *et al.* Comunidades de energia como estratégia de desenvolvimento sustentável: estudo de caso para Condomínios no Ceará. REDE – **Revista Eletrônica do Prodema**, [S. l.], 2023.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Verificar as características técnicas, operacionais, leis e normas para se implementar uma CE em condomínios no Brasil;
- ✓ propor modelo de RI estruturada em VPP para CE em condomínios no Brasil; e
- ✓ propor estudo dos impactos de VE para CE em condomínios.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**. 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 19 maio 2023.
- ALLEN, Myers. **Finanças Corporativas**. 10. ed. [s.l.] : AMGH Editora Ltda, 2013.
- ANEEL. **Geração Distribuída**. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 29 jun. 2022.
- ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 (Prodist)**. 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>. Acesso em: 26 maio 2023.
- ANEEL. **Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas#!> Acesso em: 22 jul. 2023.
- AZAROVA, Valeriya; COHEN, Jed; FRIEDL, Christina; REICHL, Johannes. Designing local renewable energy communities to increase social acceptance: Evidence from a choice experiment in Austria, Germany, Italy, and Switzerland. **Energy Policy**, [S. l.], v. 132, p. 1176-1183, 2019.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Expectativas de Mercado 2 de junho de 2023**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/12052023>. Acesso em: 24 jul. 2023a.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de juros básicas-Histórico**. 2023b. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- BIRESSELIOGLU, Mehmet Efe; LIMONCUOGLU, Siyami Alp; DEMIR, Muhittin Hakan; REICHL, Johannes; BURGSTALLER, Katrin; SCIULLO, Alessandro; FERRERO, Edoardo. Legal provisions and market conditions for energy communities in austria, germany, greece, italy, spain, and turkey: A comparative assessment. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 13, n. 20, 2021.
- BRUMMER, Vasco. Community energy – benefits and barriers: A comparative literature review of Community Energy in the UK, Germany and the USA, the benefits it provides for society and the barriers it faces. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier Ltd, 2018.
- CANAL SOLAR. **Entendendo a Tarifação do Fio B previsto na lei 14.300**. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tarifacao-do-fio-b-previsto-na-lei-14-300/>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- CARAMIZARU, Aura; UIHLEIN, Andreas. Energy communities: an overview of energy and social innovation. **Joint Research Centre (JRC)**. [s.l.: s.n.]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119433>. Acesso em: 9 abr. 2023.
- DEMENTSHUK, Márcia. **Cooperativa de energia solar promove inovações em território paraibano – Eco Nordeste**. 2023. Disponível em:

<https://agenciaeconordeste.com.br/cooperativa-de-energia-solar-promove-inovacoes-em-territorio-paraibano/>. Acesso em: 26 fev. 2023.

DI SILVESTRE, Maria Luisa; FAVUZZA, Salvatore; RIVA SANSEVERINO, Eleonora; ZIZZO, Gaetano. How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 93, p. 483–498, 2018.

ELAT (GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA). **Por que o Brasil é o país campeão mundial em incidência de raios?** 2023. Disponível em: www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php?id=19. Acesso em: 26 fev. 2023.

ELSEVIER. **About Scopus - Abstract and citation database | Elsevier**. 2021. Disponível em: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>. Acesso em: 3 jul. 2022.

ENEL. **Tarifas Enel CE – fornecimento em baixa tensão – vigência 22/04/2023 / fornecimento em baixa tensão – vigência 22/04/2023**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html. Acesso em: 11 ago. 2023.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **BEN_Síntese_2022_PT**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 29 jun. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **The European Green Deal**. 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>. Acesso em: 4 jun. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **European Climate Law**. 2021. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>. Acesso em: 22 fev. 2023.

FENG, Tian tian; LI, Rong; ZHANG, Hui min; GONG, Xiao lei; YANG, Yi sheng. Induction mechanism and optimization of tradable green certificates and carbon emission trading acting on electricity market in China. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 169, 2021.

FRANCISCANOS. **Muçulmanos e franciscanos repetem o gesto de Francisco e o Sultão**. 2023. Disponível em: <https://franciscanos.org.br/noticias/em-sao-paulo-muculmanos-e-franciscanos-repetem-o-gesto-de-francisco-e-o-sultao.html#gsc.tab=0>. Acesso em: 1 abr. 2023.

GEELS, Frank W. **Transformative innovation and socio-technical transitions to address grand challenges**. 2020. Disponível em: <https://euagenda.eu/upload/publications/transformative-innovation-and-socio-technical-transitions-to-address-grand-challenges.pdf>. Acesso em: 9 out. 2023.

GUERRERO, Josep M. **Biografia Guerrero, J. M.** 2023. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0001-5236-4592>. Acesso em: 2 abr. 2023.

GONZÁLEZ, Axel Bastián Poque; VIGLIO, José Eduardo; FERREIRA, Lúcia da Costa. Comunidades Energéticas na América Latina: visando uma transição energética a partir da noção de Bem Viver. **Desenvolvimento em Questão**, [S. l.], v. 20, n. 58, p. e11832, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/11832>. Acesso em: 4 mar. 2023.

GREENER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída 2023**. São Paulo. Disponível em: <https://www.greener.com.br/sumario-executivo-estudo-de-geracao-distribuida-2023-2o-sem-2022/>. Acesso em: 27 maio. 2023a.

GREENER. **A Evolução do Mercado Fotovoltaico no Brasil pelos dados do Estudo Estratégico de Geração Distribuída**. 2023b. Disponível em: <https://www.greener.com.br/a-evolucao-do-mercado-fotovoltaico-no-brasil/>. Acesso em: 25 maio 2023.

GUI, Emi Minghui; MACGILL, Iain. Typology of future clean energy communities: An exploratory structure, opportunities, and challenges. **Energy Research and Social Science**, [S. l.], v. 35, p. 94-107, 2018.

HEADLEY, Alexander J.; COPP, David A. Energy storage sizing for grid compatibility of intermittent renewable resources: a California case study. **Energy**, [S. l.], v. 198, 2020.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Physics and Society**, [S. l.], 2005. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/physics/0508025.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2023.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2017. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 24 jun. 2022.

INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS. **_Energia de paz_, nasce em Roma a comunidade energética renovável entre franciscanos e muçulmanos**. 2023. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/627443-energia-de-paz-nasce-em-roma-a-comunidade-energetica-renovavel-entre-franciscanos-e-muculmanos-mas-eles-tambem-sao-atrapalhados-pela-burocracia>. Acesso em: 11 abr. 2023.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). **Transição de Energia**. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/energytransition>. Acesso em: 2 jun. 2022.

JENKINS, Kirsten; SOVACOOOL, Benjamin K.; MCCAULEY, Darren. Humanizing sociotechnical transitions through energy justice: An ethical framework for global transformative change. **Energy Policy**, [S. l.], v. 117, p. 66-74, 2018.

LEGAMBIENTE. **Comunita-Rinnovabili-2021**. 2021. Disponível em: <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/07/Comunita-Rinnovabili-2021.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2023.

LI, Yang; HAN, Meng; YANG, Zhen; LI, Guoqing. Coordinating flexible demand response and renewable uncertainties for scheduling of community integrated energy systems with an electric vehicle charging station: A Bi-level approach. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 2321-2331, 2021.

LIRA, Marcos. **Piauí terá a maior usina solar flutuante do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://cidadeverde.com/energiaativa/119717/piaui-tera-a-maior-usina-solar-flutuante-do-brasil>. Acesso em: 4 out. 2023.

LUCIANO, Antoniele. **Comunidade em SP será a primeira da América Latina com energia 100% solar**. 2022. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2022/03/13/comunidade-em-sp-sera-a-primeira-da-america-latina-com-energia-100-solar.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 3 mar. 2023.

MILLER, Wendy; SENADEERA, Manisha. Social transition from energy consumers to prosumers: Rethinking the purpose and functionality of eco-feedback technologies. **Sustainable Cities and Society**, [S. l.], v. 35, p. 615-625, 2017.

MOREIRA *et al.* **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2|2021 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. v. Edição: 2|2021

NOMINATO, Renan. **A criação de Comunidades Energéticas favorece o fortalecimento da geração de energia limpa**. 2023. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53236965/a-criacao-de-comunidades-energeticas-favorece-o-fortalecimento-da-geracao-de-energia-limpa-impulsionando-a-agenda-esg-no-brasil-e-globalmente>. Acesso em: 3 mar. 2023.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 24 maio 2023.

PVSYST. **PVsys – Photovoltaic Software**. 2023. Disponível em: <https://www.pvsyst.com/>. Acesso em: 25 maio 2023.

RAMOS, Sérgio; FOROOZANDEH, Zahra; SOARES, João; TAVARES, Inês; FARIA, Pedro; VALE, Zita. Shared PV production in energy communities and buildings context. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, [S. l.], v. 19, p. 459-464, 2021.

RESCOOP.EU. **Save the date for the cVPP and REScoop VPP webinar - REScoop**. 2020. Disponível em: <https://www.rescoop.eu/news-and-events/events/save-the-date-for-the-cvpp-and-rescoop-vpp-webinar>. Acesso em: 26 maio 2023.

RESCOOP.EU. **European federation of citizen energy cooperatives**. 2023. Disponível em: <https://www.rescoop.eu/about-us>. Acesso em: 6 mar. 2023.

RIBEIRO, F. D.; PINHO, A. G.; GOMES, R. A.; DOMINGUES, E. G. A systematic literature review of electricity distribution in smart grid scenarios. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, [S. l.], v. 18, p. 122-127, 2020.

SCOPUS. **Scopus**. 2023. Disponível em: <https://www.scopus.com/results/savedList.uri?sort=plfdt-f&listId=60697554&listTypeValue=Docs&src=s&imp=t&sid=93439b57ad5292880ad788eee6b6a4c7f&sot=sl&sdt=sl&sl=0&origin=savedlist&txGid=51e8e8b9995e605cc945e949154bed51>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SERALE, Gianluca; FIORENTINI, Massimo; CAPOZZOLI, Alfonso; BERNARDINI, Daniele; BEMPORAD, Alberto. Model Predictive Control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: Problem formulation, applications and opportunities. **Energies**, [S. l.], v. 11, n. 3, 2018.

SHEN, Yuanfei; JI, Ling; XIE, Yulei; HUANG, Guohe; LI, Xin; HUANG, Lucheng. Research landscape and hot topics of rooftop PV: A bibliometric and network analysis. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 251, p. 111333, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111333>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SISTEMA CHESF. **Chesf energiza Usina Solar Flutuante**. 2019. Disponível em: https://www.chesf.com.br/_layouts/15/chesf_noticias_farm/noticia.aspx?idnoticia=373. Acesso em: 4 out. 2023.

SOEIRO, Susana; FERREIRA DIAS, Marta. Community renewable energy: Benefits and drivers. **Energy Reports**, [S. l.], v. 6, p. 134-140, 2020.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources recast. **Official Journal of the European Union**, [S. l.], v. 328, p. 127, 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=en>. Acesso em: 25 set. 2022.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. Directive (EU) 2019/944 on Common Rules for the Internal Market for Electricity and Amending Directive 2012/27/EU. **Official Journal of the European Union**, [S. l.], n. L 158, p. 18, 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944>. Acesso em: 25 jun. 2022.

UNITED NATIONS. **Take Action for the Sustainable Development Goals – United Nations Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

UNITED NATIONS. **COP26: Together for our planet | United Nations**. 2021. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>. Acesso em: 2 jun. 2022.

UNITED NATIONS. **COP27_ Delivering for people and the planet _ United Nations**. 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/cop27>. Acesso em: 4 mar. 2023.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [S. l.], v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-009-0146-3>. Acesso em: 22 abr. 2023.

VAN SUMMEREN, Luc F. M.; WIECZOREK, Anna J.; BOMBAERTS, Gunter J. T.; VERBONG, Geert P. J. Community energy meets smart grids: Reviewing goals, structure, and roles in Virtual Power Plants in Ireland, Belgium and the Netherlands. **Energy Research and Social Science**, [S. l.], v. 63, 2020.

VAN VEELLEN, Bregje. Negotiating energy democracy in practice: governance processes in community energy projects. **Environmental Politics**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 644–665, 2018.

WWF-BRASIL. **Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?76422/Acesso-a-energia-com-fontes-renovaveis-em-regioes-remotas-no-brasil>. Acesso em: 4 mar. 2023.

**ANEXO A – ESTIMATIVA DE CONSUMO MÉDIO MENSAL DE
ELETRODOMÉSTICOS DE ACORDO COM UM USO HIPOTÉTICO**

item	Aparelhos Elétricos	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
1	Aparelho de DVD	8	2 h	0,24
2	Aparelho de som	20	3 h	6,6
3	Ar-condicionado tipo split menor ou igual a 10.000 BTU/h	30	8 h	142,28
4	Ar-condicionado tipo split menor ou igual a 10.000 BTU/h	30	8 h	142,28
5	Ar-condicionado tipo split de 10.001 a 15.000 BTU/h	30	8 h	193,76
6	Aspirador de pó	30	20 min	7,17
7	Batedeira	8	20 min	0,4
8	Bomba d'água 1/2 cv	30	30 min	7,2
9	Cafeteira elétrica	30	1 h	6,56
10	Cafeteira expresso	30	1 h	23,82
11	Churrasqueira elétrica	5	4 h	76
12	Chuveiro elétrico - 5500 W	30	32 min	88
13	Computador	30	8 h	15,12
14	Enceradeira	2	2 h	1,8
15	Espremedor de frutas	20	10 min	0,18
16	Exaustor fogão	30	2 h	9,96
17	Ferro elétrico automático a vapor - 1200 W	12	1 h	7,2
18	Fogão elétrico - cook top	30	1 h	68,55
19	(por queimador)			
20	Forno elétrico	30	1 h	15
21	Forno micro-ondas - 25 L	30	20 min	13,98
22	Freezer vertical frost free	30	24 h	54
23	Frigobar	30	24 h	18,9
24	Fritadeira elétrica	15	30 min	6,81
25	Furadeira	4	1 h	0,94
26	Geladeira 2 portas frost free	30	24 h	56,88
27	Grill	10	30 min	3,2
28	Home theater - 350 W	8	2 h	5,6
29	Impressora	30	1 h	0,45
30	Lâmpada fluorescente compacta - 11 W	30	5 h	1,65
31	Lâmpada fluorescente compacta - 15 W	30	5 h	2,25
32	Lâmpada fluorescente compacta - 23 W	30	5 h	3,45

33	Lavadora de louças	30	40 min	30,86
34	Lavadora de roupas	12	1 h	1,76
35	Liquidificador	15	15 min	0,8
36	Modem de internet	30	8 h	1,92
37	Monitor LCD	30	8 h	8,16
38	Multiprocessador	20	1 h	8,56
39	Nebulizador	16	2,5 h	1,68
40	Notebook	30	8 h	4,8
41	Panela elétrica	20	1 h	22
42	Prancha (chapinha)	20	30 min	0,33
43	Projektor	20	1 h	4,78
44	Rádio elétrico pequeno	30	10 h	1,5
45	Rádio relógio	30	24 h	3,6
46	Roteador	30	8 h	1,44
47	Secador de cabelo - 1000 W	30	10 min	5,21
48	Secadora de roupa	8	1 h	14,92
49	Torradeira	30	10 min	4
50	TV em cores - 40" (LED)	30	5 h	12,45
51	TV em cores - 42" (LED)	30	5 h	30,45
52	Ventilador de mesa	30	8 h	17,28
53	Videogame	15	4 h	1,44
Consumo total mensal (kWh)				1.158,17

ANEXO B – DATASHEET DO MÓDULO FV







HiKu7 Mono PERC




640 W ~ 670 W

CS7N-640 | 645 | 650 | 655 | 660 | 665 | 670MS

MORE POWER

-  Module power up to 670 W
Module efficiency up to 21.6 %
-  Up to 3.5 % lower LCOE
Up to 5.7 % lower system cost
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  40 °C lower hot spot temperature, greatly reduce module failure rate
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25 Years Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



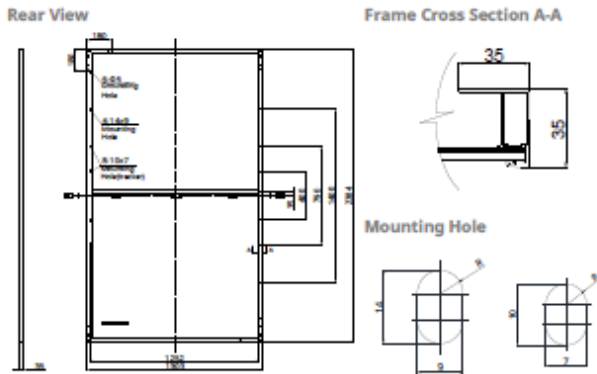
* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 20 years, it has successfully delivered over 70 GW of premium-quality solar modules across the world.

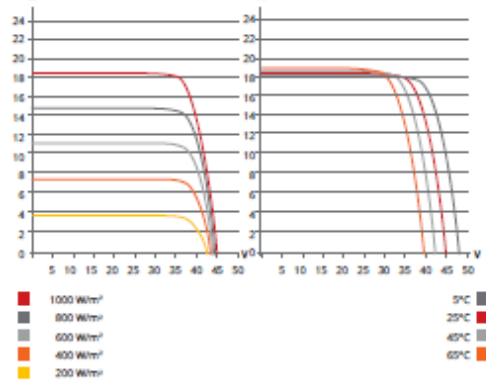
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS
Nominal Max. Power (Pmax)	640 W	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.07 A	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.6 V	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	18.31 A	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A
Module Efficiency	20.6%	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS
Nominal Max. Power (Pmax)	480 W	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.2 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.64 A	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.2 V	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V
Short Circuit Current (Isc)	14.77 A	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m²-spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ANEXO C – DATASHEET DO MICROINVERTOR



Leading the Industry in
Solar Microinverter Technology



QT2D

Doubling the performance
of the most powerful 3-phase
Quad microinverter

- Designed for 3-phase grid connection
- 4 input channels
- Single unit connects to 8 modules
- Maximum continuous AC output power 3600W
- Engineered to match the highest power modules available (Maximum input current 20A)
- Safety protection relay integrated
- Adjustable output power factor
- Balancing 3-phase output

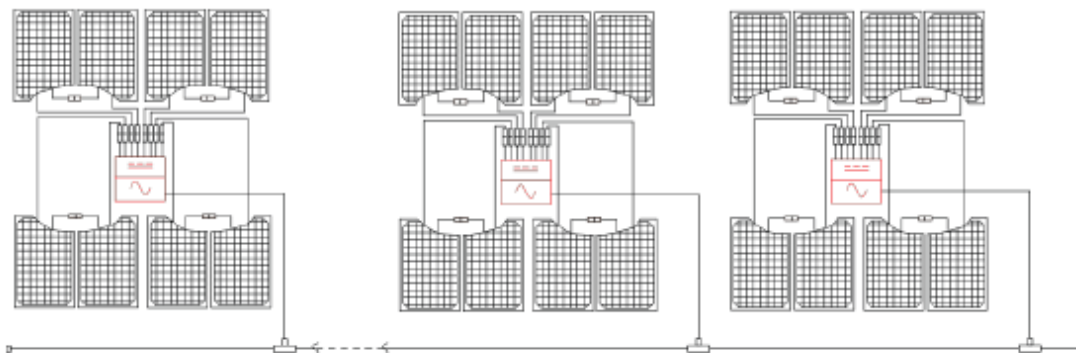
PRODUCT FEATURES

APsystems 2nd generation of native 3-phase microinverters are reaching unprecedented power outputs of 3600W. Connecting up to 8 high power modules (4 by 2 in series), the QT2D provides a cost-efficient solution ideal for today's fast growing commercial PV segment.

The innovative design makes the product unique while maximizing power production. The components are encapsulated with silicone to reduce stress on the electronics, facilitate thermal dissipation, enhance waterproof properties and ensure maximum reliability of the system via rigorous testing methods including accelerated life testing. A 24/7 energy access through apps or web-based portal facilitate remote diagnosis and maintenance.

The new QT2D is interactive with power grids through a feature referred to as RPC (Reactive Power Control) to better manage photovoltaic power spikes in the grid. In addition, it provides 97% peak efficiency with 20% less components compared to the last generation product. QT2D is a game changer in 3-phase installations for commercial PV rooftops.

WIRING SCHEMATIC



Datasheet | QT2D 3-Phase Microinverter

Model	QT2D
Region	BRAZIL

Input Data (DC)

Recommended PV Module Power (STC) Range	315Wp-670Wp+
Peak Power Tracking Voltage	64V-90V
Operating Voltage Range	52V-120V
Maximum Input Voltage	120V
Maximum Input Current	20A x 4

Output Data (AC)

Maximum Continuous Output Power	3600W
Nominal Output Voltage/Range ⁽¹⁾	380V/324V-468V
Adjustable Output Voltage Range	305V-478V
Nominal Output Current	5.45Ax3
Nominal Output Frequency/ Range ⁽¹⁾	60Hz/57.5-62Hz
Adjustable Output Frequency Range	55Hz-65Hz
Maximum Units per 6mm ² Branch ⁽²⁾	6

Efficiency

Peak Efficiency	97%
Nominal MPPT Efficiency	99.9%
Night Power Consumption	40mW

Mechanical Data

Operating Ambient Temperature Range ⁽³⁾	- 40 °C to + 65 °C
Storage Temperature Range	- 40 °C to + 85 °C
Dimensions (W x H x D)	359mm X 273mm X 56mm
Weight	7kg
AC Bus Cable	6mm ² (35A)
DC Connector Type	Stäubli MC4 PV-AD8P4-S2&AD5P4-S2
Cooling	Natural Convection - No Fans
Enclosure Environmental Rating	IP67

Features

Communication (Inverter To ECU) ⁽⁴⁾	Encrypted ZigBee
Isolation Design	High Frequency Transformers, Galvanically Isolated
Energy Management	Energy Management Analysis (EMA) system
Warranty ⁽⁵⁾	15 Years Standard ; 25 Years Optional

Compliances

Safety, EMC & Grid Compliances	ABNT NBR 16149:2013; ABNT NBR 16150:2013; ABNT NBR IEC 62116:2012
--------------------------------	--

⁽¹⁾ Nominal voltage/frequency range can be extended beyond nominal if required by the utility.
⁽²⁾ Limits may vary. Refer to local requirements to define the number of microinverters per branch in your area.
⁽³⁾ The inverter may enter a power de-grade mode under poor ventilation and heat dissipation installation environment.
⁽⁴⁾ Recommend no more than 80 inverters register to one ECU for stable communication.
⁽⁵⁾ To be eligible for the warranty, APsystems microinverters need to be monitored via the EMA portal. Please refer to our warranty T&Cs available on www.apsystems.com

© All Rights Reserved
 Specifications subject to change without notice please ensure you are using the most recent update found at web : www.apsystems.com

APsystems en Guadalajara:
 AV. Lazaro Cardenas 2850-5o Piso, Colonia Jardines del Bosque C.P.
 44520, Guadalajara, Jalisco
 +52 (33) 3188 4604 | info.latam@apsystems.com

APÊNDICE A – SIMULAÇÃO NO PVSYS



Version 7.2.21

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

No 3D scene defined, no shadings

System power: 9.31 kWp

Eusébio - Brazil

| Author



PVsyst V7.2.21

VCO, Simulation date:
10/07/23 04:48
with v7.2.21

Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Eusebio	Latitude -3.87 °S	Albedo 0.20
Brazil	Longitude -38.46 °W	
	Altitude 23 m	
	Time zone UTC-3	
Meteo data		
Eusebio		
Meteonorm 8.0 (2009-2017), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth 30 / 0 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 14 units	Nb. of units 2 units	
Pnom total 9.31 kWp	Pnom total 7.20 kWac	
	Pnom ratio 1.293	

Results summary

Produced Energy	14.38 MWh/year	Specific production	1545 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	83.71 %
-----------------	----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Special graphs	6



PVsyst V7.2.21
 VCO, Simulation date:
 10/07/23 04:48
 with v7.2.21

Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

General parameters

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation			
Orientation		Sheds configuration	Models used
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilt/Azimuth	30 / 0 °		Diffuse Perez, Meteorom Circumsolar separate
Horizon		Near Shadings	User's needs
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	CS7N-665MS	Model	QT2D-?Latam?
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	665 Wp	Unit Nom. Power	3.60 kWac
Number of PV modules	14 units	Number of Inverters	2 units
Nominal (STC)	9.31 kWp	Total power	7.2 kWac
Modules	7 Strings x 2 In series	Operating voltage	64-90 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.29
Pmpp	8.55 kWp		
U mpp	69 V		
I mpp	124 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	9 kWp	Total power	7.2 kWac
Total	14 modules	Number of Inverters	2 units
Module area	43.5 m²	Pnom ratio	1.29

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	9.2 mΩ	Loss Fraction	-0.4 %			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s							
Module mismatch losses		Strings Mismatch loss						
Loss Fraction	0.6 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %					
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.996	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000



Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.2.21

VCO_Simulation date:
10/07/23 04:48
with v7.2.21

Main results

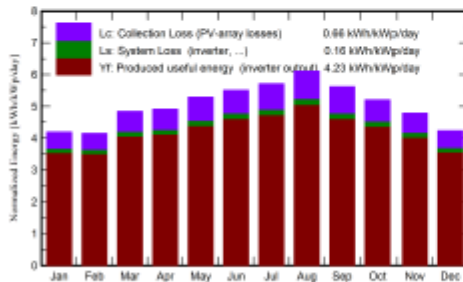
System Production
Produced Energy

14.38 MWh/year

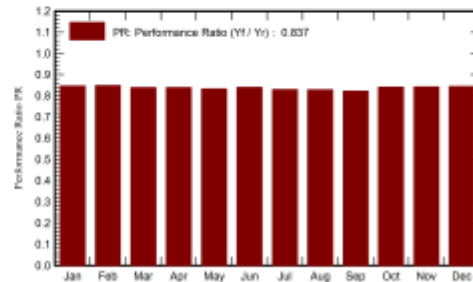
Specific production
Performance Ratio PR

1545 kWh/kWp/year
83.71 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	172.2	82.61	27.51	130.1	125.5	1.064	1.026	0.847
February	139.1	74.29	27.35	116.2	112.9	0.953	0.918	0.849
March	162.9	86.39	27.29	150.3	147.0	1.219	1.175	0.840
April	146.2	78.48	26.68	147.6	145.0	1.196	1.153	0.839
May	150.3	74.75	27.19	164.0	161.4	1.319	1.271	0.833
June	144.6	71.05	26.40	165.2	162.8	1.340	1.292	0.840
July	156.1	67.64	26.59	177.2	174.7	1.420	1.368	0.830
August	177.1	72.68	26.83	189.5	186.6	1.516	1.461	0.828
September	177.6	62.72	26.65	168.6	165.3	1.340	1.291	0.822
October	189.4	79.54	27.39	161.4	157.2	1.312	1.264	0.841
November	190.5	68.49	27.24	143.7	138.7	1.170	1.127	0.843
December	181.2	76.87	27.80	131.3	126.3	1.071	1.032	0.845
Year	1967.2	895.49	27.08	1845.0	1803.4	14.919	14.379	0.837

Legends

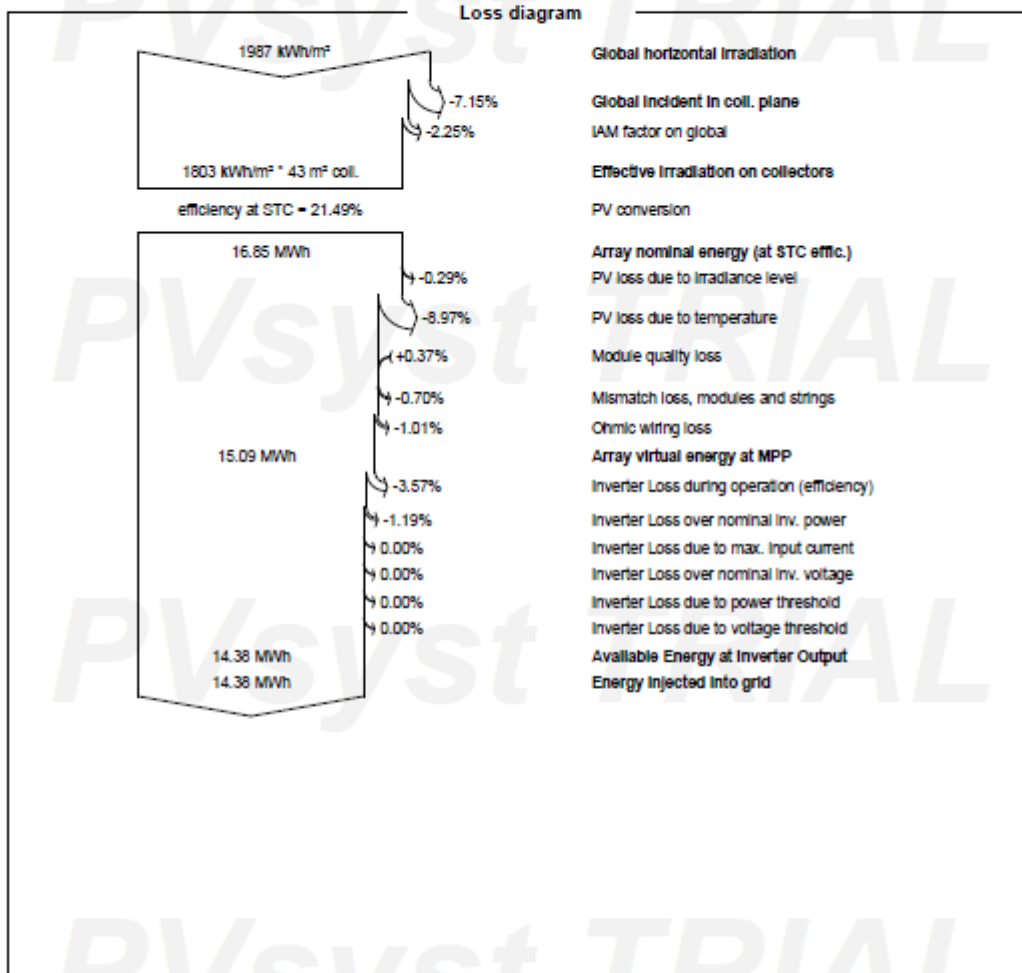
- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.2.21
 VCO, Simulation date:
 10/07/23 04:48
 with v7.2.21





PVsyst V7.2.21
VCO, Simulation date:
10/07/23 04:48
with v7.2.21

Project: CE ALPHAVILLE CEARÁ 1 E 2

Variant: New simulation variant

