

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

RENAN BATISTA SIQUEIRA

**COMUNIDADES ENERGÉTICAS - ANÁLISE DE MODELOS DE RATEIO DO
BENEFÍCIO: ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DO MERCADO DE ENERGIA
BRASILEIRO**

FLORIANÓPOLIS, 2025

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

RENAN BATISTA SIQUEIRA

**COMUNIDADES ENERGÉTICAS - ANÁLISE DE MODELOS DE RATEIO DO
BENEFÍCIO: ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DO MERCADO DE ENERGIA
BRASILEIRO**

Dissertação submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Rubiara Cavalcante Fernandes, D.
Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Siqueira, Renan Batista

COMUNIDADES ENERGÉTICAS - ANÁLISE DE MODELOS DE RATEIO DO BENEFÍCIO: ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DO MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO / Renan Batista Siqueira; orientação de Rubiara Cavalcante Fernandes. - Florianópolis, SC, 2025.

82 p.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Transição Energética. 2. Comunidade de Energia Renovável. 3. Modelos de Rateio do Benefício. I. Fernandes, Rubiara Cavalcante. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. **COMUNIDADES ENERGÉTICAS - ANÁLISE DE MODELOS DE RATEIO DO BENEFÍCIO: ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DO MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO.**

COMUNIDADES ENERGÉTICAS - ANÁLISE DE MODELOS DE RATEIO DO BENEFÍCIO: ESTUDO DE CASO NO CONTEXTO DO MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO

RENAN BATISTA SIQUEIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de março, 2025.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

RUBIPIARA CAVALCANTE FERNANDES

Data: 19/05/2025 10:25:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Rubiara C. Fernandes, D. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)



Documento assinado digitalmente

FABIOLA SENA VIEIRA

Data: 20/05/2025 16:45:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Fabiola Sena, Dra. Eng.
FSET Consultoria em Energia



Documento assinado digitalmente

MURILO REOLON SCUZZIATO

Data: 19/05/2025 15:49:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Murilo R. Scuzziato, D. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)



Documento assinado digitalmente

VERONICA ETCHEBEHERE SANTIAGO

Data: 20/05/2025 15:21:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Verônica E. Santiago, Dra. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

Dedico este trabalho a toda a minha família.
Em especial à minha mãe, Neusa.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela dádiva da vida, da saúde e da paz, que me sustentaram ao longo desta caminhada.

À minha família, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor, apoio incondicional e incentivo constante, pilares fundamentais para que eu pudesse alcançar mais esta etapa da minha trajetória. Em especial, agradeço à minha namorada e parceira de vida, Vanessa, por sua presença, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Sou também grato aos amigos que estiveram ao meu lado, tanto os que a vida me trouxe durante o mestrado quanto os que me acompanham há mais tempo, pela amizade, companheirismo e pelas conversas que trouxeram leveza aos dias mais desafiadores.

Agradeço ao departamento e a todos os professores do curso pela dedicação, disponibilidade e pelos conhecimentos valiosos que compartilharam ao longo desta jornada acadêmica. Um agradecimento especial ao professor Rubiapiara, cuja orientação foi essencial para a realização deste trabalho.

Eu faço da dificuldade a minha motivação.
A volta por cima vem na continuação.
- Charlie Brown Jr.

RESUMO

Impulsionadas pela transição energética e pelos desafios das metas de descarbonização, além do avanço e maior acessibilidade das tecnologias de geração renovável, diversas regiões ao redor do mundo já estão estudando e implementando projetos de Comunidade de Energia Renovável (CER). Este conceito pode oferecer diversos benefícios tanto para a comunidade local quanto para a rede elétrica. Esta dissertação tem como objetivo analisar o conceito de Comunidade Energética Renovável (CER) e avaliar, por meio de um estudo de caso, sua modelagem e integração no contexto do mercado de energia brasileiro. Diferentes modalidades de rateio de benefícios entre os membros foram simuladas em cada ambiente de comercialização brasileiro, levando em conta os preços de energia em cada cenário, com o intuito de verificar o comportamento de cada modelo para os diferentes atores e determinar qual configuração garante o menor custo para a CER. Para isso, foi proposto um estudo de caso analisando um condomínio vertical com 31 apartamentos. Apesar de o Brasil ainda não ter seu mercado de energia totalmente aberto e estar caminhando para isso, é possível a modelagem e operação de uma CER, e a abertura total pode proporcionar para os membros um custo com energia ainda menor. As CER devem ser vistas como uma alternativa sustentável e inclusiva, capaz de apoiar a transição energética no Brasil.

Palavras-chave: Transição Energética. Comunidade de Energia Renovável. Modelos de Rateio do Benefício.

ABSTRACT

Driven by the energy transition and the challenges of decarbonization targets, along with the advancement and increased accessibility of renewable energy generation technologies, especially photovoltaics, various regions around the world are already studying and implementing Renewable Energy Community (REC) projects. This concept can offer numerous benefits for both local communities and the electric grid. This dissertation aims to analyze the concept of Renewable Energy Communities (REC) and evaluate, through a case study, their modeling and integration within the context of the Brazilian energy market. Different benefit-sharing models among members were simulated in each Brazilian market environment, taking into account energy prices in each scenario, with the goal of examining the behavior of each model for different stakeholders and determining which configuration ensures the lowest cost for the REC. To this end, a case study was proposed, analyzing a vertical condominium with 31 apartments. Although Brazil's energy market is not yet fully open, and is in the process of liberalizing, it is possible to model and operate an REC, and the full market opening could provide even lower energy costs for members. RECs should be seen as a sustainable and inclusive alternative capable of supporting Brazil's energy transition.

Keywords: Energy Transition. Renewable Energy Community, Benefit-sharing Models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.	14
Figura 2 – Evolução da Oferta Interna de Energia no Brasil.	15
Figura 3 – Exemplo do comportamento chamado de "curva do pato".	16
Figura 4 – Estrutura simplificada e interações de uma CER.	17
Figura 5 – Nº de estudos publicados de CER por ano.	19
Figura 6 – Progresso regulatório no contexto das CERs.	20
Figura 7 – Foco geográfico dos artigos selecionados em (BOOSTANI; PELLEGRINI- MASINI; KLEIN, 2024).	26
Figura 8 – Possíveis interações em uma CER.	27
Figura 9 – Abordagem por país.	28
Figura 10 – Benefícios Comunidade Energética	33
Figura 11 – Barreiras Comunidade Energética	34
Figura 12 – Iniciativas de Comunidades de Energia Renovável (CERs) na Holanda.	38
Figura 13 – Exemplo didático da problemática do rateio do benefício.	40
Figura 14 – Estrutura do SIN.	44
Figura 15 – Histórico da Produção de Energia Primária no Brasil.	45
Figura 16 – Tipos de Mercado de Eletricidade.	46
Figura 17 – Vista aérea da CER a ser estudada.	56
Figura 18 – Modelo de Negócio.	57
Figura 19 – Curvas de Geração x Alocação Individual.	63
Figura 20 – Curvas de Carga x Alocação.	64
Figura 21 – Curvas de Alocação.	65
Figura 22 – Curvas de Alocação - Coeficientes Estudo de Caso.	66
Figura 23 – Balanço Energético por Método - Geradores.	67
Figura 24 – Balanço Energético por Método - Consumidores.	68
Figura 25 – Balanço Energético por Método - Prosumidores.	69
Figura 26 – Dados base de consumo.	74
Figura 27 – Dados base de geração.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da Regulação das CERs em Diferentes Países	36
Tabela 2 – Projetos de Energia Comunitária	37
Tabela 3 – Projetos de Comunidades de Energia Renovável	39
Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens dos Modelos de Rateio Apresentados .	42
Tabela 5 – Principais Regulações da GD	48
Tabela 6 – Principais Regulamentações: Abertura do Mercado	50
Tabela 7 – Comparação entre GD e MLE	51
Tabela 8 – Curva base de Consumo e Geração	58
Tabela 9 – Cotas de geração por apartamento e seus coeficientes.	59
Tabela 10 – Comparação das Modalidades de Rateio dos Benefícios	60
Tabela 11 – Comparação de Custo Total: Métodos de Rateio (GD vs MLE) . . .	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CE	Comunidade Energética
CEC	Comunidade de Energia de Cidadãos
CER	Comunidade de Energia Renovável
CMO	Custo Marginal de Operação
EMUC	Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	<i>Environmental, Social, and Governance</i>
GC	Geração Centralizada
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
GTC	Grupo de Trabalho de Cooperação
HEC	Comunidade de energia homogênea
I-REC	<i>International Renewable Energy Certificate</i>
ICES	Sistema Integrado de Energia Comunitária
IEMD	Diretiva do Mercado Interno de Eletricidade
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
LEM	Mercados Locais de Eletricidade
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
MEC	Comunidade de energia mista
MLE	Mercado Livre de Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída

MMGE	Micro e Minigeração Distribuída
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P2P	<i>Peer-to-Peer</i>
RE	Recursos Energéticos
RED II	Diretiva de Energia Renovável
REDs	Recursos Energéticos Distribuídos
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
TCU	Tribunal de Contas da União
UC	Unidade Consumidora

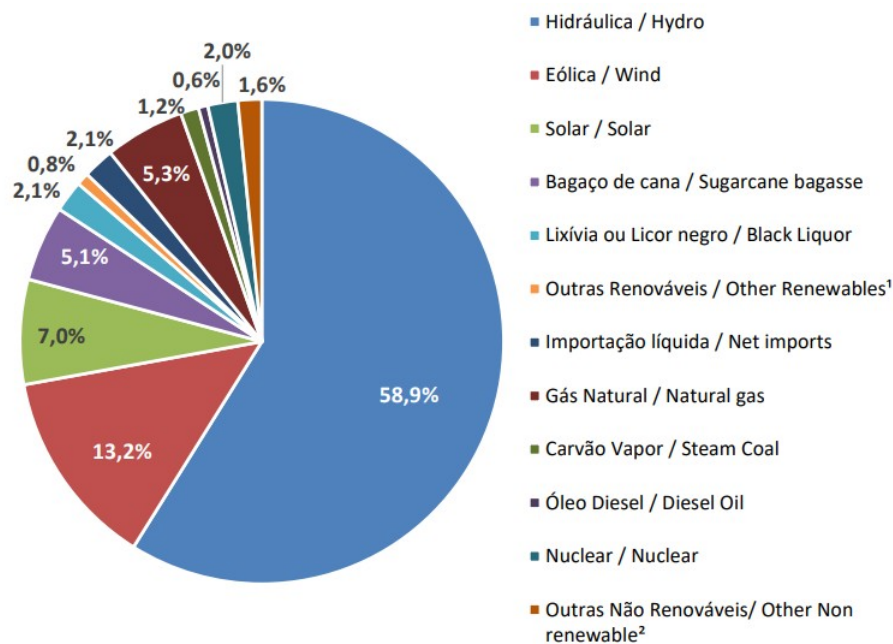
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	18
1.2	Objetivos	21
1.3	Metodologia	22
1.4	Estrutura da Dissertação	23
2	REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	Definições e Conceitos Fundamentais	26
2.1.1	Tipos de Comunidades Energéticas	28
2.2	Elementos Essenciais de uma Comunidade Energética	30
2.2.1	Principais Atores	31
2.2.2	Serviços Oferecidos pelas Comunidades Energéticas	31
2.3	Benefícios e Objetivos das Comunidades Energéticas	32
2.4	Desafios na Implementação de Comunidades Energéticas	34
2.5	Exemplos Internacionais	35
2.6	Modelos de Rateio do Benefício	39
2.6.1	Dividido igualmente	40
2.6.2	Repartição baseada em consumo	40
2.6.3	Repartição baseada em coeficientes	41
3	CENÁRIO BRASILEIRO	44
3.1	Mercado de Energia Brasileiro	45
3.1.1	Ambiente de Comercialização Regulado	47
3.1.2	Ambiente de Comercialização Livre	49
3.2	Incentivos e Atualidades	51
3.3	Perspectivas e Desafios	52
4	ESTUDO DE CASO	55
4.1	Caracterização do Cenário Proposto	55
4.2	Modelos de rateio	60
4.3	Implementação da Simulação	62
5	SIMULAÇÃO E RESULTADOS	63
5.1	Método 1: Divisão Igualitária	63
5.2	Método 2: Pelo consumo	64
5.3	Método 3: Por coeficiente	65
5.4	Análise dos resultados	66
6	CONCLUSÕES	71
6.1	Recomendações para Trabalhos Futuros	72
7	ANEXOS	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

Até alguns anos atrás, a matriz elétrica brasileira era majoritariamente hídrica. Atualmente, ainda há predominância dessa fonte, mas sua participação vem diminuindo ao longo dos anos em função da entrada de novas fontes e também do aumento da carga. Na Figura 1, observa-se que, em 2023, a participação da hidráulica foi de 58,9% (EPE, 2024a). Neste ano, no Brasil, ocorreu o maior incremento da capacidade de geração solar fotovoltaica centralizada da história no Sistema Interligado Nacional (SIN) (MME, 2023). A tecnologia se destacou não apenas pelo seu retorno financeiro atrativo, mas também pela acessibilidade e pelos incentivos às fontes alternativas de energia. É fundamental compreender e analisar as rápidas transformações na matriz energética e as diretrizes sociais, pois essas mudanças podem colocar uma nação em um processo de transição energética.

Figura 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.



Fonte: (EPE, 2024a)

Embora a matriz de energia elétrica no Brasil seja majoritariamente renovável, a matriz energética total do país só agora está se aproximando de 50% de fontes renováveis, conforme ilustrado na Figura 2. Isso evidencia que, mesmo em países com uma matriz elétrica limpa, é fundamental ampliar a análise e as ações voltadas à transição energética como um todo.

Nesse contexto, os países enfrentam desafios importantes, como a necessidade de diversificar suas matrizes energéticas em direção a fontes renováveis. A queima de combustíveis fósseis continua sendo uma das principais responsáveis pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), e nações com forte dependência de uso

Figura 2 – Evolução da Oferta Interna de Energia no Brasil.

%

FONTES	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	SOURCES
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	59,4	60,3	58,5	56,3	56,6	54,2	53,6	51,3	55,0	52,6	NON-RENEWABLE ENERGY
PETRÓLEO E DERIVADOS	39,1	39,2	37,2	36,4	36,0	34,1	34,1	32,9	34,2	35,7	PETROLEUM AND OIL PRODUCTS
GÁS NATURAL	12,7	13,5	13,6	12,3	12,9	12,3	12,2	11,7	13,3	10,5	NATURAL GAS
CARVÃO MINERAL E COQUE	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7	5,6	5,2	4,8	5,6	4,6	COAL AND COKE
URÂNIO (U ₃ O ₈)	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3	URANIUM - U ₃ O ₈
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OTHER NON-RENEWABLES
ENERGIA RENOVÁVEL	40,6	39,7	41,5	43,7	43,4	45,8	46,4	48,7	45,0	47,4	RENEWABLE ENERGY
HIDRÁULICA ¹	12,5	11,4	11,3	12,5	11,9	12,5	12,3	12,5	10,9	12,5	HYDRAULIC ¹
LENHA E CARVÃO VEGETAL	8,4	8,2	8,3	8,1	8,4	9,0	8,9	9,1	9,0	9,0	FIREWOOD AND CHARCOAL
DERIVADOS DA CANA	16,0	15,7	16,9	17,4	16,9	17,2	17,9	19,0	16,3	15,4	SUGAR CANE PRODUCTS
EÓLICA	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	2,1	2,3	WIND
SOLAR	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2	SOLAR
OUTRAS RENOVÁVEIS	3,4	3,7	4,1	4,4	4,7	5,3	5,2	5,7	5,9	7,0	OTHER RENEWABLES
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Fonte: (EPE, 2023)

nas termoeletricas tendem a apresentar níveis significativamente mais altos dessas emissões no setor elétrico.

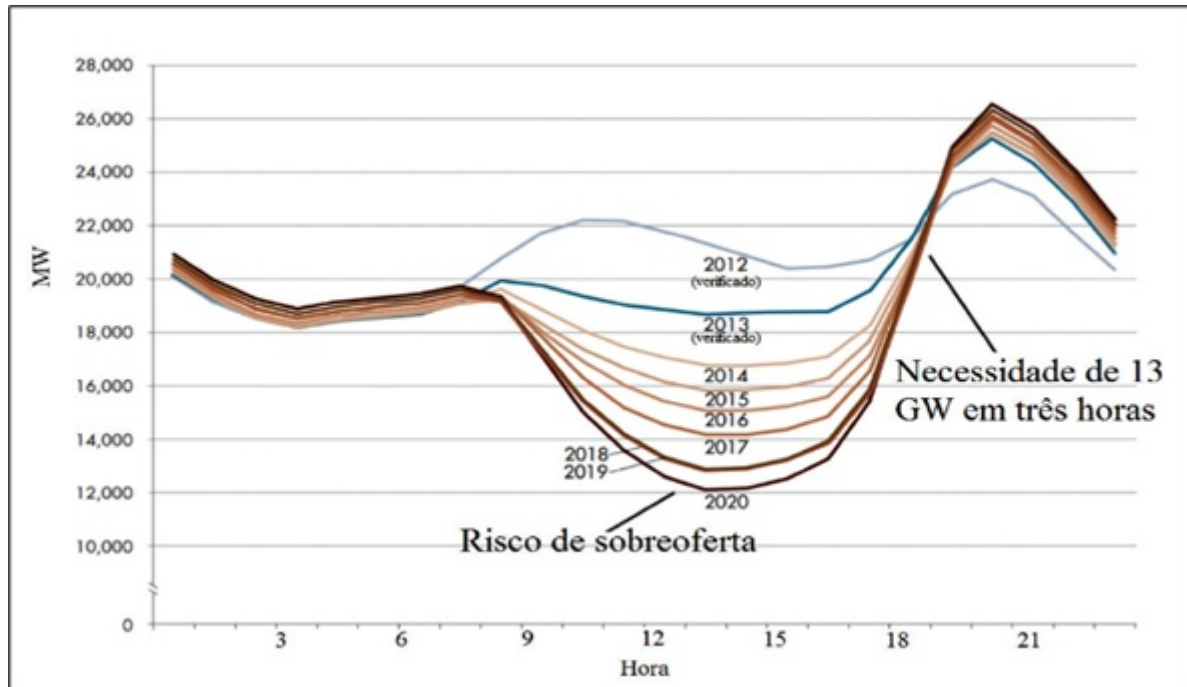
Diante desse cenário, a adoção de práticas *Environmental, Social, and Governance (ESG)* (ambientais, sociais e de governança) deve ser vista não apenas como uma tendência global, mas como uma estratégia essencial para garantir o desenvolvimento sustentável no longo prazo. Conforme destaca (SEGALES; HEWITT; SLEE, 2023), a transição energética precisa ser não apenas sustentável, mas também justa, e a cidadania global, aliada à inovação social, pode exercer um papel decisivo na concretização dessas transformações.

Nesse sentido, estudos sobre o desenvolvimento da política energética ganham cada vez mais relevância nos países. O artigo (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019), por exemplo, realiza uma análise comparativa das políticas de energia renovável no Reino Unido, Alemanha, EUA e Holanda, destacando a necessidade de reformas nos sistemas energéticos locais. Já (BECKER; KUNZE, 2014) propõe o conceito de projetos de energia renovável coletivos e politicamente motivados, além de fomentar o debate sobre a implementação de energia renovável em pequena escala.

No Brasil, a vasta extensão territorial e o modelo de geração majoritariamente centralizado impõem desafios significativos à operação e gestão do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). A infraestrutura de transmissão de energia precisa cobrir grandes distâncias, conectando regiões com perfis distintos de geração e demanda (ONS, 2024). No contexto da Geração Centralizada (GC), as limitações na capacidade de transmissão podem resultar em flutuações nos preços de energia entre os diferentes

submercados (CCEE, 2024). Além disso, essas limitações dificultam a integração do SEB e podem comprometer a segurança no fornecimento de energia.

Figura 3 – Exemplo do comportamento chamado de "curva do pato".



Fonte: (EDITORIA FÓRUM, 2025)

Em contraste com o modelo tradicional de GC, no qual grandes usinas geram energia e a distribuem por longas distâncias até os centros de consumo, a Geração Distribuída (GD) insere-se diretamente na rede elétrica por meio de pequenas unidades, geralmente próximas da carga. Um dos desafios crescentes associados à expansão da geração fotovoltaica no âmbito da GD é o fenômeno conhecido como "curva do pato", ilustrado na Figura 3. Essa curva representa a variação entre oferta e demanda de energia ao longo do dia, formando um perfil que lembra a silhueta de um pato (PAIXÃO; ABAIDE, 2021).

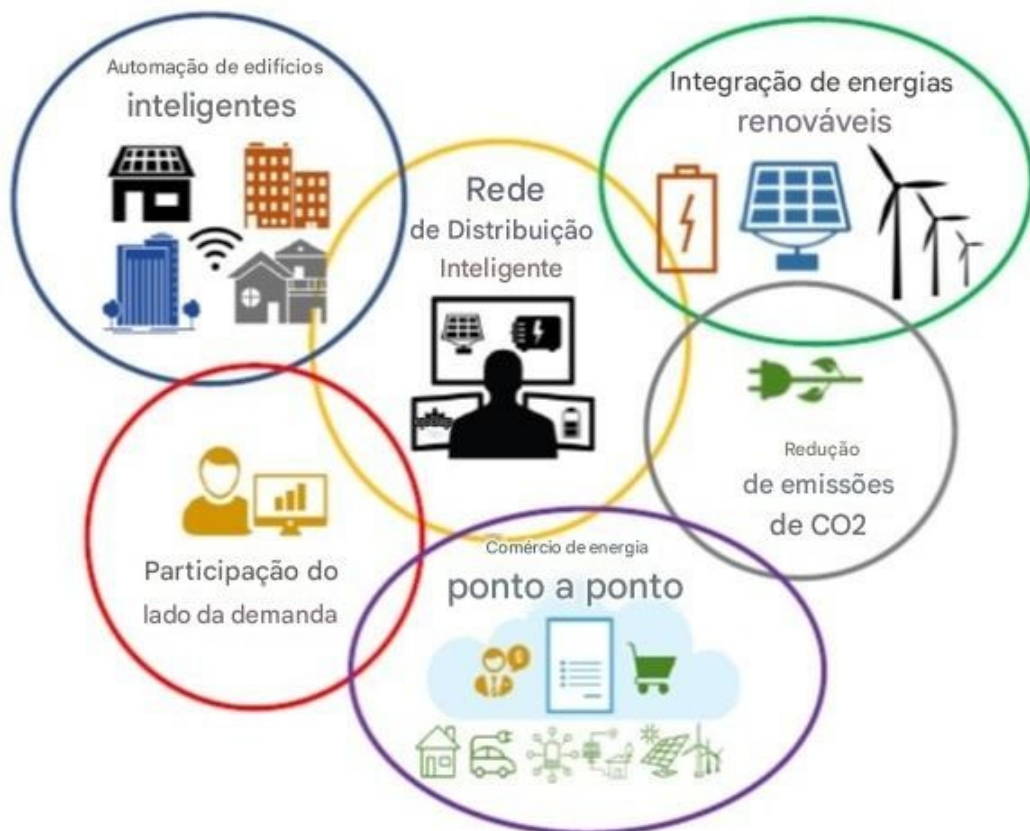
Embora esse efeito ainda não seja tão acentuado no Brasil quanto em locais como a Califórnia, sua análise já se mostra relevante para o planejamento energético nacional. Para entender esse desta curva, considere que, em um cenário com ampla adoção da GD, muitas residências utilizam sistemas fotovoltaicos. Em dias ensolarados, a demanda por energia da rede centralizada é reduzida, pois boa parte do consumo é suprida localmente. No entanto, ao entardecer, com o fim da geração solar, a rede precisa atender repentinamente a um pico de demanda, exigindo uma resposta energética rápida da rede. A curva do pato evidencia, portanto, os desafios de flexibilidade e controle enfrentados pelos operadores da rede, especialmente à medida que a GD continua a crescer.

Nesse contexto de crescente complexidade e descentralização do sistema

elétrico, as Comunidades Energéticas (CEs) ou CERs emergem como uma alternativa estratégica. De forma simplificada, essas comunidades representam um modelo de gestão, produção e consumo de energia elétrica que promove a participação ativa de consumidores e produtores de fontes renováveis, organizados em uma estrutura colaborativa e descentralizada. Por sua própria natureza, uma Comunidade de Energia Renovável (CER) busca alternativas para reduzir a dependência de fontes fósseis, contribuindo para acelerar a transição para um sistema energético mais justo, eficiente e sustentável (BARONE *et al.*, 2023), (LÓPEZ *et al.*, 2024).

Além disso, as CERs surgem como uma resposta eficaz tanto aos desafios de sustentabilidade quanto aos problemas de escoamento de energia. Isso se deve ao seu potencial de alcançar altos níveis de autossuficiência energética, minimizando a necessidade de transmissão por longas distâncias e, consequentemente, aliviando a pressão sobre a infraestrutura tradicional. Na Figura 4, é possível observar alguns dos elementos que compõem a CER.

Figura 4 – Estrutura simplificada e interações de uma CER.



Fonte: Adaptado de (GHIANI *et al.*, 2019)

As CERs têm o potencial de gerar uma série de benefícios, como maior eficiência no uso da energia, ganhos econômicos significativos, incremento da resiliência do sistema e uma participação ativa dos membros no setor energético. Além disso, podem fomentar a criação de empregos locais e contribuir para a redução das emis-

sões de GEE. Esse modelo também fortalece a autonomia e a segurança energética, consolidando-se como uma alternativa estratégica para um sistema mais sustentável e descentralizado (LOTTO *et al.*, 2022), (LÓPEZ *et al.*, 2024).

Nesse sentido, as CERs não apenas viabilizam a descentralização da geração, mas também promovem uma transformação na forma como a energia é gerida e consumida. No contexto da sustentabilidade e da transição energética, uma CER desempenha um papel essencial ao incentivar o uso de fontes renováveis e envolver diretamente os consumidores na tomada de decisões energéticas. A gestão participativa das CERs, realizada pelos próprios membros (FAIA *et al.*, 2023), contribui para a redução das emissões de carbono, promovendo a conscientização sobre o consumo e o uso mais racional da energia. Isso resulta em um sistema energético mais eficiente, democrático e alinhado aos objetivos climáticos globais.

Este trabalho tem como objetivo analisar o conceito de CER e sua inserção no mercado de energia brasileiro, com ênfase na avaliação de diferentes modelos de rateio de benefícios entre os membros, a partir de um estudo de caso. Para isso, são simuladas distintas configurações de repartição do benefício, considerando os preços praticados nos dois principais ambientes de comercialização de energia. A análise busca compreender as implicações econômicas de cada estrutura de rateio, especialmente no que se refere às diferenças entre os tipos de membros da comunidade. Além disso, procura-se identificar qual configuração operacional seria mais vantajosa do ponto de vista econômico, destacando que, caso fosse permitida a aquisição de energia no mercado livre, a operação da CER poderia ocorrer com custos significativamente reduzidos.

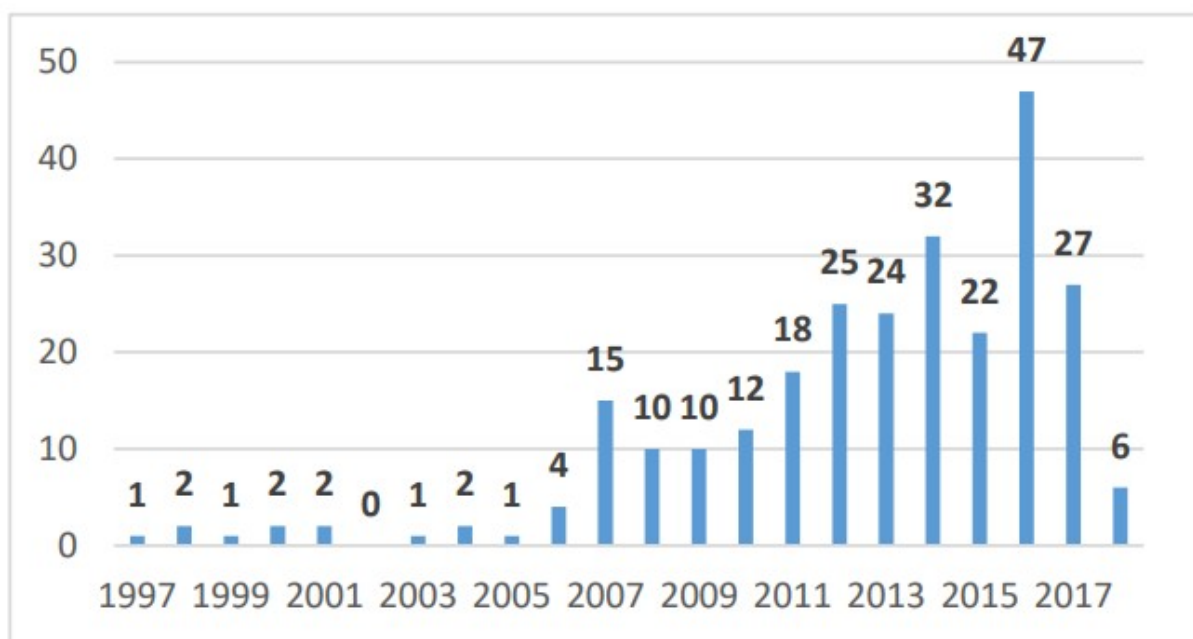
1.1 Contextualização

O conceito de CER começou a ganhar relevância a partir das décadas de 1990 e 2000, como resposta a mudanças sociais, políticas e ambientais que demandavam maior participação cidadã e soluções energéticas mais sustentáveis (BRUMMER, 2018). Nesse período, diversas comunidades passaram a explorar a geração de energia renovável em pequena escala, como solar e eólica, impulsionadas por compromissos internacionais, como o Protocolo de Quioto, voltado à redução das emissões de gases de efeito estufa (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019).

A partir dos anos 2000, o termo CER foi incorporado à literatura acadêmica e a políticas públicas, especialmente em países europeus como Reino Unido e Alemanha, que passaram a implementar projetos de energia comunitária apoiados por políticas de incentivo à geração renovável. O conceito foi gradualmente se formalizando e ganhou força com a publicação de diretrizes específicas, como a Diretiva da União Europeia sobre energias renováveis, que estabeleceu metas vinculativas para a promoção de

fontes renováveis e incentivou a adoção de modelos energéticos descentralizados e colaborativos. Desde então, observa-se um aumento expressivo no número de pesquisas sobre o tema, que passaram a investigar as características, os benefícios e as barreiras enfrentadas pelas comunidades energéticas (BRUMMER, 2018), (LODE *et al.*, 2022). A Figura 5 ilustra esse crescimento na produção acadêmica ao longo dos anos (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019).

Figura 5 – Nº de estudos publicados de CER por ano.



Fonte: (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019)

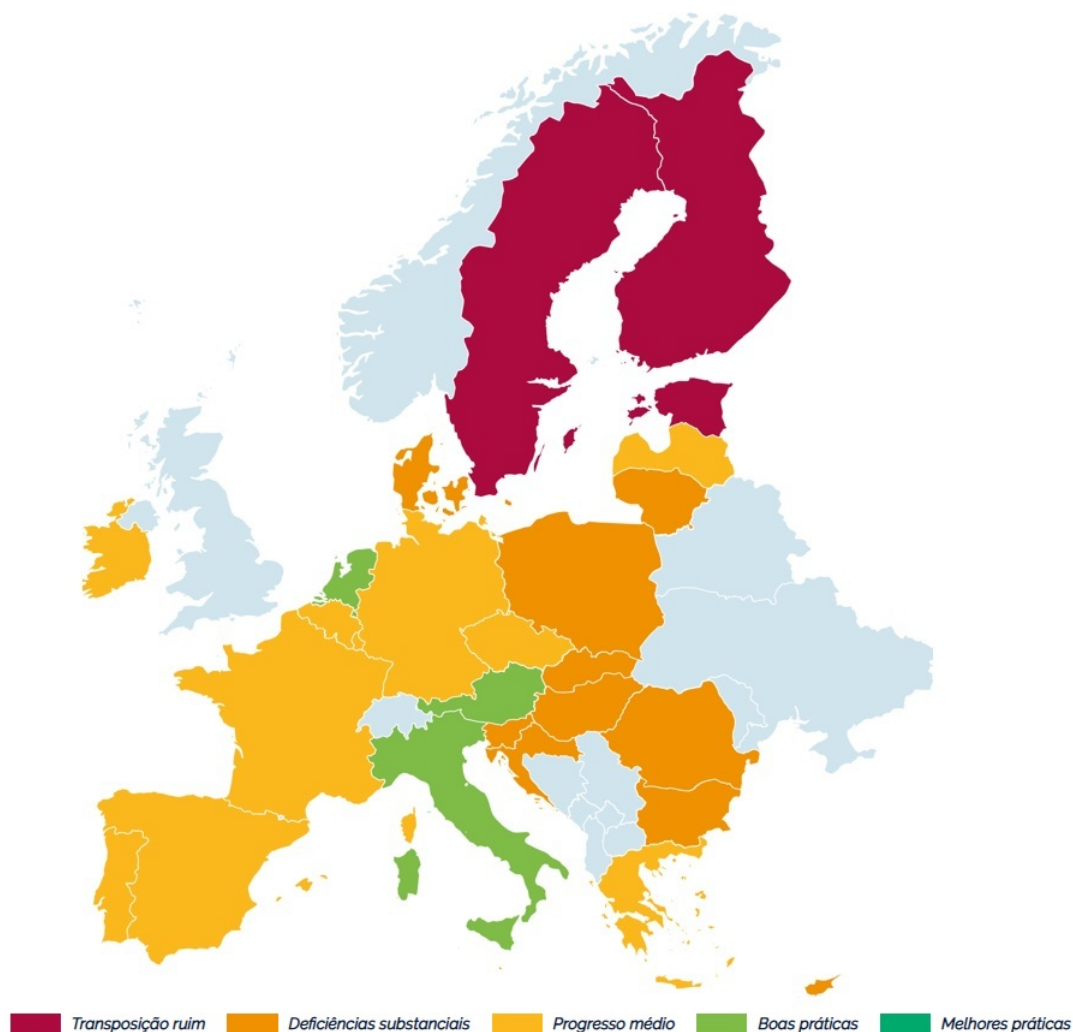
O conceito de CER deve ser entendido de maneira holística e multifacetada, envolvendo não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também a relevância do engajamento comunitário, da construção de confiança, das normas sociais, da preocupação ambiental e do apoio às transições energéticas locais. Como afirmam (KALKBRENNER; ROOSEN, 2016), ao considerar esses fatores e incentivar o envolvimento da comunidade, os decisores políticos e demais partes interessadas podem impulsionar iniciativas energéticas sustentáveis, contribuindo para um sistema energético mais verde e resiliente. Isso implica que o conceito de CER vai além dos aspectos puramente técnicos, promovendo também a educação, o acesso a oportunidades, a conscientização e o senso de coletividade entre os participantes.

Esse caráter participativo e social distingue uma CER de uma microrrede¹. Embora ambas compartilhem o foco na geração de energia local e no gerenciamento de recursos energéticos de forma descentralizada, a microrrede é primariamente voltada para a análise técnico-econômica de uma rede elétrica local, sem necessariamente envolver o engajamento ativo da comunidade ou considerar os impactos sociais e educacionais dos membros. A microrrede, portanto, é mais uma solução tecnológica para

otimizar a gestão da energia em um local específico, enquanto a CER integra a participação comunitária e as práticas colaborativas, alinhando-se mais com os princípios da justiça energética. Conforme destacado por (FAIA *et al.*, 2024), a implementação de tais estruturas exige, em qualquer contexto, o reconhecimento e o apoio das autoridades governamentais.

Conforme observado por (KALKBRENNER; ROOSEN, 2016), os projetos de energia comunitária não só favorecem o desenvolvimento de novas normas sociais, como também promovem a educação e a disseminação de informações no setor energético, incentivando a participação ativa dos membros da comunidade. O estudo revela uma atitude positiva dos entrevistados em relação à energia comunitária, o que reflete o crescente interesse e apoio a essas iniciativas, alinhando-se com os avanços observados nas pesquisas sobre CERs.

Figura 6 – Progresso regulatório no contexto das CERs.



Fonte: (RESCOOP, 2024)

Na Figura 6, é possível observar o progresso da transposição das disposições sobre as CERs e as Comunidades de Energia de Cidadãos (CECs), bem como

os quadros de habilitação e os esquemas de apoio nacionais para as CERs. Essas disposições foram introduzidas pela Diretiva de Energia Renovável (RED II) e pela Diretiva do Mercado Interno de Eletricidade (IEMD). (European Commission, 2023), (European Union, 2023).

O estudo sobre CERs é de grande relevância, pois essas comunidades não só promovem a eficiência energética, mas também fortalecem a coesão social ao permitir que as populações assumam o controle sobre suas fontes de energia, favorecendo a autonomia e a justiça social. Além disso, ao testar novas tecnologias e modelos de negócios, essas iniciativas ajudam a identificar os fatores que facilitam ou dificultam seu desenvolvimento. A pesquisa sobre CER é essencial para a formulação de políticas públicas que incentivem sua criação e sustentabilidade, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a transição energética e para a compreensão das dinâmicas sociais e econômicas locais, especialmente no contexto de regionalização e urbanização. Essas pesquisas também oferecem soluções para os desafios energéticos contemporâneos (BECKER; KUNZE, 2014), (LODE *et al.*, 2022).

Apesar de seu considerável potencial, o conceito de CER enfrenta desafios regulatórios substanciais, bem como a carência de incentivos sociais e financeiros adequados para sua implementação efetiva. O artigo (BECKER; KUNZE, 2014) destaca que, embora o termo tenha sido fundamental para evidenciar o papel da sociedade civil na transição energética, é essencial aprofundar as discussões conceituais para uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas e estruturas subjacentes aos projetos de energia comunitária.

Diante desse contexto, esta pesquisa se justifica pela necessidade de explorar e analisar o conceito de CER, especialmente no contexto de integração com o mercado de energia brasileiro. O objetivo é compreender como um modelo funcional pode ser implementado, considerando as particularidades do mercado e da legislação local, além de avaliar seus custos associados. As contribuições deste estudo servem como base para futuras investigações na área, ampliando o conhecimento sobre a viabilidade e os desafios das comunidades energéticas no Brasil.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é explorar o conceito de comunidade energética e analisá-lo no contexto brasileiro, visando avaliar como esse modelo poderia ser integrado ao mercado energético local. A pesquisa busca identificar qual a modalidade de rateio proporcionaria os maiores benefícios para os membros da comunidade, além de examinar qual o preço de energia, em diferentes ambientes de comercialização, garantiria a melhor viabilidade econômica e o melhor retorno sobre o investimento (*payback*). Adicionalmente, esta dissertação pretende contribuir para o debate sobre o

potencial das comunidades energéticas como uma alternativa sustentável e inclusiva, capaz de apoiar a transição energética no Brasil.

Como objetivos específicos, pode-se destacar:

- Realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre o conceito de comunidade energética, incluindo suas definições, características, modelos de negócio e experiências internacionais relevantes;
- Levantar modelos já existentes de comunidades energéticas em outros países, com o objetivo de extrair lições aprendidas e inspirações para o modelo brasileiro;
- Propor um modelo de CER no Brasil e analisar sua interação com o mercado de energia;
- Elencar as metodologias de rateio de benefícios e analisar seu comportamento em relação aos diferentes tipos de membros.;
- Analisar em qual ambiente de comercialização uma CER teria maior viabilidade;
- Contribuir para o avanço da regulação brasileira sobre o tema.

1.3 Metodologia

Este estudo considerou as legislações vigentes, tanto no Brasil quanto em âmbito internacional, tomando como base normas atualizadas e disponíveis online para consulta pública.

Para o cálculo do consumo da CER proposta, utilizou-se como referência o consumo real de um apartamento localizado no mesmo condomínio adotado como estudo de caso, obtido a partir da análise de sua fatura de energia elétrica. Com base nesse perfil, estimou-se o consumo dos demais membros da comunidade por meio da aplicação de uma distribuição normal de probabilidade, com o intuito de simular variações realistas dentro de um padrão de uso residencial semelhante.

Em relação à geração de energia, considerou-se o sistema fotovoltaico instalado no telhado do condomínio. Para isso, foi calculada a potência total instalada com base na soma da capacidade dos módulos solares existentes. Em seguida, estimou-se a geração mensal e diária, ajustando esses valores a uma curva típica de geração solar — com maior produção ao longo do período central do dia e valores nulos nos horários de menor insolação.

Essa abordagem permite representar, de forma simplificada, o comportamento esperado da geração ao longo do dia, em conformidade com a realidade do estudo de caso. Os dados de consumo e geração utilizados estão disponíveis no Capítulo 7 (Anexos).

Com os perfis de consumo e geração definidos, foi realizada uma simulação computacional utilizando planilhas no software Excel, implementando fórmulas utilizadas neste estudo. O objetivo foi analisar o comportamento do rateio de energia e dos benefícios econômicos entre os diferentes participantes da comunidade, de acordo com sua participação relativa na geração e no consumo.

Adicionalmente, foram estimados os custos totais de energia da CER em dois ambientes distintos de comercialização: o mercado cativo e o mercado livre. Para isso, adotaram-se os preços médios praticados atualmente em cada cenário, conforme dados disponíveis em fontes regulatórias e de mercado.

Todos os dados utilizados nesta pesquisa foram tratados em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), assegurando a privacidade, o sigilo e a integridade das informações dos participantes envolvidos.

1.4 Estrutura da Dissertação

Capítulo 1: Introduz o tema central da pesquisa, estabelecendo de forma clara os objetivos do trabalho. Além disso, apresenta a justificativa para a realização do estudo, destacando a relevância da temática no cenário atual de transição energética e na busca por soluções sustentáveis. A contextualização aborda os desafios contemporâneos relacionados à geração, distribuição e consumo de energia, enfatizando a importância do tema como uma alternativa inovadora e participativa no caminho para um desenvolvimento energético mais sustentável, justo e descentralizado.

Capítulo 2: Neste capítulo, é realizada uma revisão bibliográfica aprofundada sobre o conceito de comunidade energética, abordando suas origens, evolução e diferentes definições encontradas na literatura. São explorados os principais atores envolvidos, tais como consumidores, geradores, cooperativas, órgãos reguladores e demais *stakeholders*. Também são discutidas as metodologias existentes para o rateio de benefícios, com foco em critérios de equidade, proporcionalidade e eficiência econômica. O capítulo ainda examina os desafios enfrentados na implementação desses modelos, bem como as oportunidades que eles oferecem para a democratização do acesso à energia e o fortalecimento da participação social no setor elétrico.

Capítulo 3: Examina o desenvolvimento do conceito de comunidade energética no Brasil, considerando os marcos regulatórios, as políticas públicas e as iniciativas já em andamento no país. A análise se aprofunda na aplicabilidade do modelo de comunidades energéticas dentro do contexto nacional, levando em conta fatores como a estrutura do setor elétrico, aspectos socioeconômicos e diversidade regional. Também são mostrados os ambientes de comercialização de energia no Brasil e suas respectivas regulamentações.

Capítulo 4: Apresenta um estudo de caso que propõe e implementa modelos

de rateio de benefícios entre os membros de uma comunidade energética desenvolvida especificamente no contexto desta pesquisa. O estudo é inserido nos ambientes de comercialização de energia do SEB, considerando as particularidades regulatórias, operacionais e econômicas que caracterizam esse sistema. Além disso, defini os parâmetros e premissas da comunidade proposta.

Capítulo 5: Este capítulo apresenta a realização de simulações envolvendo distintos cenários de rateio de benefícios, com o intuito de testar e comparar o desempenho dos modelos propostos frente às diferentes categorias de membros de uma comunidade energética. As análises são conduzidas com base em dados obtidos por meio das simulações, permitindo uma avaliação dos aspectos de equidade na distribuição dos benefícios e da viabilidade prática de implementação de cada modelo. O foco está em identificar quais abordagens oferecem maior vantagem relativa para os diferentes perfis de participantes — geradores, consumidores e prosumidores — considerando suas características e os diferentes modelos de rateio do benefício.

Capítulo 6: O capítulo final do trabalho tem como objetivo apresentar uma síntese dos principais resultados alcançados ao longo da pesquisa, destacando sua relevância para a regulamentação e a implementação de CER no Brasil. Além de recapitular os achados mais significativos, o capítulo propõe recomendações para formuladores de políticas públicas, agentes do setor elétrico e pesquisadores. Por fim, são sugeridas direções para futuras investigações, apontando temas que merecem aprofundamento e que podem contribuir para o avanço da agenda de sustentabilidade e democratização energética no país.

2 REVISÃO DA LITERATURA

É evidente que, devido à evolução natural da sociedade, a necessidade por energia elétrica no mundo tem aumentado de forma crescente, com destaque para o período após a Revolução Industrial. Esse crescimento impulsionou o processo de urbanização, com as pessoas se agrupando em grandes cidades. À medida que esse agrupamento se intensifica, a necessidade de energia também cresce, o que representa um desafio significativo para o setor elétrico.

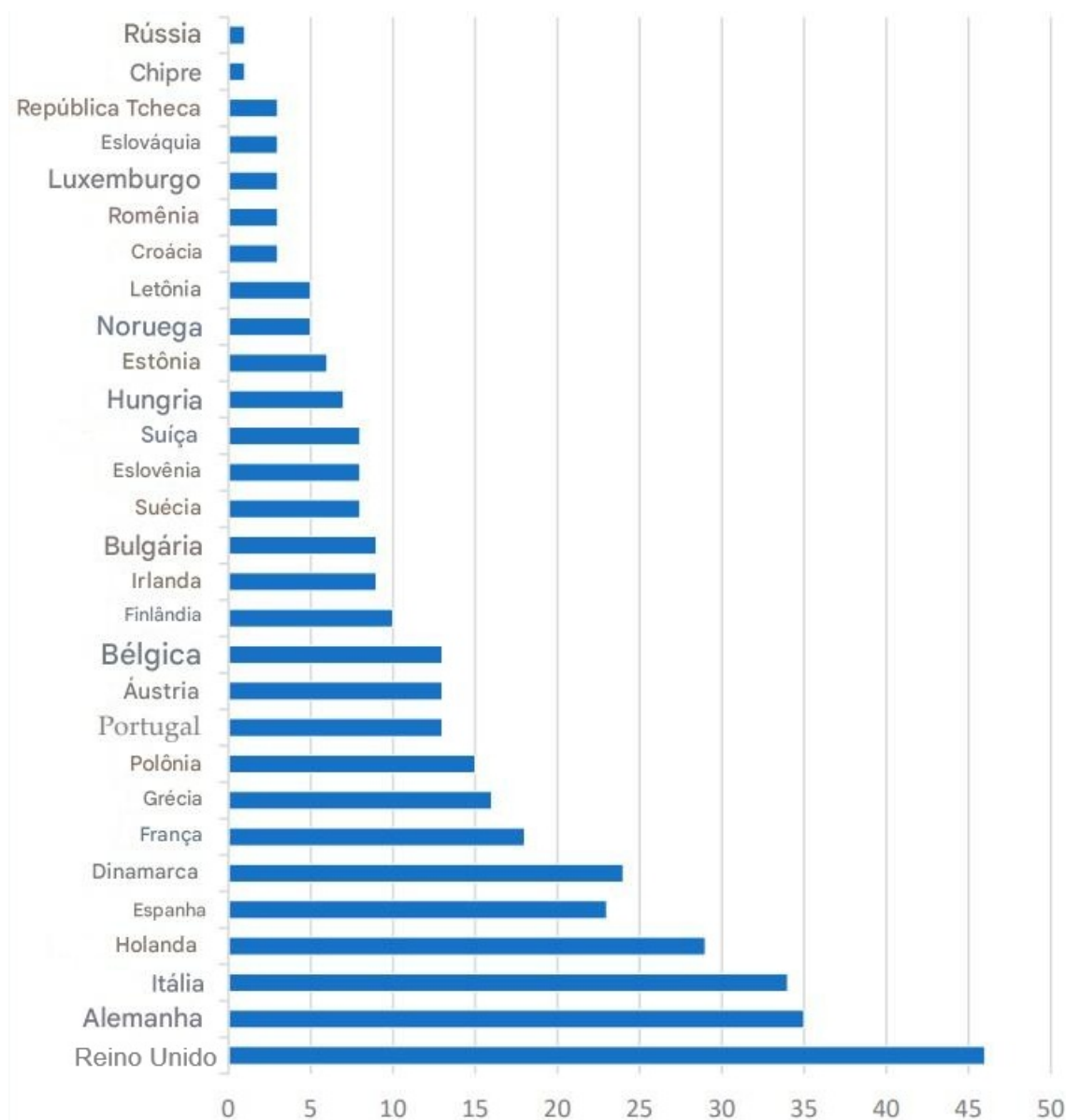
A partir do final dos anos 1990, houve um aumento do interesse em gerar energia localmente, com ênfase na participação das comunidades. Iniciativas governamentais e ONGs, como a *Community Renewables Initiative* nos Estados Unidos (*Renewable Community, 2025*), foram estabelecidas para apoiar projetos de energia renovável comunitária ao redor do mundo. Vale ressaltar que o modelo de CER era visto como algo incomum até recentemente, com a maioria dos esforços acontecendo fora do sistema convencional de energia e sem apoio público (WALKER *et al.*, 2010).

Como visto no primeiro capítulo, as CERs podem ser uma peça-chave na transição energética dos países, como uma das formas de descentralizar a produção de energia renovável, além de orientar os cidadãos no quesito energético. Na Europa, por exemplo, a RED II oferece um marco regulatório que facilita a integração dessas comunidades nos mercados de energia, incentivando tanto a produção local quanto a interação com o mercado de energia (COMMISSION, 2025). Além disso, a RED II é uma parte fundamental do Pacote de Energia Limpa, que define as CERs e introduz um modelo de governança para elas, além de fornecer um 'quadro de habilitação' para promover e facilitar o desenvolvimento das CERs (COMMISSION, 2024), (LOWITZSCH; HOICKA; TULDER, 2020).

Neste contexto, a Europa tem-se destacado significativamente no estudo e desenvolvimento de projetos de CER. O artigo (BOOSTANI; PELLEGRINI-MASINI; KLEIN, 2024) teve como objetivo identificar o papel de uma CER na redução da pobreza energética, com ênfase nos grupos vulneráveis. A Figura 7 ilustra os países europeus que receberam maior atenção nos estudos selecionados. É interessante observar que os países que figuram nas melhores posições não são apenas mencionados no contexto da pobreza energética, mas também se destacam em uma ampla gama de outros tópicos de pesquisa relacionados.

Este capítulo aborda os conceitos e definições essenciais das CERs, detalhando seus principais componentes, os atores envolvidos e os serviços oferecidos por esse modelo. Serão analisados exemplos internacionais, a evolução dessa configuração ao longo do tempo e os diferentes modelos de rateio de benefícios. Ao final, serão discutidas as vantagens e desvantagens associadas à implementação das CERs.

Figura 7 – Foco geográfico dos artigos selecionados em (BOOSTANI; PELLEGRINI-MASINI; KLEIN, 2024).



Fonte: Adaptado de (BOOSTANI; PELLEGRINI-MASINI; KLEIN, 2024).

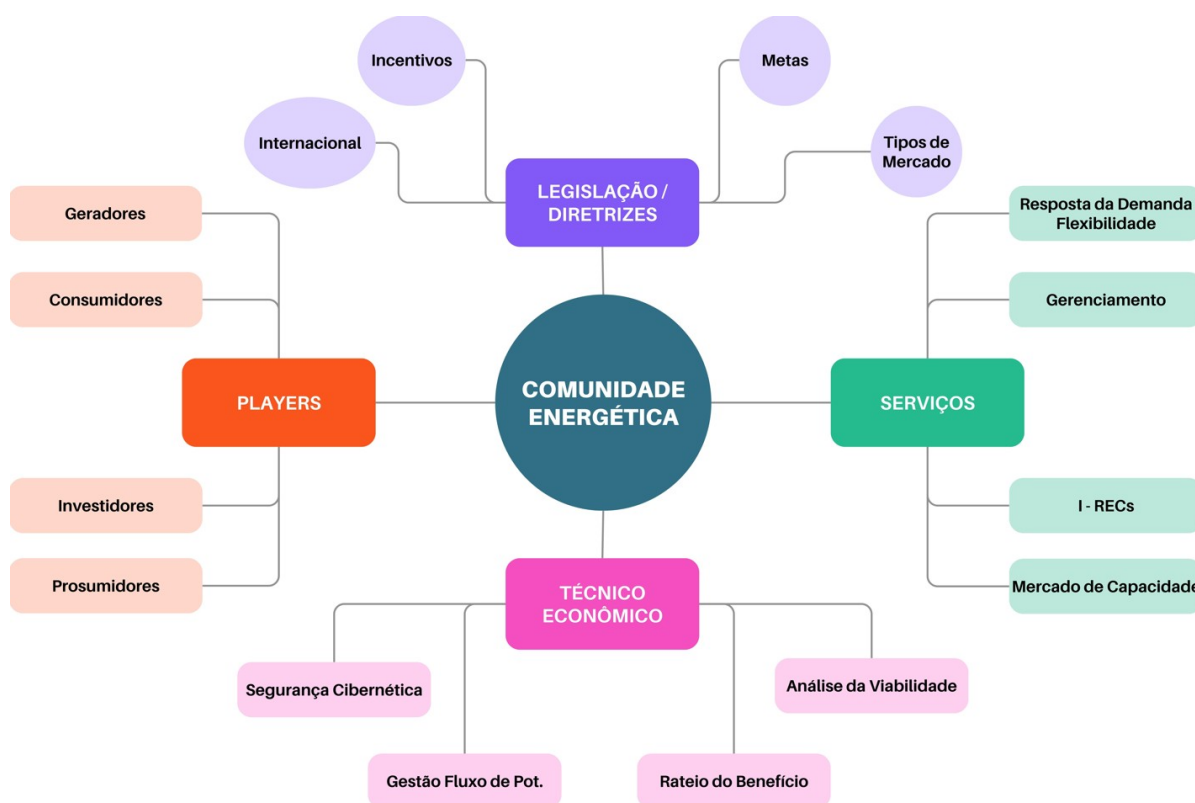
2.1 Definições e Conceitos Fundamentais

Por ser um conceito muito abrangente, há diversos assuntos, tecnologias e serviços que podem ser discutidos e inseridos dentro do contexto de uma CER. Por ser um conceito amplo e difícil de definir, hoje na literatura existem definições ambíguas e ainda não há um consenso sobre o tema (BURCHELL; RETTIE; ROBERTS, 2014). Em particular, a palavra 'comunidade' tem seu significado muito discutido nesse contexto (BAUWENS *et al.*, 2022). De forma geral, pode-se dizer que uma CER é um modelo de gestão, produção e consumo de energia renovável que envolve a participação ativa de consumidores e produtores de energia renovável em uma estrutura colaborativa e

descentralizada a nível local.

Apesar do conceito amplo, há certa concordância entre os pesquisadores de que a definição inclui dois aspectos principais: ter um sistema de energia mais sustentável e que, também, permita participação e controle democrático pelos membros. Por outro lado, é rejeitado do conceito de uma CER pelos pesquisadores um sistema com estrutura centralizada que prejudica o meio ambiente e sem poder associado à participação dos membros (BRUMMER, 2018). Ainda, em um projeto de uma CER, é fundamental que se considerem diversas características, como o incentivo à participação da sociedade, a promoção de um senso de cooperação e colaboração, a preocupação com a sustentabilidade, a flexibilidade e a resiliência do sistema, além de benefícios para a comunidade local (LOTTO *et al.*, 2022). Na Figura 8, são apresentadas as diferentes vertentes a serem consideradas no desenvolvimento de um projeto de CER.

Figura 8 – Possíveis interações em uma CER.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, percebe-se que o conceito vai além das dimensões técnica e econômica, incorporando também uma abordagem holística e multifacetada do setor de energia, que deve promover a educação, oportunidades, conscientização e um forte senso de coletividade entre os participantes. Esse enfoque distingue uma CER de conceitos como o de Microrrede, que se concentra principalmente na análise técnico-econômica de redes elétricas locais. Nesse sentido, como exposto acima, uma CER

deve abranger aspectos essenciais como o envolvimento comunitário, a construção de confiança, as normas sociais, as preocupações ambientais e a facilitação das transições energéticas em nível local.

O artigo (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019) apresenta um levantamento abrangente da literatura sobre o tema CER, destacando que a maior parte dos estudos se concentra em governança e sociologia, representando cerca de um terço do total. Quando combinados com as pesquisas sobre transição e planejamento energético, esses estudos correspondem a quase dois terços dos 263 artigos analisados. Na Figura 9, é possível observar a distribuição da abordagem de cada tema na literatura, por país. Vale ressaltar que, além da Europa, os Estados Unidos e a Nova Zelândia também se destacam nas pesquisas.

Figura 9 – Abordagem por país.

Abordagem	Reino Unido		Alemanha		EUA		Nova Zelândia		Outros		Total	
	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
1. Estudos de transição	12	15,0	6	15,0	1	4,3	6	24,0	14	14,7	39	14,8
2. Ciência e Tecnologia	5	6,3	3	7,5	0	0,0	2	8,0	4	4,2	14	5,3
3. Econômico	3	3,8	11	27,5	4	17,4	3	12,0	8	8,4	29	11,0
4. Aceitação	7	8,8	4	10,0	0	0,0	0	0,0	7	7,4	18	6,8
5. Sociologia	18	22,5	5	12,5	3	13,0	2	8,0	14	14,7	42	16,0
6. Governança	9	11,3	8	20,0	6	26,1	6	24,0	17	17,9	46	17,5
7. Planejamento energético	8	10,0	2	5,0	7	30,4	1	4,0	18	18,9	36	13,7
8. Ciências espaciais	4	5,0	0	0,0	0	0,0	2	8,0	3	3,2	9	3,4
9. Normas	14	17,5	1	2,5	2	8,7	3	12,0	10	10,5	30	11,4
	80	100	40	100	23	100	25	100	95	100	263	100

Fonte: Adaptado de (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019)

2.1.1 Tipos de Comunidades Energéticas

De maneira geral, conforme foi ilustrado na Figura 8, cada CER possui características distintas, que incluem, por exemplo, os atores envolvidos e os aspectos técnico-econômicos. Além disso, as formas de interação e os modelos de negócios podem variar significativamente, especialmente no que se refere aos serviços prestados e à relação com o mercado de energia. Considerando que aspectos como a regulação local podem ser específicos de cada região, pode-se afirmar que cada CER apresenta suas próprias particularidades, podendo assumir diversos tipos de configurações.

A literatura apresenta diversos estudos que funcionam como ferramentas úteis no planejamento de uma CER, sendo que a combinação dessas abordagens de maneiras distintas pode resultar em diferentes tipos de CER. O artigo (CANIZES *et al.*, 2023), por exemplo, investiga as melhores estratégias para agrupar os membros.

Além disso, o estudo destaca que, ao classificar uma CER, é fundamental considerar não apenas a localização geográfica dos participantes, mas também o tipo de energia líquida disponível em determinado período e conjunto de participantes. De acordo com o autor, a energia líquida pode ser classificada em três tipos, o que permite categorizar uma CER em três diferentes categorias:

- Comunidade de energia homogênea (HEC): Energia líquida exclusivamente positiva ou negativa no período de tempo;
- Comunidade de energia mista (MEC): Energia líquida tanto positiva quanto negativa no período de tempo;
- Comunidade de energia autossuficiente: Energia líquida sempre positiva (geração maior que a carga) de modo que a energia individual de cada membro é irrelevante.

Alguns autores também exploram variações do conceito de CER, como os Sistemas Integrados de Energia Comunitária (ICESs) e as CECs. Os ICESs, discutidos em (KOIRALA *et al.*, 2016), são sistemas mais amplos, complexos e integrados, que envolvem múltiplas fontes de energia e uma governança com a participação de diversos atores. Esses sistemas têm como objetivo otimizar a produção e o consumo de energia de forma eficiente e sustentável, com um foco mais abrangente em questões tecnológicas e políticas. Os conceitos de ICES e CER podem se sobrepor, uma vez que uma CER pode fazer parte de um ICES. Já as CECs, tratadas em (LOTTO *et al.*, 2022), diferem das CERs principalmente pelo tipo de fontes de energia utilizadas e pela estrutura de participação. As CECs permitem a geração de energia a partir de fontes renováveis e não renováveis, oferecendo maior flexibilidade na operação e na inclusão de diversos tipos de participantes, como empresas de médio porte.

As cooperativas de energia também podem ser classificadas como um tipo de CER. Elas frequentemente envolvem a geração de energia renovável, como solar ou eólica, e têm como objetivo principal aumentar a eficiência energética e reduzir os custos para seus membros. Esse modelo de CER é particularmente comum em diversos países, como, por exemplo, na Alemanha (BOOSTANI; PELLEGRINI-MASINI; KLEIN, 2024).

Como comentado acima, de modo geral, a literatura apresenta diversas abordagens para caracterizar uma CER. Em (BOOSTANI; PELLEGRINI-MASINI; KLEIN, 2024), por exemplo, são discutidos diferentes tipos de comunidades energéticas, incluindo as 'comunidades de lugar' e as 'comunidades de interesse'. De forma simplificada, as comunidades de lugar são aquelas em que os membros residem na mesma

localidade, enquanto as comunidades de interesse são formadas por indivíduos que compartilham um objetivo comum, como projetos de energia sustentável.

De acordo com (FMESTRECASAIS, 2025), as CERs podem assumir diferentes formatos, conforme destacado abaixo.

Quando falamos em "Comunidade de Energia", referimos-nos a um grupo de cidadãos de uma determinada comunidade que trabalham, em conjunto, em questões relacionadas com energia. A Comunidade de Energia é um conceito amplo, podendo referir-se a: campanhas de trocas coletivas; investimentos coletivos em painéis fotovoltaicos; mas também à propriedade de uma empresa de comercialização de energia ou de uma rede de distribuição. Algumas pessoas trabalham juntas de forma informal, enquanto outras criam entidades legais. Dependendo da atividade, as Comunidades de Energia podem assumir diferentes formatos (FMESTRECASAIS, 2025).

2.2 Elementos Essenciais de uma Comunidade Energética

Os elementos essenciais de uma comunidade energética são fundamentais para a construção de um sistema energético sustentável e eficiente. Em primeiro lugar, a participação ativa dos membros é crucial, e a energia de uma CER deve ser proveniente de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica. Embora as gerações solar e eólica sejam as mais comuns nesse tipo de projeto, é importante destacar que qualquer fonte renovável, como as hidrelétricas, também pode ser considerada.

Outro elemento essencial é estabelecer um objetivo em comum entre os membros para que todos possam estar engajados, seja pela sustentabilidade, eficiência ou até na diminuição dos custos, por exemplo. Em segundo lugar, idealmente deve-se ter uma estrutura organizacional que permita a gestão compartilhada e considere transações *Peer-to-Peer (P2P)*², de forma digital e inteligente. Vale ressaltar também a importância de se ter uma conexão com a rede para melhor gestão energética (SIDQI *et al.*, 2023), (SÆLE *et al.*, 2022).

Embora cada CER tenha suas particularidades, além dos elementos mencionados acima, como as fontes de energia renováveis, existem outros aspectos intrínsecos ao conceito que não devem ser ignorados ao projetar uma comunidade. São eles:

- Modelo financeiro sustentável;
- Qualidade na estrutura de distribuição;
- Foco na economia local;
- Aplicação da tecnológica;
- Legislação e Regulação adequadas;

² P2P (Peer-to-Peer) Modelo que possibilita os membros negociar e compartilhar eletricidade ponto a ponto, ou pessoa para pessoa, sem intermediários. Esse modelo visa a otimização da gestão da energia, reduzindo perdas e aumentando a eficiência da rede local.

-
- Educação e Conscientização;
 - Transparência e confiança.

2.2.1 Principais Atores

Os atores envolvidos em uma CER podem variar de projeto para projeto, considerando características como tamanho, localização e tipo de mercado em que está inserida. No entanto, é possível identificar, de forma geral, os principais participantes, que incluem consumidores, prosumidores³ e geradores, conforme foi ilustrado na Figura 8.

As autoridades locais, como governos regionais, também podem ser consideradas atores, pois podem apoiar a implementação de CERs por meio de políticas, regulamentações e incentivos que criam um ambiente favorável ao desenvolvimento de projetos energéticos. Além disso, investidores também desempenham um papel significativo, fornecendo o financiamento necessário para a implementação de projetos de energia renovável, garantindo assim a viabilidade econômica das iniciativas (LOTTO *et al.*, 2022).

As empresas também têm um papel importante atuando como atores em uma CER, podendo colaborar com cidadãos e autoridades locais para desenvolver projetos de energia renovável que beneficiem a comunidade. Essa colaboração pode levar a soluções inovadoras e sustentáveis. As empresas podem atuar em diferentes setores como tecnologia, serviços, gerenciamento, trazendo conhecimentos e experiências que podem enriquecer a comunidade energética. (LOWITZSCH; HOICKA; TULDER, 2020).

2.2.2 Serviços Oferecidos pelas Comunidades Energéticas

Dependendo de como for projetada, uma CER pode fornecer diversos serviços para a rede elétrica, contribuindo tanto para a eficiência quanto para a estabilidade do sistema. Um dos principais serviços é a gestão da demanda, onde a comunidade pode ajustar seu consumo de energia conforme a oferta disponível, ajudando a aliviar sobrecargas na rede durante picos de demanda. Esse serviço é especialmente relevante em sistemas com alta penetração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, que são intermitentes por natureza.

Além disso, as CERs mais estruturadas, que dispõem de bancos de baterias, podem utilizar essas soluções de armazenamento para oferecer serviços de balanceamento à rede. Ao armazenar energia em baterias ou outras formas de armazenamento, a comunidade pode ceder a energia acumulada à rede durante períodos de alta demanda ou recebê-la de volta quando as fontes renováveis não estiverem gerando o suficiente.

³ O termo 'prosumidor' combina as palavras produtor e consumidor. De maneira geral, é o consumidor que produz energia. No contexto da GD, um prosumidor gera eletricidade para seu consumo e pode alocar o excedente à rede elétrica.

A conexão com o mercado de energia local pode fornecer condições para novos modelos de negócio. O artigo (FAIA *et al.*, 2024), por exemplo, oferece uma visão abrangente sobre os Mercados Locais de Eletricidade (LEM) e os desafios que se apresentam no futuro. O LEM pode contribuir com a resposta da demanda e a implementação de tecnologias de geração distribuída, além de proporcionar maior equilíbrio e liquidez nas negociações de energia. No entanto, os LEM enfrentam desafios significativos, como o excesso de oferta de energia e a resistência à mudança. Após analisar estruturas políticas e regulatórias, o artigo sugere que as comunidades e cooperativas de energia podem desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento e fortalecimento dos LEM. Nesse contexto, o LEM surge como uma ferramenta importante para facilitar a transição para um novo paradigma de transações locais de eletricidade (FAIA *et al.*, 2024).

Além disso, as CERs podem desempenhar um papel crucial na promoção da sustentabilidade ao fornecer serviços relacionados à certificação e compensação de emissões de carbono, especialmente agora que foi sancionada a Lei nº 15.042 (2024), que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil. Um exemplo importante é o certificado *International Renewable Energy Certificate (I-REC)*⁴, que permite às comunidades gerar e comercializar certificados que comprovam a produção de energia a partir de fontes renováveis, ajudando a financiar projetos sustentáveis e a promover a transição energética.

Ainda, as comunidades podem participar de programas e modelos de negócios envolvendo créditos de carbono, sendo compensadas por reduzir ou evitar a emissão de GEE, contribuindo diretamente para o combate às mudanças climáticas. Segundo a (COONECTA, 2023), cooperativas e iniciativas coletivas podem se beneficiar economicamente ao atuar nesse mercado, criando uma fonte adicional de receita por meio da comercialização de créditos de carbono gerados por práticas sustentáveis.

Nesse contexto de mercado de carbono, é possível que, no futuro, com uma regulamentação adequada, os créditos gerados pelas comunidades energéticas sejam negociados de forma mais ampla, estimulando práticas mais sustentáveis e eficientes. Ao adotar essas iniciativas, essas comunidades não apenas contribuem para a redução de suas emissões de carbono, mas também fortalecem a construção de um mercado sustentável que reconhece e valoriza os esforços em direção a um futuro energético mais limpo, justo e eficiente.

2.3 Benefícios e Objetivos das Comunidades Energéticas

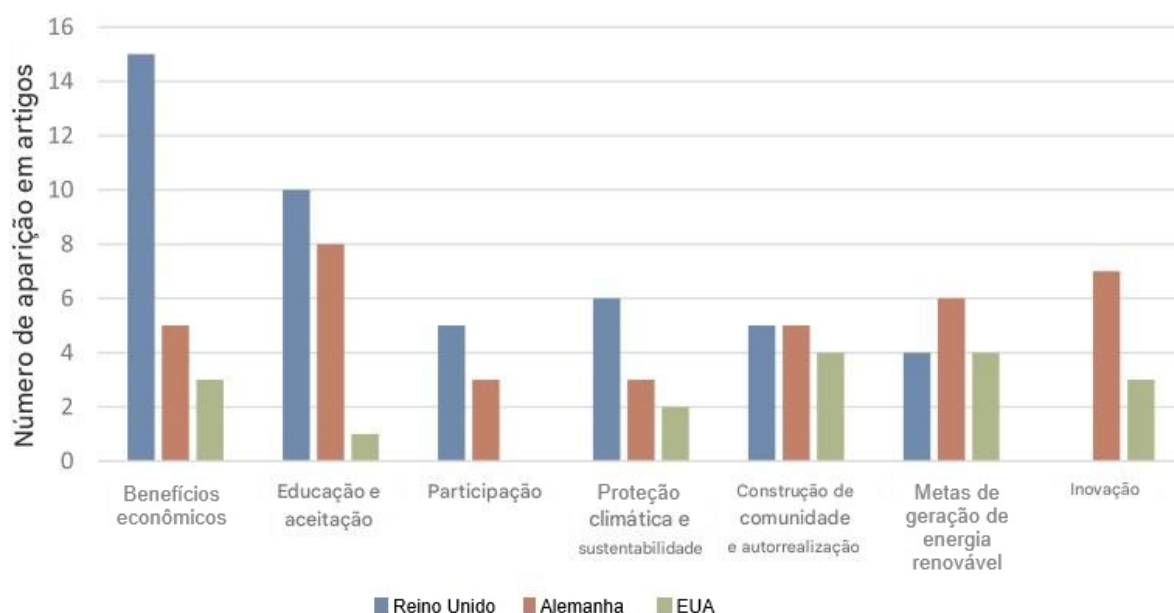
Como comentado ao longo deste trabalho, os membros de uma CER compartilham objetivos comuns, como a contribuição para um ambiente mais sustentável e o interesse em reduzir os custos relacionados ao consumo de energia. Nesse contexto,

⁴ I-REC é um certificado internacional que garante que a eletricidade consumida é proveniente de fontes renováveis. O I-REC permite rastrear e comprovar a origem renovável da energia, ajudando a promover práticas de consumo sustentável.

os membros são incentivados a adotar práticas eficientes e desenvolver hábitos que promovam tanto a eficiência energética quanto o consumo consciente. Dessa forma, os consumidores de uma CER podem obter economias significativas, tanto no consumo quanto nos custos com a energia (FILHO *et al.*, 2024).

Os benefícios de uma CER abrangem diversas categorias. O estudo de (BRUMMER, 2018), por exemplo, analisou 62 artigos sobre o tema das CERs, com foco nas barreiras e benefícios associados a essas iniciativas. A pesquisa realizou uma análise comparativa das abordagens adotadas por países como Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos em relação ao tema. Para categorizar os benefícios identificados, os autores dividiram-nos em sete categorias distintas. Na Figura 10, é possível visualizar essas categorias, bem como as principais tendências de benefícios destacadas nos estudos de cada região.

Figura 10 – Benefícios Comunidade Energética



Fonte: Adaptado de (BRUMMER, 2018).

As comunidades energéticas proporcionam uma variedade de benefícios, tanto para seus membros quanto para as regiões em que estão inseridas. A seguir, estão listados os principais benefícios identificados na literatura:

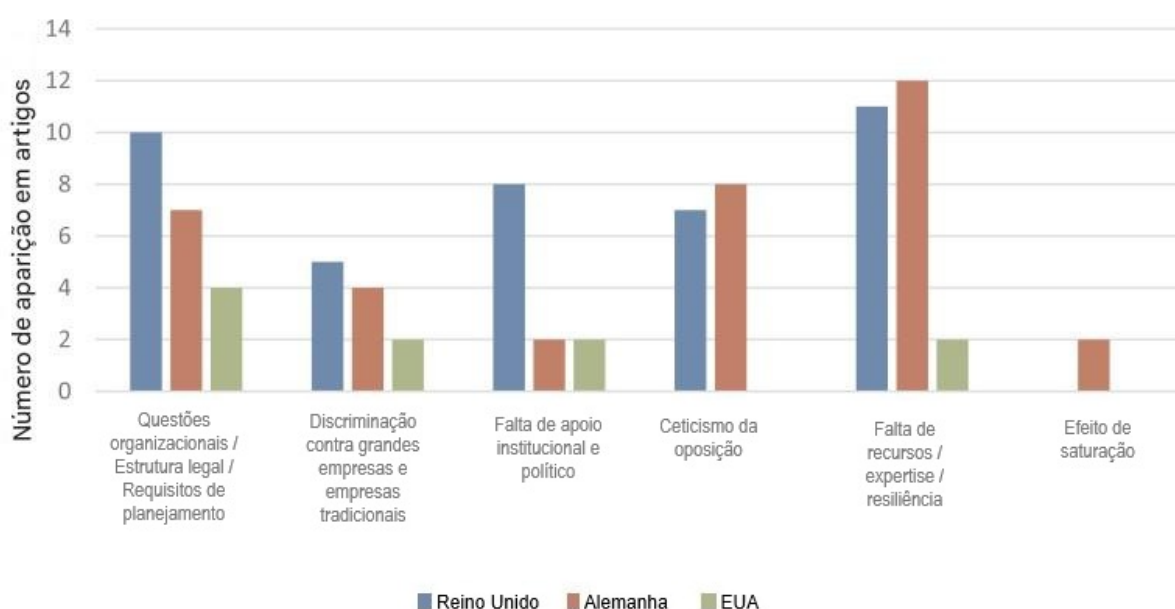
- Redução no custo com energia;
- Autossuficiência energética;
- Resiliência energética;
- Sustentabilidade ambiental;
- Empoderamento comunitário;

- Geração de empregos locais;
- Desenvolvimento da economia local;
- Democratização regional da energia.

2.4 Desafios na Implementação de Comunidades Energéticas

No trabalho de (BRUMMER, 2018), além dos benefícios, também foram analisadas as barreiras e os desafios associados ao tema das CERs. A análise comparativa das barreiras identificadas nos 62 artigos revisados pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 – Barreiras Comunidade Energética



Fonte: Adaptado de (BRUMMER, 2018).

Além das barreiras mencionadas acima, uma CER pode enfrentar diversos desafios organizacionais, que variam conforme o local de implantação, podendo comprometer seu desenvolvimento. A complexidade da governança, por exemplo, resultante da interação entre múltiplas partes interessadas, pode dificultar a tomada de decisões e a distribuição de responsabilidades. Além disso, a construção de confiança e o engajamento dos membros são fatores essenciais, mas frequentemente geram atritos devido a preocupações sobre a transparência e a distribuição justa dos benefícios (LOTTO *et al.*, 2022).

A viabilidade financeira é outro desafio, pois as comunidades devem desenvolver modelos de negócios sustentáveis que atraiam investimentos e garantam a geração de receita. Além disso, a falta de conhecimento e expertise em gestão de energia dentro das comunidades pode se tornar um problema futuro. (LOTTO *et al.*, 2022).

A seguir, são apresentados os principais desafios enfrentados por uma CER, conforme identificado na literatura:

- Possível complexidade na governança;
- Desafios na construção de confiança;
- Dificuldades na distribuição justa dos benefícios;
- Barreiras regulatórias;
- Resistência à mudança;
- Questões financeiras e de viabilidade econômica;
- Desafios de infraestrutura;
- Concorrência com redes de energia tradicionais.

2.5 Exemplos Internacionais

Como observado, o conceito de CER tem se difundido amplamente pela Europa, impulsionado por políticas públicas e iniciativas locais que promovem a participação cidadã na produção e gestão de energia renovável. Como ilustrado na Figura 7, diversos países europeus têm se destacado nesse campo, tanto em termos de estudos acadêmicos quanto de práticas consolidadas. No Reino Unido, embora os projetos de CERs estejam em expansão, ainda enfrentam desafios relacionados a percepções públicas e questões políticas, sendo as inovações em nível local os principais motores desse avanço. Já na Alemanha, o fortalecimento das CERs está fortemente associado a uma tradição de engajamento comunitário em projetos de energia, sustentada por políticas favoráveis, o que contribui diretamente para os objetivos da transição energética (BRUMMER, 2018).

Diante desse cenário de crescente protagonismo das CERs, diversas diretrizes vêm sendo analisadas e implementadas globalmente no que diz respeito ao consumo e à geração de energia elétrica. Ainda na Europa, por exemplo, foi estabelecido que todos os países membros deveriam criar, até junho de 2021, diretrizes nacionais com foco no planejamento de longo prazo para a geração e o consumo de energia renovável (LOWITZSCH; HOICKA; TULDER, 2020), medida que está alinhada com os princípios das CERs e contribui para o desenvolvimento e a consolidação do tema.

A Tabela 1 apresenta uma comparação da regulação das CERs em quatro países: Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha, abordando aspectos como definição, modelos de negócio, localização, uso de medidores, barreiras e incentivos. Nota-se que,

no Brasil, as CERs não têm uma definição formal e o foco está na redução da conta de eletricidade, enquanto na Alemanha há definições claras para CERs e CECs. Em Portugal e Espanha, a regulação também é bem definida, com ênfase na participação voluntária e nos benefícios comunitários.

Tabela 1 – Comparação da Regulação das CERs em Diferentes Países

Aspectos	Brasil	Alemanha	Portugal	Espanha
Definição	Sem definição formal; foca na redução da conta de eletricidade e diversificação da matriz energética	Definições claras de CERs e CECs	Definido na legislação; foco em participação voluntária e benefícios comunitários	Definido de forma semelhante a Portugal e Alemanha; apoios regulatórios
Modelo de Negócio	Cooperativas; não permite comercialização de energia excedente	Múltiplos modelos de negócios, com forte presença de cooperativas	Cooperativas e outras formas de agregação	Cooperativas e autoconsumo, com variações dependendo da região
Localização	Restrições geográficas, dentro da área de concessão da distribuidora	Flexibilidade na localização dos projetos	Proximidade elétrica e não apenas física ao projeto de geração	Regras similares às de Portugal
Uso de Medidores	Uso obrigatório de medidores inteligentes	Uso obrigatório de medidores inteligentes	Uso obrigatório de medidores inteligentes	Uso obrigatório de medidores inteligentes
Barreiras	Falta de financiamento, ausência de incentivos claros	Mudanças regulatórias afetando viabilidade	Limitações geográficas; necessidade de novos modelos de negócios	Cotas de participação e incertezas regulatórias
Incentivos e Subsídios	Seguidos principalmente pela redução de carga tributária	Fim de tarifas feed-in afetou investimentos	Incentivos disponíveis, mas com limitações	Incentivos implementados, mas com desafios locais

Fonte: (CASTRO *et al.*, 2022)

No contexto brasileiro, apesar da ausência de uma definição formal para as comunidades de energia, algumas iniciativas se aproximam desse conceito por meio de cooperativas de energia. Essas cooperativas geralmente operam dentro do modelo de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), utilizando o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): a energia excedente gerada é injetada na rede elétrica e convertida em créditos que podem ser usados para abater o consumo em outras unidades consumidoras do mesmo titular.

No entanto, esses créditos não possuem um valor financeiro direto, ou seja, não podem ser comercializados nem convertidos em receita, o que limita o

incentivo econômico para a formação de comunidades de energia mais robustas. Além disso, tem se popularizado o modelo de "assinatura solar", em que consumidores contratam cotas de energia gerada por usinas solares remotas (BBC, 2021). Embora esse modelo ofereça alternativas de acesso à energia renovável, ele tem sido objeto de análise por parte do Tribunal de Contas da União (TCU), que identificou possíveis irregularidades, como a comercialização de energia a consumidores regulados, o que é vedado pela legislação vigente. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi solicitada a apresentar um plano de fiscalização para aprimorar a regulação sobre o tema (PODER360, 2024).

Em contraste com o modelo brasileiro, na Europa, diversas CERs já operam em contextos regulatórios mais maduros, nos quais os excedentes de energia podem ser vendidos diretamente no mercado ou negociados entre os membros da comunidade, gerando receita e fortalecendo a viabilidade econômica dessas iniciativas. Exemplos desse modelo podem ser observados na Tabela 2.

Na Espanha, a Somenergia — uma cooperativa nacional de energia renovável — promove a produção e o consumo sustentável de eletricidade. Na Alemanha, o movimento Bürgerenergie e a coalizão Berlin Energy Roundtable reforçam a governança local por meio da participação cidadã e da remunicipalização da energia. Na França, o projeto Énergies Partagées destaca-se pelo engajamento direto da sociedade na gestão dos sistemas energéticos. Já no Reino Unido, o caso de Machynlleth, no País de Gales, exemplifica uma forte articulação comunitária em prol da energia limpa. Em comum, todas essas iniciativas não apenas impulsionam a transição energética, mas também geram valor social, ambiental e econômico nas regiões em que atuam (BECKER; KUNZE, 2014).

Tabela 2 – Projetos de Energia Comunitária

Comunidade	País	Descrição
Somenergia	Espanha	Cooperativa de energia renovável operando a nível nacional.
Bürgerenergie	Alemanha	Iniciativas comunitárias focadas em energia renovável.
Énergies partagées	França	Projetos que promovem a relação sociedade-sistemas de energia.
Machynlleth	País de Gales	Projeto clássico de energia comunitária.
Berlin Energy Roundtable	Alemanha	Coalizão de movimentos sociais para remunicipalização de energia.

Fonte: Adaptado de (BECKER; KUNZE, 2014).

Em Portugal, a Comunidade Real abordada em (CANIZES *et al.*, 2023), é composta por 14 centros de geração fotovoltaica e por 63 membros consumidores, dentre eles residenciais, comerciais e industriais. A geração anual da CER foi calculada para que possa consumir simultaneamente a geração e compartilhar a energia entre

os membros. As descobertas deste estudo indicam que identificar, classificar e agrupar CER pode ser uma ferramenta valiosa para o planejamento, operação e gerenciamento da rede.

Ainda no contexto de projetos na Europa, pode ser observado na Figura 12 treze projetos de energia que exemplificam iniciativas inovadoras e colaborativas na Holanda. Os projetos variam em termos de escopo e abordagem, destacando-se por aspectos como a implementação de painéis solares em áreas residenciais, o uso de biocombustíveis e a organização de feiras informativas sobre energia renovável. Além das atividades de educação e conscientização, muitos desses projetos envolvem a participação ativa da comunidade, promovendo discussões sobre eficiência energética e a criação de cooperativas de energia local (SCHOOR; SCHOLTENS, 2015).

Figura 12 – Iniciativas de CERs na Holanda.

No.	Location	Population	Landscape	Technology
1	Balinge	110	Wooded Rural	Biomass
2	Hooghalen	940	Wooded Rural	Sun PV Efficiency
3	Westerveld	19,176	Wooded Rural	Sun PV Efficiency
4	Groningen	200,000	Urban Open	Sun PV
5	Oldehove	1659	Rural Open	SunPV Biomass Water
6	Pekela	13,449	Rural Open	SunPV
7	Pieterburen	375	Rural Open	SunPV Efficiency
8	Schouwerzijl	100	Rural Open	SunPV Efficiency
9	Wessinghuizen	28	Rural Mixed	Biomass
10	Zuidhorn	6816	Rural Open	SunPV SunThermal
11	Franeke	1214	Urban Open	Efficiency
12	Makkinga	1039	Rural Mixed	SunPV Biomass SunThermal
13	Oenkerk	1800	Rural Mixed	Sun PV Efficiency

Fonte: (SCHOOR; SCHOLTENS, 2015).

Já na Itália, o planejamento local atual enfrenta lacunas que dificultam a implementação eficaz de iniciativas de energia renovável. O estudo de caso apresentado em (LOTTO *et al.*, 2022) sobre Segrate ilustra de forma prática as oportunidades e desafios associados à transição para um sistema energético mais sustentável através das CERs. O artigo investiga o potencial de produção e consumo de energia na cidade, analisando cenários com e sem a utilização de fontes de energia renováveis. Além disso, o autor propõe a criação de projetos específicos que contemplem intervenções públicas em níveis técnico e político, visando facilitar a construção de um ecossistema energético mais integrado e eficiente. Mais projetos na Europa podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Projetos de Comunidades de Energia Renovável

País	Nome do Projeto	Tipo de Energia Renovável	Descrição/Informações Importantes
Holanda	Duurzaam Ameland	Diversas (solar, eólica)	Foco em autossuficiência energética na ilha.
Escócia	Eigg Electric	Solar, eólica	Comunidade que utiliza recursos renováveis para eletricidade.
República Tcheca	Knezice Bio-Energy Centre	Biogás	Centro de biogás para calor e eletricidade.
Alemanha	E-Werk Prad	Hidroelétrica	Cooperativa com 90 anos de fornecimento de energia renovável.
Espanha	Barcelona Energia	Solar (PV)	41 plantas solares em edifícios públicos.
Áustria	Hostétín	Diversas	Foco em autossuficiência e desenvolvimento sustentável.

Fonte: (LOWITZSCH; HOICKA; TULDER, 2020)

No que diz respeito ao continente americano, observa-se que nos Estados Unidos o avanço varia conforme as regulamentações estaduais, com alguns estados oferecendo apoio, enquanto outros enfrentam barreiras, e os projetos frequentemente envolvem parcerias entre governos locais, serviços públicos e comunidades. (BRUMMER, 2018). O Chile também se destaca, ainda que o desenvolvimento da comunidade energética no Chile ainda esteja em estágio inicial. O país pode avançar na criação de um setor de energia comunitária sustentável que contribua para os objetivos de transição energética do país e beneficie as comunidades locais (GONZÁLEZ; SAUMA; WEIJDE, 2019).

Como observado, diversos projetos de CER estão sendo implementados ao redor do mundo, cada um com características e objetivos distintos. O sucesso desses projetos depende tanto da participação ativa da comunidade quanto do apoio das políticas públicas e regulamentações. Embora regulamentações adequadas possam incentivar a participação, os projetos ainda enfrentam desafios significativos, especialmente em seus estágios iniciais (BRUMMER, 2018).

2.6 Modelos de Rateio do Benefício

Como discutido nas seções anteriores, o sucesso de um projeto de CER depende de diversos fatores. Um aspecto fundamental a ser considerado ao projetar uma CER é a definição do rateio do benefício, pois essa escolha pode impactar diretamente na viabilidade do projeto. Em resumo, esse aspecto fundamental determina como a energia gerada é distribuída entre os membros. Um modelo de rateio claro e justo não só promove a equidade entre os participantes, mas também contribui para a sustentabilidade e a viabilidade econômica do projeto como um todo. A depender dos objetivos dos membros, a forma de rateio pode até gerar receitas para os participantes.

Existem várias abordagens para distribuir os benefícios entre os membros, e a seguir, serão apresentadas algumas alternativas para realizar o rateio do benefício ilustradas por (RAMOS, 2024).

A Figura 13 ilustra de forma didática a problemática do rateio do benefício gerado. Nesse cenário, apenas um dos consumidores é prosumidor, enquanto os outros dois são puramente consumidores. Considerando que a unidade prosumidora injetou 50 kWh na rede e as outras duas unidades consumiram 50 kWh e 70 kWh, respectivamente, qual seria a forma mais justa de distribuir o benefício gerado? Nas seções a seguir, serão apresentadas algumas possibilidades de realizar esse rateio do benefício.

Figura 13 – Exemplo didático da problemática do rateio do benefício.



Fonte: (RAMOS, 2024).

2.6.1 Dividido igualmente

O modelo de rateio igualitário apresenta como vantagens a equidade, pois todos os membros recebem a mesma quantidade de benefícios, promovendo um senso de justiça e solidariedade. Além disso, a simplicidade deste modelo facilita a compreensão e implementação do sistema, aumentando sua aceitação. No entanto, suas desvantagens incluem a desconsideração do consumo individual, o que pode gerar insatisfação entre os membros que consomem mais energia, e a possível falta de sustentabilidade financeira, já que os custos podem não ser igualmente distribuídos, especialmente em comunidades com perfis de consumo variados.

Embora seja simples e justo sob a ótica da igualdade, pode não incentivar a produção de energia renovável de forma eficiente, pois não há recompensa pela contribuição à geração.

2.6.2 Repartição baseada em consumo

Este modelo de rateio é simples e funciona com base na quantidade de energia consumida por cada membro da CER. Os consumidores são os principais

beneficiários da energia compartilhada, recebendo benefícios proporcionais ao volume de energia que utilizam. Os prosumidores, por sua vez, têm um papel duplo: consomem energia da rede, mas também geram energia. Nesse caso, os benefícios podem ser calculados com base na energia não utilizada pelo prosumidor e compartilhada com a comunidade, ou ainda de forma proporcional ao seu consumo.

Já os geradores, que têm uma participação mínima no consumo de energia, recebem benefícios muito menores, pois sua principal função é gerar energia para os outros membros. Como consomem pouca energia da rede da CER, os benefícios para os geradores são alocados em uma proporção bem reduzida, refletindo o fato de que eles contribuem mais para a produção do que para o consumo direto. Em resumo, embora o modelo seja direto e fácil de entender, ele não reflete completamente o valor que cada membro contribui para a comunidade, especialmente no caso dos geradores, cuja participação ativa no consumo de energia é limitada.

2.6.3 Repartição baseada em coeficientes

A repartição baseada em coeficientes é um modelo mais detalhado e personalizável, onde os benefícios são distribuídos com base em coeficientes que refletem características específicas de cada membro da comunidade. Esses coeficientes podem ser calculados com base em uma série de fatores, como a quantidade de energia consumida, a participação na geração de energia, o tipo de instalação (por exemplo, se o membro possui sistemas fotovoltaicos ou outras fontes renováveis), e outros parâmetros definidos pela CER.

Os coeficientes são atribuídos aos membros de acordo com critérios específicos previamente estabelecidos, como, por exemplo, participação no investimento de geração, ou seja, os membros que investiram mais podem receber coeficientes maiores, como forma de compensação. A partir desses coeficientes, o total de benefícios gerados pela CER (como economia na conta de energia, compensações ou receitas de venda de energia) é distribuído proporcionalmente. Cada membro recebe um percentual dos benefícios totais, de acordo com seu coeficiente individual.

Este modelo é altamente flexível e pode ser ajustado para refletir diferentes contribuições e necessidades dos membros. Ele oferece uma maneira mais justa de repartir os benefícios, levando em consideração não apenas o consumo de energia, mas também a contribuição para a geração e o investimento na infraestrutura.

Entretanto, a principal desvantagem desse modelo é a maior complexidade de implementação. Definir os coeficientes e garantir que eles sejam justos e transparentes para todos os membros pode ser um desafio. Além disso, é necessário um sistema de monitoramento e controle rigoroso para calcular corretamente os coeficientes e os benefícios distribuídos.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens dos modelos apresentados.

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens dos Modelos de Rateio Apresentados

Modelo de Rateio	Vantagens	Desvantagens
Igualitário	Equidade entre os membros. Simplicidade na implementação.	Pode comprometer a sustentabilidade financeira. Desconsidera o consumo individual.
Pelo Consumo	Fácil compreensão pelos membros. Simples e de fácil implementação.	Pode gerar desigualdade entre membros. Complexidade na medição e monitoramento.
Por Coeficientes	Necessidade de investimento dos membros. Maior sustentabilidade financeira.	Pode gerar conflitos de interesse. Cria desigualdade entre membros ricos e pobres.

Ao longo deste capítulo, discutiu-se o conceito de uma CER e observou-se que o campo de pesquisa sobre o tema tem-se expandido rapidamente, especialmente nos últimos dez anos, com um aumento significativo no número de estudos publicados. Como mostrado por (SCHOOR; SCHOLTENS, 2019), a maior parte da produção acadêmica na área concentra-se em países como Reino Unido, Estados Unidos, Alemanha e Países Baixos.

Conclui-se também que há diversas maneiras e configurações de se projetar uma CER, sua estrutura e objetivos dependem das características locais, como políticas, regulamentações e de mercado. Apesar de poder proporcionar benefícios para os membros, o tema ainda carece de estudos aprofundados e há diversos desafios a serem enfrentados, tanto técnicos quanto sociais. Em (LODE *et al.*, 2022), após uma triagem em 1203 artigos, 75 artigos foram selecionados com base em sua relevância para o tema das CER. O autor destaca algumas conclusões como: a fragmentação da literatura, identificação de fatores comuns que influenciam o surgimento das CER, e a necessidade de mais estudos que abordem lacunas específicas, especialmente no que diz respeito a fatores socioculturais e geográficos.

Nesse contexto, é necessário que as redes elétricas de distribuição se tornem mais inteligentes. Embora a configuração de redes inteligentes possa ser mais complexa, ela é essencial para o gerenciamento eficiente da energia, além de ser um componente-chave para a resposta à demanda, flexibilidade, gerenciamento de restrições de rede e operação no mercado de energia por parte dos pequenos consumidores (CARREIRO; JORGE; ANTUNES, 2017).

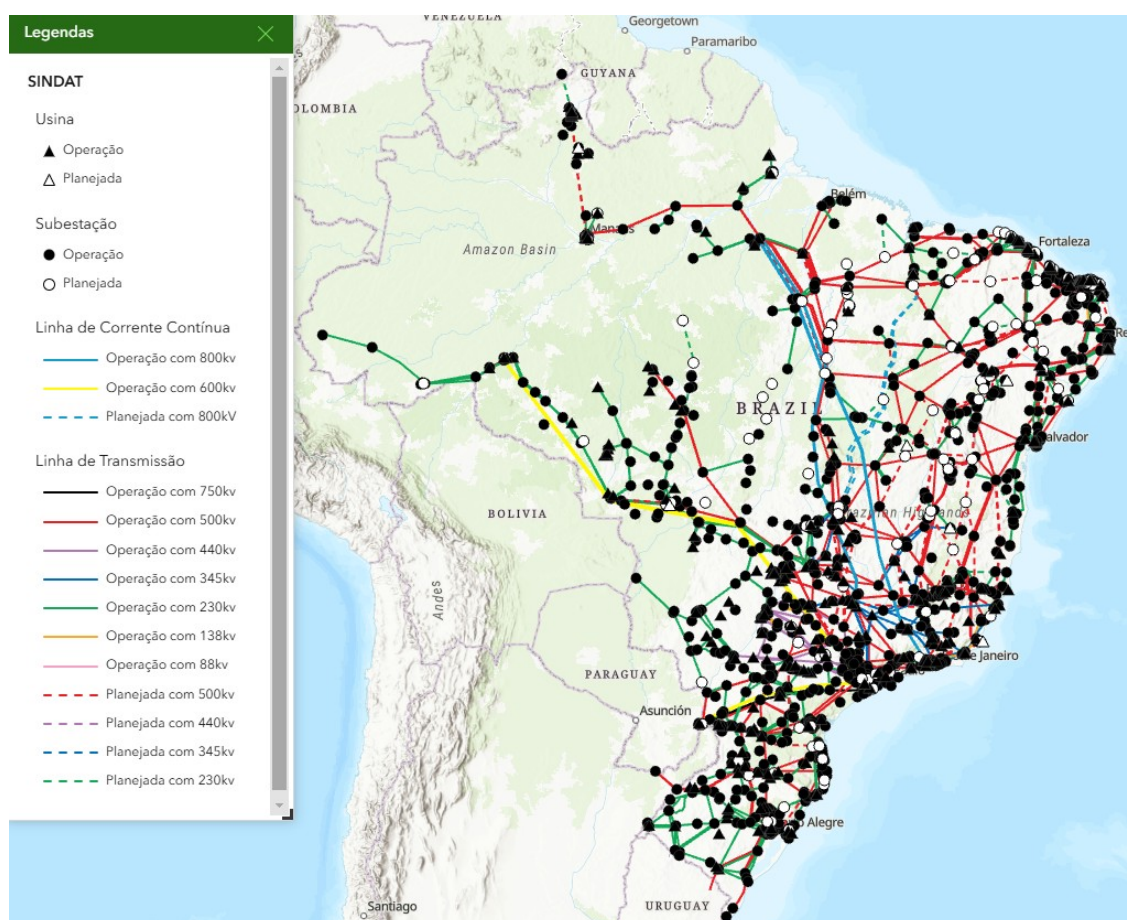
Para que a integração e coordenação do sistema sejam viáveis, também são necessários algoritmos capazes de coordenar e otimizar as operações. De fato, trata-se de uma questão complexa. Espera-se que o sistema de distribuição inteligente

envolva uma grande quantidade de dispositivos elétricos conectados à rede, o que torna o desenvolvimento de softwares adequados ainda mais interessante e desafiador (MOLZAHN *et al.*, 2017).

3 CENÁRIO BRASILEIRO

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas. O SIN é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte (ONS, 2025). A estrutura do SIN e a localização das usinas e linhas de transmissão podem ser observadas na Figura 14.

Figura 14 – Estrutura do SIN.

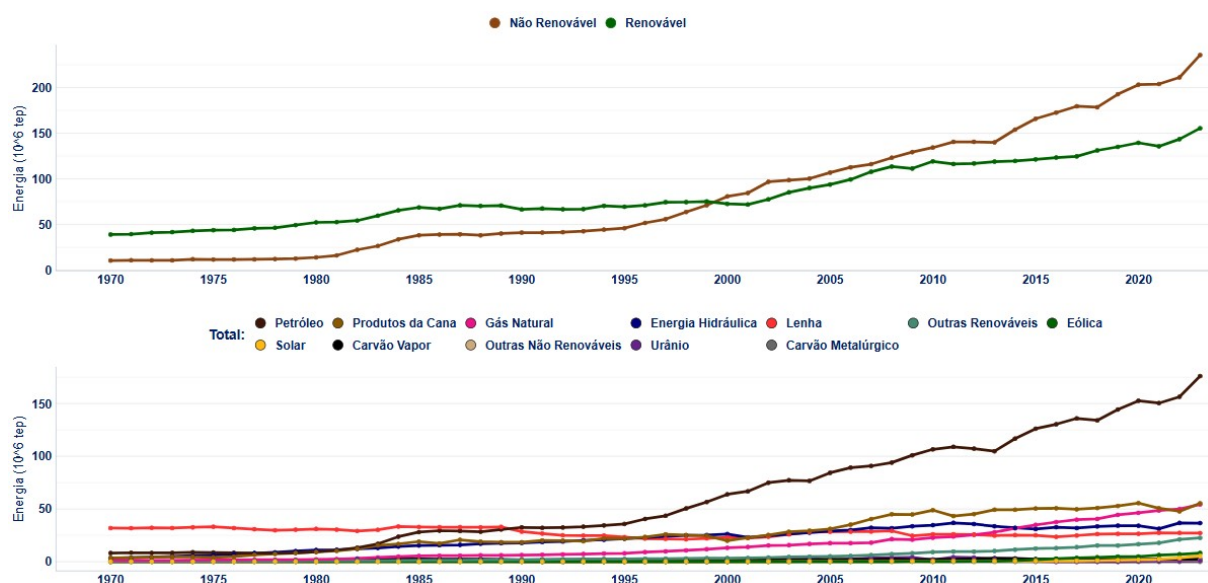


Fonte: ((ONS), 2025).

Não apenas no Brasil, mas em diversas partes do mundo, as redes elétricas têm sofrido uma transformação, com um ritmo de inovação que hoje é mais acelerado do que nunca. Em particular, a modalidade de MMGD tem-se expandido de maneira surpreendente (MME, 2019). A incorporação de novas tecnologias à rede elétrica, como veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia e outros elementos conhecidos como Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), está abrindo um vasto leque de oportunidades de negócios e novas formas de utilização para todos os usuários da rede. De acordo com estudos recentes, até 2030, os REDs poderão ser responsáveis por cerca de 19% da demanda de energia elétrica no Brasil (EPE, 2021).

Atualmente, o Brasil possui uma parcela significativa de energia renovável em sua matriz energética, cerca de 48% - muito acima da média global, que gira em torno de 13,5% (EPE, 2024b). No passado, o percentual de fontes renováveis era ainda mais expressivo, devido à predominância da geração hídrica, conforme ilustrado na Figura 15. Embora o percentual de renováveis já esteja em um nível considerável, existem diversos outros fatores que justificam o crescente interesse pelo tema das CERs no Brasil, como o alívio da rede de transmissão proporcionado pela GD, por exemplo.

Figura 15 – Histórico da Produção de Energia Primária no Brasil.



Fonte: (EPE, 2025).

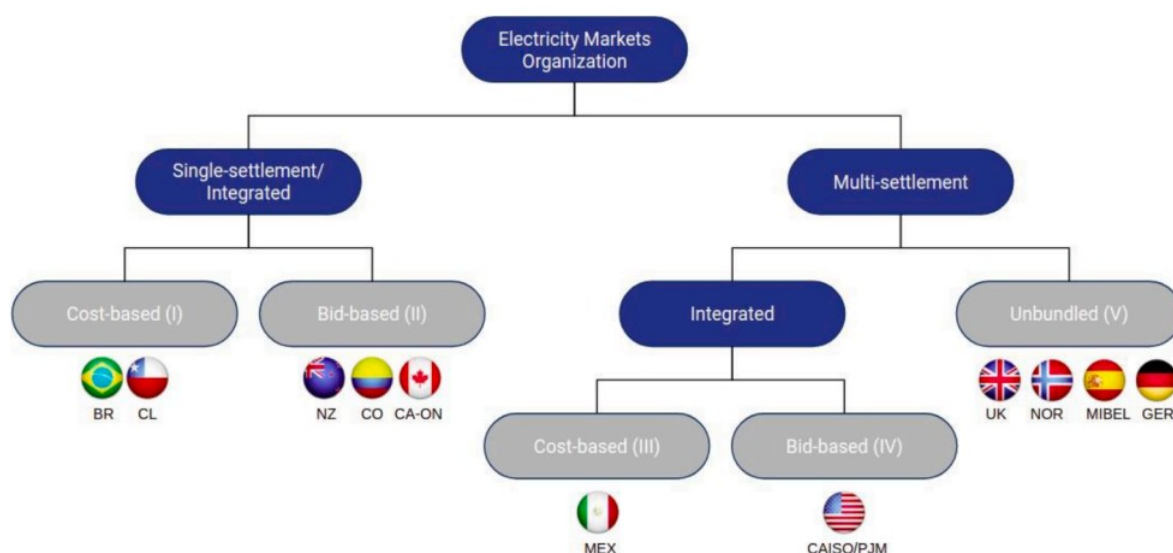
Diante desse contexto promissor, este capítulo se dedica a analisar as possíveis modelagens e os aspectos aplicáveis à integração da CER proposta no Capítulo 4, considerando tanto o Ambiente de Contratação Regulado (ACR) quanto o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Para isso, são apresentadas as principais estruturas de comercialização disponíveis em cada ambiente de comercialização brasileiro, com foco nas suas implicações práticas para o funcionamento de uma CER no Brasil.

3.1 Mercado de Energia Brasileiro

A depender do país, o tipo de organização do mercado de eletricidade pode variar, conforme ilustrado na Figura 16. No Brasil, por exemplo, os preços são definidos com base no custo marginal da energia, refletindo o Custo Marginal Operacional (CMO) da última unidade geradora necessária para atender à demanda. Embora essa abordagem simplifique o processo de transação e ajude a manter a estabilidade do sistema, ela também enfrenta desafios, especialmente com o aumento da participação de fontes de energia renováveis intermitentes, que requerem maior flexibilidade e

ajustes em tempo real no gerenciamento do sistema elétrico (RIBEIRO *et al.*, 2023). Neste cenário, atualmente, encargos estão sendo implantados para minimizar esse problema e todos os usuários finais de energia elétrica no SIN pagam por essa reserva, incluindo os consumidores livres, os especiais e os autoprodutores na parcela da energia decorrente da interligação ao SIN (ANEEL, 2024b).

Figura 16 – Tipos de Mercado de Eletricidade.



Fonte: (RIBEIRO *et al.*, 2023).

O modelo do mercado de energia brasileiro foi inicialmente estruturado visando atrair grandes investimentos privados e criar competição nos setores de geração e comercialização, mas enfrenta desafios significativos relacionados à sua eficácia e eficiência. Devido à grande contribuição das usinas hidrelétricas, atualmente o SIN é vulnerável a riscos hidrológicos, que têm afetado a confiabilidade do fornecimento (RIBEIRO *et al.*, 2023). Como mencionado nos capítulos anteriores, projetos de CERs podem contribuir para aumentar a confiabilidade do sistema ao descentralizar a geração de energia, reduzindo, assim, a dependência de limites de transmissão que hoje é um 'gargalo' no SEB.

Atualmente, há dois ambientes de comercialização no mercado de energia brasileiro: o ACL e o ACR. A qualidade e segurança da oferta de energia são as mesmas para consumidores livres e cativos. A diferença está na compra da energia: os consumidores cativos (ACR) têm tarifas reguladas e pagam pela energia com base em contratos de longo prazo, absorvendo riscos como variação cambial e custos adicionais de geração, como as bandeiras tarifárias, por exemplo. Já os consumidores livres podem negociar sua energia diretamente, assumindo a responsabilidade por gerir os riscos e incertezas relacionados à contratação (ENERGIA, 2025).

Embora o desenvolvimento inicial do SEB tenha sido marcado pelos grandes centros geradores hidrelétricos e pela tímida participação do Mercado Livre de Energia

(MLE), a ANEEL tem-se empenhado em promover melhorias ao longo dos anos. Exemplos disso incluem a expansão do MLE para consumidores de menor porte e a regulamentação da GD. Vale destacar que o MLE está inserido no ACL, enquanto a GD se encontra no ACR.

3.1.1 Ambiente de Comercialização Regulado

O ACR é o ambiente com a maioria dos consumidores brasileiros, em termos de unidades. Isso ocorre porque residências e pequenos comércios, com baixo consumo e sem viabilidade para migração para o ACL, continuam sendo atendidos pelas distribuidoras de energia. Este ambiente é caracterizado por contratos de fornecimento que buscam garantir a segurança do suprimento e a previsibilidade de preços, mas também pode levar a preços mais altos devido à regulação rígida e acionamento de bandeiras tarifárias. No ACR, as tarifas são fixadas pela ANEEL e incluem componentes regulatórios e tributários, que podem representar uma parte significativa do custo total da energia (BURIN; FOGLIATTO; HSUAN, 2023). Vale destacar que esses consumidores, a maioria enquadrados como grupo B, ainda não têm a possibilidade de migrar para o MLE e escolher seus fornecedores de energia.

Por outro lado, no mercado regulado, os consumidores podem gerar sua própria energia por meio da GD, uma modalidade que, como discutido ao longo deste trabalho, apresentou ampla adesão, especialmente devido à maior acessibilidade da tecnologia de geração fotovoltaica para pequenas residências. Atualmente, no Brasil, além de consumir a energia gerada instantaneamente, é possível acumular créditos quando há excedente na produção, por meio de um sistema conhecido como Net Metering (WAY2, 2025). O Net Metering, ou SCEE, como visto no capítulo anterior, permite que a energia excedente gerada pelos prosumidores seja injetada na rede elétrica e posteriormente compensada na fatura de energia, resultando em vantagens econômicas e incentivando práticas sustentáveis (EDP, 2025).

Nesse contexto, o avanço e a segurança jurídica da geração distribuída dependem diretamente das regulamentações vigentes, que estabelecem os critérios técnicos e econômicos para sua operação. As regulações envolvidas na GD são fundamentais para o desenvolvimento e a implementação de sistemas de energia descentralizada, como as CERs, por exemplo. Na Tabela 5, foram dispostas as principais regulações brasileiras envolvidas no âmbito da MMGD.

Essas regulamentações possibilitam que consumidores e geradores se unam de diferentes maneiras para cooperar e compartilhar créditos entre si, dando origem a modalidades como cooperativas, associações e outras formas jurídicas, conforme destacado na citação abaixo. Em outros países, as cooperativas de energia renovável se desenvolveram como uma forma de comunidade energética, mas no Brasil, essa

⁵ *Net Metering*, ou Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), permite que a energia gerada pelos prosumidores seja usada para reduzir o consumo ou injetada na rede. O excedente é compensado na conta de energia, trazendo benefícios financeiros e promovendo a sustentabilidade.

Tabela 5 – Principais Regulações da GD

Regulação (Ano)	Descrição
Resolução ANEEL nº 1000 (2021)	Incorpora a maioria dos tópicos da REN 482 (revogada) e as regras de GD, além de outras questões relativas aos serviços de distribuição.
Lei nº 14.300 (2022)	Implementa a nova Lei de Geração Distribuída, regulamentando o setor e assegurando maior segurança jurídica e previsibilidade para o mercado.
Resolução ANEEL nº 1059 (2023)	Regulamenta a Lei nº 14.300 e aprimora a regulação da GD, garantindo que os consumidores possam participar de forma transparente e eficiente, com foco nos direitos dos consumidores, nos procedimentos de acesso e no faturamento da energia gerada.

Fonte: Adaptado de (ALFING, 2023)

configuração ainda é incipiente. De acordo com (SIQUEIRA, 2023), em São Paulo, as iniciativas de cooperativas muitas vezes são impulsionadas por empresas privadas que utilizam a estrutura cooperativa como um meio para viabilizar seus modelos de negócio, em vez de serem genuinamente coletivas e baseadas nos princípios cooperativistas.

Dentre as modalidades de participação no SCEE, estão a geração distribuída em Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (EMUC) e a geração compartilhada. A primeira se caracteriza pela divisão da energia elétrica gerada entre os participantes, que, apesar de consumirem a eletricidade separadamente, devem estar situados em um mesmo local, como é o caso de apartamentos ou casas em um condomínio, ou lojas situadas em um shopping ou em um prédio comercial, por exemplo, em que cada membro recebe uma porcentagem da eletricidade produzida. Já a geração compartilhada é quando há um acordo entre membros que têm suas UCs situadas em locais diferentes ao da geração e se unem por meio de uma associação civil, como um consórcio ou cooperativa, recebendo, cada um, uma porcentagem da eletricidade produzida pelo projeto de GD (BRESSIANI, 2025).

Além das modalidades mencionadas anteriormente, o SCEE também contempla a modalidade de autoconsumo, tanto local quanto remoto. Esta categoria exerce uma grande influência no modelo de produção descentralizada no Brasil, permitindo que consumidores residenciais gerem sua própria eletricidade e injetem o excedente não consumido na rede elétrica. Esse excedente pode ser utilizado dentro do período de faturamento ou, caso não seja totalmente consumido no mês, transformado em créditos para compensar o consumo nos meses subsequentes, com validade de até 60 meses (BRESSIANI, 2025).

Diante do exposto, conclui-se que, no contexto brasileiro, já existem alternativas viáveis para a modelagem de uma CER no âmbito da GD, desde que a estruturação seja feita de forma adequada. Formatos como associações, cooperativas ou unidades

consumidoras se apresentam como opções plausíveis dentro do ACR. No Capítulo 4, essa viabilidade é explorada por meio de um estudo de caso, que analisa o desempenho e as implicações operacionais da modelagem proposta para uma CER.

3.1.2 Ambiente de Comercialização Livre

A ideia do ACL é permitir que consumidores escolham seus fornecedores de energia e negociem contratos diretamente, buscando melhores preços e condições. Este ambiente é associado a uma maior competitividade, onde as empresas devem se adaptar às necessidades dos consumidores e oferecer preços mais atrativos. No ACL, não há bandeiras tarifárias, o que significa que os consumidores podem negociar longos contratos com base em seu perfil de consumo, o que proporciona maior previsibilidade em termos de custos (BURIN; FOGLIATTO; HSUAN, 2023). Apesar disso, vale destacar que neste ambiente também incidem encargos, o que pode degradar a previsibilidade dos custos.

Considerando que, atualmente, a participação de pequenos consumidores no ACL ainda é bastante limitada (BURIN; FOGLIATTO; HSUAN, 2023), e com o objetivo de facilitar o acesso ao mercado livre de energia para pequenos consumidores, foram implementadas medidas como a inclusão da figura do varejista no processo de abertura do mercado. Para que essa inclusão fosse legalmente viável, foi necessária a alteração da Lei 10.848/04 pela Lei 14.120/21, que passou a contemplar o varejista, anteriormente previsto apenas na REN 570/2013.

A figura do comercializador varejista, também conhecida na Europa como agregador, tem sido apontada em diversos estudos como uma das melhores alternativas para promover o equilíbrio e a coordenação das microrredes, além de permitir o controle dos dispositivos energéticos de cada consumidor. Esse modelo também oferece suporte ao pequeno consumidor e ao autoprodutor de energia no mercado livre (BURGER *et al.*, 2017). Em resumo, pode-se dizer que a comercialização varejista foi criada com o objetivo de facilitar a migração de consumidores para o mercado livre, ao mesmo tempo que gerencia os riscos e as oportunidades da compra e venda de energia para seus clientes. Ao ser representado por essas empresas, o consumidor não precisa se preocupar com os detalhes do processo de contratação de energia (CCEE, 2025).

De acordo com o exposto acima, a abertura do MLE no Brasil está sendo gradual e foi estruturada por meio da criação do Comercializador Varejista. Foi a Portaria 50/2022 do Ministério de Minas e Energia (MME) a responsável por atualizar as regras para permitir a migração de consumidores com cargas menores que 500 kW para o mercado livre, destacando a obrigatoriedade da representação por parte dos comercializadores varejistas. Na Tabela 6 são mostradas as principais regulamentações para a abertura do mercado e a inclusão do comercializador varejista.

Tabela 6 – Principais Regulamentações: Abertura do Mercado

Item	Descrição
Lei nº 10.848/2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica e estabelece as diretrizes para este setor.
Resolução Normativa ANEEL nº 570/2013	Regula a operação dos comercializadores varejistas, definindo seus direitos, deveres e condições de atuação.
Resolução Normativa ANEEL nº 654/2015	Altera a Resolução nº 570 e trata dos procedimentos de comercialização elétrica.
Portaria nº 514/2018	Inicia o cronograma de redução de cargas para migração ao mercado livre, permitindo que consumidores com carga elevada migrem para o mercado livre.
Portaria nº 465/2019	Continua a redução de limites de carga para consumidores migrantes e estabelece um cronograma para abertura do mercado para consumidores com carga inferior a 500 kW.
Lei nº 14.120/2021	Introduz normas sobre a inadimplência e segurança jurídica para comercializadores varejistas.
Portaria nº 50/2022	Concede o direito de escolher o fornecedor de energia elétrica a todos os consumidores do Grupo A, composto por aqueles que são atendidos em média e alta tensão, a partir de janeiro de 2024.

Fonte: (ALFING, 2023)

Dessa forma, conclui-se que a possibilidade de uma CER interagir com o mercado de energia por meio do acesso ao MLE, via comercializador varejista, representa uma perspectiva promissora. Esse modelo viabiliza a participação de consumidores de menor porte, permitindo que negociem sua energia de maneira mais flexível, eficiente e alinhada com as dinâmicas do mercado livre, ampliando as oportunidades para a consolidação de iniciativas comunitárias no setor elétrico.

Dentro do ambiente livre ACL, assim como na GD, é possível que o consumidor gere sua própria energia (prosumidor) e conecte sua instalação à rede elétrica para despachar o excedente de produção. Para isso, é necessário que o agente seja modelado como autoprodutor na CCEE e também seja registrado na ANEEL. A autoprodução de energia tem ganhado cada vez mais destaque e, tanto no contexto residencial quanto industrial, tende a se expandir consideravelmente, principalmente devido à queda nos preços da tecnologia necessária, especialmente no caso da geração fotovoltaica. (MOURA; BRITO, 2019) (CCEE, 2022).

A modelagem do autoprodutor no MLE não só possibilita a aquisição de energia proveniente de fontes renováveis, mas também permite que os consumidores negociem a energia gerada entre si, promovendo uma maior integração e sustentabilidade no sistema. O modelo ainda permite que os consumidores realizem comunhão tanto de fato (áreas contíguas) como de direito (mesmo CNPJ), possibilitando otimizar o consumo e reduzir custos. Como essa modelagem é dentro do ambiente livre, os

consumidores são de maior porte e, por consequência, torna-se um processo mais burocrático e de maior responsabilidade, em comparação com autoproduzir sua energia no ambiente cativo - ACR. Apesar disso, ao participar desse ambiente, os consumidores ganham maior autonomia, podendo gerenciar a produção e o consumo de energia de maneira mais sustentável e economicamente vantajosa (MOURA; BRITO, 2019) (CCEE, 2022).

A Tabela 7 a seguir apresenta uma comparação entre a GD e o MLE, destacando as principais diferenças entre esses dois modelos. São abordados aspectos como a gestão de excedentes de energia, as possibilidades de venda, as limitações territoriais e a formação de preços.

Tabela 7 – Comparação entre GD e MLE

GD	MLE
Energia excedente é compensada na próxima fatura de unidade consumidora de mesma titularidade, com validade de cinco anos.	Excedentes podem ser negociados no mercado, com preços definidos por contrato.
A venda é proibida, é permitido apenas a compensação.	A venda de energia é permitida.
A GD tem restrição territorial: os créditos podem ser alocados apenas dentro da mesma distribuidora.	No MLE, não há restrições territoriais, permitindo negociação em todo o país.
O preço é baseado na tarifa de compensação, regulada pela ANEEL.	O preço é livremente negociado, com base na oferta e demanda.

Fonte: Adaptado de (ENERGES, 2023)

3.2 Incentivos e Atualidades

O Programa Luz para Todos foi uma iniciativa do governo federal brasileiro, lançada em 2003, com o objetivo de levar eletricidade a todas as áreas do Brasil que ainda não tinham acesso à rede elétrica, especialmente em regiões rurais, remotas e isoladas. Buscou também a promoção da cidadania e melhoria na qualidade de vida das populações brasileiras do meio rural e da Amazônia, mediante a utilização de fontes de energia renovável, considerando a sustentabilidade e a preservação do bioma Amazônia (Governo Federal, 2025). O programa foi um marco no processo de universalização do acesso à energia elétrica no Brasil, impactando positivamente milhões de brasileiros e ajudando a reduzir as desigualdades entre áreas urbanas e rurais.

No final de 2024, a diretoria da ANEEL autorizou a execução do projeto de Sandbox Tarifário proposto por quatro permissionárias de distribuição de energia

elétrica, que analisará o comportamento do consumidor de baixa tensão (grupo B) frente à abertura do mercado de energia. O objetivo é analisar a reação dos consumidores na livre contratação de energia, além da sensibilidade pela fonte de energia, preço, escolha da comercializadora, entre outros (ANEEL, 2024a). Esses projetos são essenciais para que o pequeno consumidor possa ter maior liberdade de escolha e ser mais ativo no que diz respeito ao consumo energético, características essenciais para o projeto de uma CER.

3.3 Perspectivas e Desafios

A modernização do SEB é uma necessidade fundamental para o país, trazendo benefícios como a incorporação de tecnologias inovadoras na rede, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o fortalecimento da segurança energética. Neste contexto, a inclusão das CER, por meio da produção de energia renovável, surge como uma alternativa eficaz para otimizar o consumo e alcançar os objetivos ambientais. A forte penetração de renováveis, que é de certa forma um conforto nas metas de descarbonização para o Brasil frente a outros países, pode estar contribuindo para o fato de que o tema CER não é frequentemente abordado como na Europa.

No contexto da estrutura da rede de distribuição, ainda que o SEB esteja avançando cada vez mais no âmbito das microrredes, ainda há muito trabalho a ser feito, pois as microrredes brasileiras ainda estão fortemente no contexto acadêmico e pouco desenvolvidas no contexto comercial. Uma das maiores barreiras é a questão da falta de regulamentação e, nesse sentido, há muitos desafios e oportunidades dentro do contexto das microrredes (BORGES, 2016). Diversos estudos apontam benefícios para a concessionária de energia ao ter uma microrrede instalada na sua área de concessão, como, por exemplo, a diminuição dos custos de operação (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Em relação à estrutura do mercado de energia, a transição para um modelo mais liberalizado, no qual os consumidores possam escolher entre o ACL e o ACR, é um objetivo crucial para o setor elétrico brasileiro. A promoção do ACL busca aumentar a eficiência do mercado, mas também levanta preocupações sobre a inclusão dos consumidores de menor porte, além da necessidade de proporcionar educação adequada para que eles possam compreender e navegar nesse novo ambiente (BURIN; FOGLIATTO; HSUAN, 2023). Nesse contexto, projetos de CER podem se beneficiar à medida que a liberdade de escolha entre os diferentes ambientes de contratação de energia seja ampliada.

De acordo com o trabalho feito em (MARTINS; FERNANDES; HELDWEIN, 2020), a coordenação conjunta entre os ambientes ACR e ACL pode impulsionar não apenas a energia solar fotovoltaica, mas também a inclusão de microrredes no sistema

elétrico. Considerando que o conceito de CER engloba o conceito de microrrede, é possível extrapolar as conclusões deste artigo para o tema CER. Nesse contexto, destaca-se a importância de um marco regulatório adequado para a integração das CERs, que se mostram como um mecanismo interessante para a interligação e troca de energia entre os dois ambientes de comercialização, ainda podendo fornecer serviços para a rede.

Diante do exposto, observa-se que o Brasil está avançando cada vez mais rumo a um cenário de abertura total de mercado, com previsão de liberalização total até 2028. Nesse sentido, é fundamental criar mecanismos para a micro e a minigeração, o que tem sido feito por meio de iniciativas como o Decreto da Lei nº 14.300, sancionado no início de 2022. Apesar das polarizações políticas no Brasil e das transições de governo nos órgãos responsáveis pelo setor elétrico, como a EPE, por exemplo, é possível observar um esforço significativo do país para investir e subsidiar o desenvolvimento do setor energético (EPE, 2022) (ANEEL, 2022).

Embora existam exemplos internacionais e um grande potencial para que as cooperativas se tornem comunidades energéticas no Brasil, a realidade atual demonstra que essas iniciativas podem enfrentar desafios consideráveis. Entre os principais obstáculos estão as dificuldades de financiamento, que dificultam a implementação e expansão de projetos, o foco exclusivo no retorno financeiro e as possíveis dificuldades com as concessionárias de energia. Esses fatores combinados podem limitar significativamente a eficácia e o desenvolvimento das cooperativas modeladas como CERs, impedindo que aproveitem plenamente seu potencial para contribuir para um sistema de energia mais sustentável e acessível.

Apesar dos desafios, as CERs também representam uma alternativa promissora para regiões do Brasil ainda não interligadas ao SIN. Conforme apresentado na Figura 14, existem áreas onde as linhas de transmissão, especialmente na região amazônica, onde a ausência de infraestrutura de transmissão inviabiliza a conexão ao SIN. Nesses casos, a implementação de CERs pode oferecer uma solução energética descentralizada, sustentável e potencialmente mais econômica do que a construção de longas e custosas linhas de transmissão. Essa abordagem pode contribuir não apenas para a universalização do acesso à energia, mas também para o desenvolvimento local, promovendo autonomia energética com menor impacto ambiental e maior alinhamento com os objetivos de transição energética do país.

Conclui-se então que, como resposta a essas complexidades presentes no SIN, propostas de modernização, como a introdução das CERs, oferecem uma oportunidade para aumentar a flexibilidade e segurança do sistema energético, ao mesmo tempo em que estimulam a adoção de fontes renováveis. Essa iniciativa não só contribuiria para a diversificação da matriz energética, mas também reduziria a

dependência das fontes hidrológicas, tornando o mercado mais resiliente.

4 ESTUDO DE CASO

Nos capítulos anteriores, foi observado que as CERs podem desempenhar um papel fundamental na transição energética, gerando benefícios tanto para os participantes quanto para o meio ambiente. Essa lógica também pode ser aplicada ao contexto de condomínios residenciais, que representam um cenário especialmente favorável para a adoção de modelos de geração compartilhada. Entre as principais vantagens, destaca-se a significativa redução dos custos com energia elétrica, possibilitada pelo compartilhamento dos benefícios da geração coletiva entre os moradores.

Além da economia, as CERs contribuem para o aumento da autossuficiência energética dos condomínios, diminuindo a dependência de fontes externas de eletricidade. Também geram impactos ambientais positivos, como a redução das emissões de carbono e o incentivo a práticas mais sustentáveis, alinhando o uso da energia à responsabilidade socioambiental.

Neste capítulo, além de modelar os principais atores envolvidos e definir suas características, serão verificados três modelos para dividir o benefício, com o objetivo de identificar qual modelo oferece as melhores vantagens para cada tipo de ator: consumidor, gerador e prosumidor. Adicionalmente, o estudo de caso busca avaliar a viabilidade de integração da CER proposta com os ambientes de comercialização.

4.1 Caracterização do Cenário Proposto

Para a simulação da CER, considera-se um bloco de apartamentos localizado em um condomínio residencial no norte da Ilha de Florianópolis. Esse bloco possui quatro andares, com oito apartamentos por andar, exceto o primeiro, que contém sete unidades, totalizando 31 apartamentos participantes da CER proposta. A Figura 17 apresenta uma vista aérea do condomínio, que já conta com um sistema de geração solar fotovoltaica instalado em sua estrutura.

Como premissa da simulação, assume-se que o conjunto de apartamentos está equipado com as ferramentas necessárias para o gerenciamento eficiente da energia e o monitoramento em tempo real do consumo. Cada unidade conta com medidores inteligentes, que permitem a coleta contínua de dados e viabilizam uma análise detalhada do comportamento energético. O balanço energético da CER será realizado no medidor de fronteira do bloco com a rede elétrica — ou seja, o ponto onde o sistema de geração se conecta à rede elétrica.

Dessa forma, considera-se que, a partir do medidor de fronteira do bloco, o sistema de geração está interligado a todos os apartamentos, permitindo o compartilhamento da energia gerada entre os moradores. Embora o modelo simule uma lógica de conexão P2P, é importante destacar que, fisicamente, o fluxo de energia

Figura 17 – Vista aérea da CER a ser estudada.

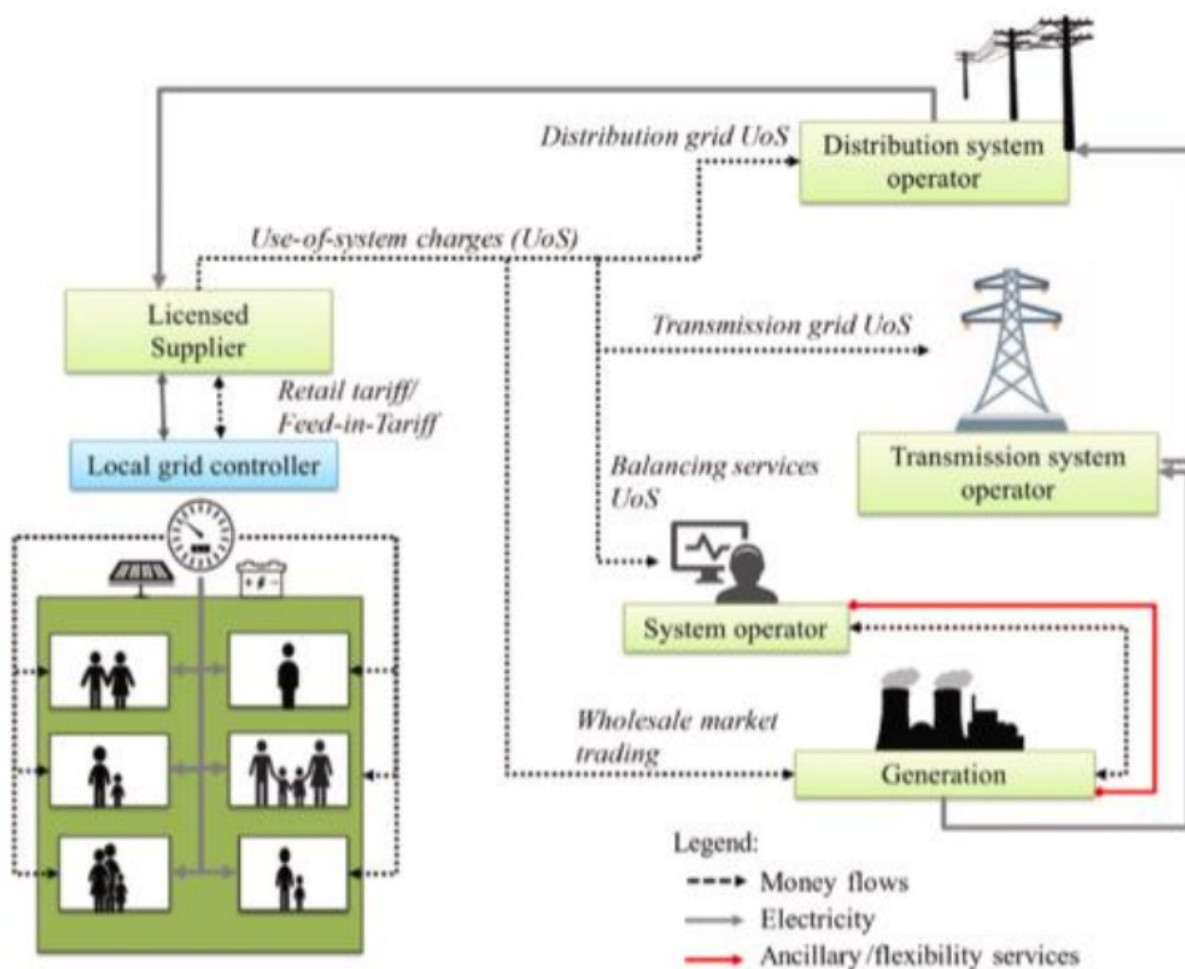
Fonte: Google Maps

ocorre de forma direta da geração para a carga, sem controle individualizado, ou seja, a energia gerada é consumida pelo conjunto de unidades conforme a demanda instantânea. No entanto, o balanço energético e a alocação dos benefícios são realizados posteriormente, com base nos dados coletados pelos medidores inteligentes instalados em cada apartamento. A Figura 18 ilustra esse modelo de negócio e sua lógica de funcionamento.

Neste estudo de caso, a composição da CER foi definida com base em três perfis de participantes: prosumidores, geradores e consumidores. Dos 31 apartamentos do bloco, 15 foram considerados como prosumidores, ou seja, moradores que adquiriram cotas de geração de energia e consomem energia normalmente em suas unidades. Além disso, foram definidos 6 apartamentos como geradores exclusivos, ou seja, unidades que também adquiriram cotas de geração, mas permanecem desocupadas e praticamente sem consumo de energia. Esses apartamentos, juntamente com os prosumidores, assumem o papel de investidores na estrutura da CER, responsáveis por viabilizar a maior parte da geração compartilhada. Por fim, os 10 apartamentos restantes foram considerados consumidores puros, sem participação na geração.

Para representar o consumo da comunidade, adotou-se como referência o

Figura 18 – Modelo de Negócio.



Fonte: (SANTANA, 2022)

perfil real de consumo de um apartamento do condomínio, obtido a partir da análise de sua fatura de energia elétrica. Com base nesse valor, os consumos das demais unidades foram estimados por meio de uma distribuição normal de probabilidade, com variações de até $\pm 30\%$ em relação ao consumo base. Essa abordagem busca simular, de forma realista, diferentes padrões de uso residencial, refletindo a diversidade de hábitos entre os moradores.

A geração de energia foi modelada com base em uma curva típica de produção fotovoltaica ao longo do dia, mantendo-se o perfil horário característico desse tipo de sistema e considerando o número de módulos fotovoltaicos instalados no bloco. Além disso, para representar a contribuição individual de cada unidade no processo de geração compartilhada, foram utilizados fatores de ajuste específicos conforme a função de cada apartamento dentro da CER — consumidor, prosumidor ou gerador exclusivo. Esses fatores representam a quantidade de cotas de geração adquiridas por cada unidade e afetam diretamente o montante de energia alocada em sua simulação.

Por exemplo, os apartamentos classificados como geradores possuem uma

alta participação na geração, mas consumo quase nulo, enquanto os consumidores têm apenas carga, sem nenhuma cota de geração. Já os prosumidores apresentam tanto consumo quanto geração, com intensidade variável de acordo com sua participação no investimento do sistema. Essa modelagem permite simular com flexibilidade diferentes cenários de alocação e rateio da energia gerada, refletindo a diversidade de perfis e acordos possíveis dentro de uma CER.

A Tabela 8 apresenta os perfis base de consumo e geração de um apartamento, utilizados como referência na simulação para definir os dados das demais unidades participantes da CER. É importante destacar que o valor de geração exibido corresponde à aquisição de uma única cota do sistema de energia.

Tabela 8 – Curva base de Consumo e Geração

Hora	Consumo (kWh)	Geração (kWh)
0	0,18	0,00
1	0,14	0,00
2	0,14	0,00
3	0,14	0,00
4	0,14	0,00
5	0,14	0,00
6	0,18	0,05
7	0,21	0,11
8	0,21	0,21
9	0,21	0,32
10	0,21	0,40
11	0,21	0,47
12	0,21	0,48
13	0,21	0,47
14	0,21	0,40
15	0,18	0,32
16	0,18	0,21
17	0,25	0,11
18	0,28	0,05
19	0,32	0,00
20	0,32	0,00
21	0,28	0,00
22	0,25	0,00
23	0,21	0,00
Total Dia	5,00	3,61
Total Mês	149,95	108,39

No Tabela 9, é apresentado o detalhamento da participação de cada Unidade Consumidora (UC) (apartamento) nas cotas de geração.

Tabela 9 – Cotas de geração por apartamento e seus coeficientes.

UC	Cotas	Coeficiente (%)
UC 01	3	9.68%
UC 02	3	9.68%
UC 03	2	6.45%
UC 04	2	6.45%
UC 05	2	6.45%
UC 06	2	6.45%
UC 07	0	0.00%
UC 08	0	0.00%
UC 09	0	0.00%
UC 10	0	0.00%
UC 11	0	0.00%
UC 12	0	0.00%
UC 13	0	0.00%
UC 14	0	0.00%
UC 15	0	0.00%
UC 16	0	0.00%
UC 17	1	3.23%
UC 18	1	3.23%
UC 19	1	3.23%
UC 20	2	6.45%
UC 21	1	3.23%
UC 22	1	3.23%
UC 23	1	3.23%
UC 24	1	3.23%
UC 25	1	3.23%
UC 26	1	3.23%
UC 27	1	3.23%
UC 28	1	3.23%
UC 29	1	3.23%
UC 30	2	6.45%
UC 31	1	3.23%
Total	31	100%

Quanto ao modelo de governança e tomada de decisão da comunidade energética proposta, foi considerado que ele será o mesmo já adotado para a gestão

do condomínio, ou seja, as decisões serão feitas por meio de uma associação de moradores, com representantes eleitos pelos próprios condôminos e decisões democráticas em assembleias.

Como o objetivo deste estudo é analisar modelos de rateio do benefício dentro da CER proposta, aspectos relacionados ao financiamento, custos de implementação e operação não serão considerados nesta análise. O foco será, portanto, na distribuição dos benefícios entre os diferentes participantes da comunidade, como consumidores, prosumidores e geradores, sem entrar nas questões financeiras e operacionais envolvidas na implementação do sistema.

4.2 Modelos de rateio

Como discutido anteriormente, a análise dos métodos de rateio é essencial para avaliar a viabilidade de uma CER. No Capítulo 2, foram apresentados três modelos distintos de rateio dos benefícios. Neste capítulo, são detalhadas as fórmulas utilizadas em cada modelo, enquanto no próximo capítulo é realizada a análise da simulação, com o objetivo de compreender como os custos e benefícios são distribuídos entre os diferentes perfis de membros — consumidores, geradores e prosumidores. A Tabela 10 resume os principais aspectos discutidos no Capítulo 2 sobre essas modalidades.

Tabela 10 – Comparação das Modalidades de Rateio dos Benefícios

Modalidade de Rateio	Critério de Rateio	Vantagens	Desvantagens
Dividido Igualmente	Benefícios distribuídos igualmente entre todos os membros, independentemente do consumo ou geração.	Simple e justo, promove equidade.	Não reflete a contribuição real de cada membro; pode desincentivar a produção de energia renovável.
Repartição Baseada em Consumo	Benefícios distribuídos proporcionalmente ao consumo de energia de cada membro.	Simple e fácil de entender.	Não reflete completamente o valor da contribuição dos geradores ou prosumidores.
Repartição Baseada em Coeficientes	Distribuição dos benefícios com base em coeficientes específicos, como consumo, geração e investimento.	Flexível, justa e personalizável, reflete contribuições diversas.	Complexo de implementar e monitorar; exige um sistema rigoroso de controle.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, são apresentadas as fórmulas que serão implementadas neste

estudo de caso para os modelos de rateio, considerando um período de 24 horas.

• Divisão Igualitária

Neste método, a energia gerada pela comunidade é somada a cada hora e repartida igualmente entre todos os apartamentos. A energia recebida por cada apartamento na hora t é dada por:

$$ER_t = \frac{\sum_{i=1}^{31} E_{i,t}}{31}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, 24\} \quad (1)$$

Em que:

- ER_t : energia repartida igualmente para cada apartamento na hora t ;
- $E_{i,t}$: energia gerada pelo apartamento i na hora t .

Como todos os apartamentos recebem a mesma quantidade de energia em cada hora, não é necessário indexar ER por apartamento.

• Repartição baseada no consumo

Neste método, a energia gerada pela comunidade em cada hora é repartida proporcionalmente ao consumo de cada apartamento naquele mesmo instante. Assim, a alocação acompanha dinamicamente o perfil de consumo horário das unidades participantes.

$$ER_{i,t} = \left(\frac{EC_{i,t}}{\sum_{i=1}^{31} EC_{i,t}} \right) \cdot G_t, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, 31\}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, 24\} \quad (2)$$

Em que:

- $ER_{i,t}$: energia repartida para o apartamento i na hora t ;
- $EC_{i,t}$: energia consumida pelo apartamento i na hora t ;
- G_t : energia total gerada pela comunidade na hora t .

• Repartição baseada em coeficientes

Neste método, a energia gerada pela comunidade em cada hora é repartida proporcionalmente a um fator de participação definido para cada apartamento, nesse caso será repartido de acordo com o número de cotas de cada apartamento, apresentado na Tabela 9. A fração recebida por cada unidade permanece constante ao longo do tempo, mas o valor absoluto depende da energia gerada em cada hora.

$$ER_{i,t} = \left(\frac{F_i}{31} \right) \cdot E_t, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, 31\}, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, 24\} \quad (3)$$

Em que:

- $ER_{i,t}$: energia repartida para o apartamento i na hora t ;
- F_i : fator de participação do apartamento i ;
- E_t : energia total gerada pela comunidade na hora t .

4.3 Implementação da Simulação

A simulação dos métodos de rateio da CER foi realizada no software Excel, com o objetivo de modelar a alocação horária dos benefícios ao longo de um período de 24 horas. Essa abordagem permite uma análise detalhada da dinâmica de distribuição da energia gerada, considerando as variações diárias e a forma como os diferentes modelos de rateio influenciam a repartição entre os participantes da comunidade.

Para calcular o custo total da operação da comunidade, foi necessário definir os preços de compra e venda da energia, aplicáveis às transações com o mercado. Esses valores foram estabelecidos no capítulo seguinte com base nas condições típicas do mercado e nas tarifas regulatórias vigentes, garantindo representatividade ao contexto brasileiro.

É importante destacar que a simulação não se baseia diretamente na economia financeira gerada, mas sim na quantidade de energia alocada a cada membro da comunidade — seja como crédito (energia excedente) ou débito (energia consumida além da cota). O foco está no balanço energético individual, determinado conforme o modelo de rateio adotado. Embora o balanço energético total da comunidade se mantenha constante em todos os métodos, a quantidade de energia atribuída a cada perfil de participante (consumidor, prosumidor ou gerador) varia, e é essa distribuição que é apresentada nos resultados.

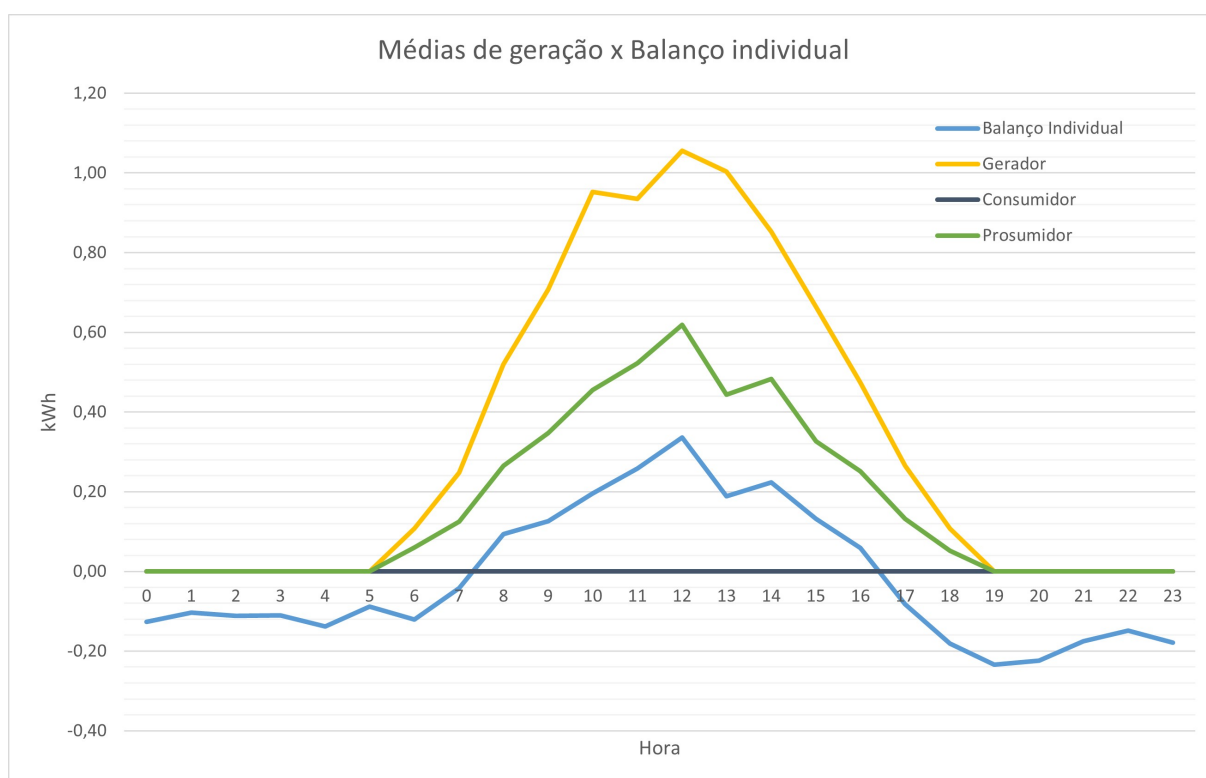
5 SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo explora a implementação dos modelos de rateio dos benefícios discutidos anteriormente, além de analisar os impactos resultantes para cada ator envolvido na CER proposta — consumidor, prosumidor e gerador. Ao final, é realizada uma avaliação do tipo de ambiente de comercialização escolhido para a CER no contexto deste estudo de caso.

5.1 Método 1: Divisão Igualitária

Conforme apresentado na equação 1, este modelo de rateio é relativamente simples, mas pode não incentivar efetivamente a geração de energia dentro da comunidade. Para sua análise, serão calculadas as médias de carga e de geração correspondentes às três categorias de membros: consumidores, prosumidores e geradores. Essas médias são obtidas agrupando os dados das unidades de mesma categoria. Por exemplo, a média de geração dos geradores considera o desempenho conjunto de seis apartamentos, conforme definido na caracterização do cenário proposto.

Figura 19 – Curvas de Geração x Alocação Individual.

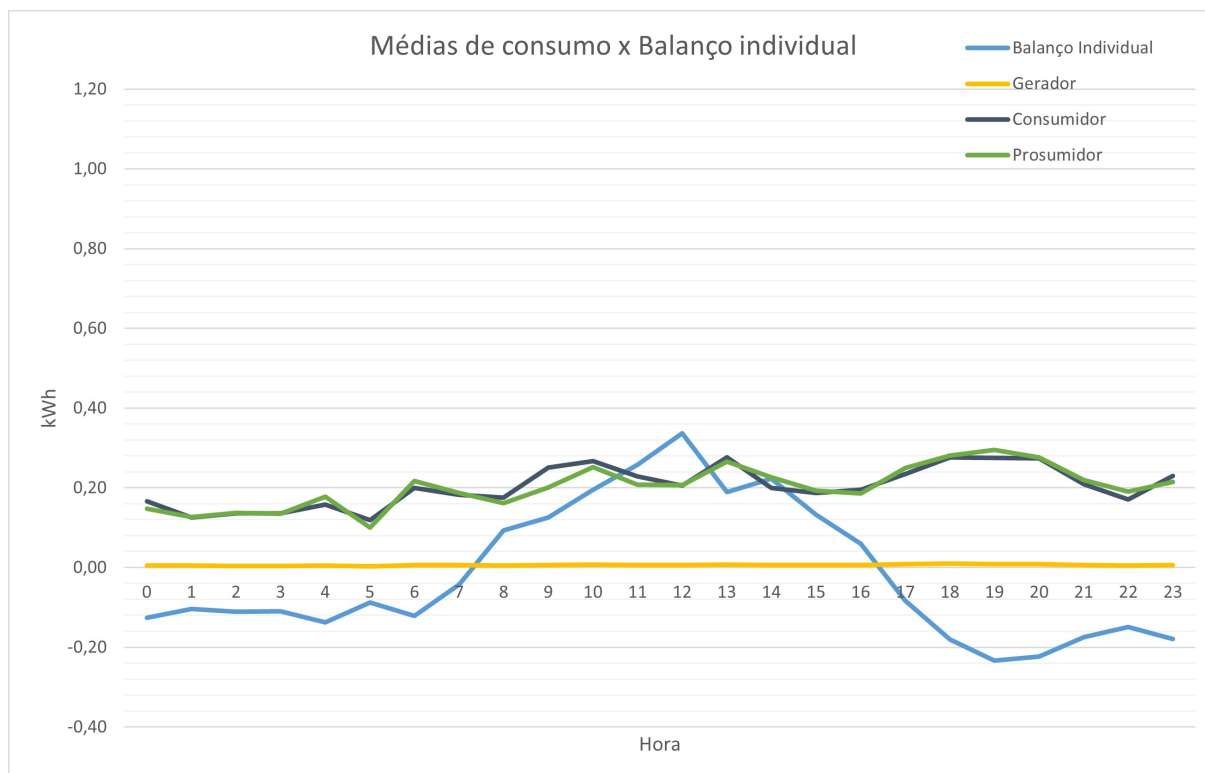


Fonte: Autoria Própria

A partir das Figuras 19 e 20, observa-se que as médias dos perfis de geração dos diferentes tipos de membros são proporcionais às cotas adquiridas e distantes do balanço individual. Dessa forma, percebe-se que, de fato, os consumidores são os

mais beneficiados, uma vez que não geram energia, mas participam do rateio. Além disso, considerando que os geradores consomem pouca energia, eles podem estar ainda mais prejudicados em comparação aos outros membros, o que não incentiva a geração dentro da comunidade.

Figura 20 – Curvas de Carga x Alocação.

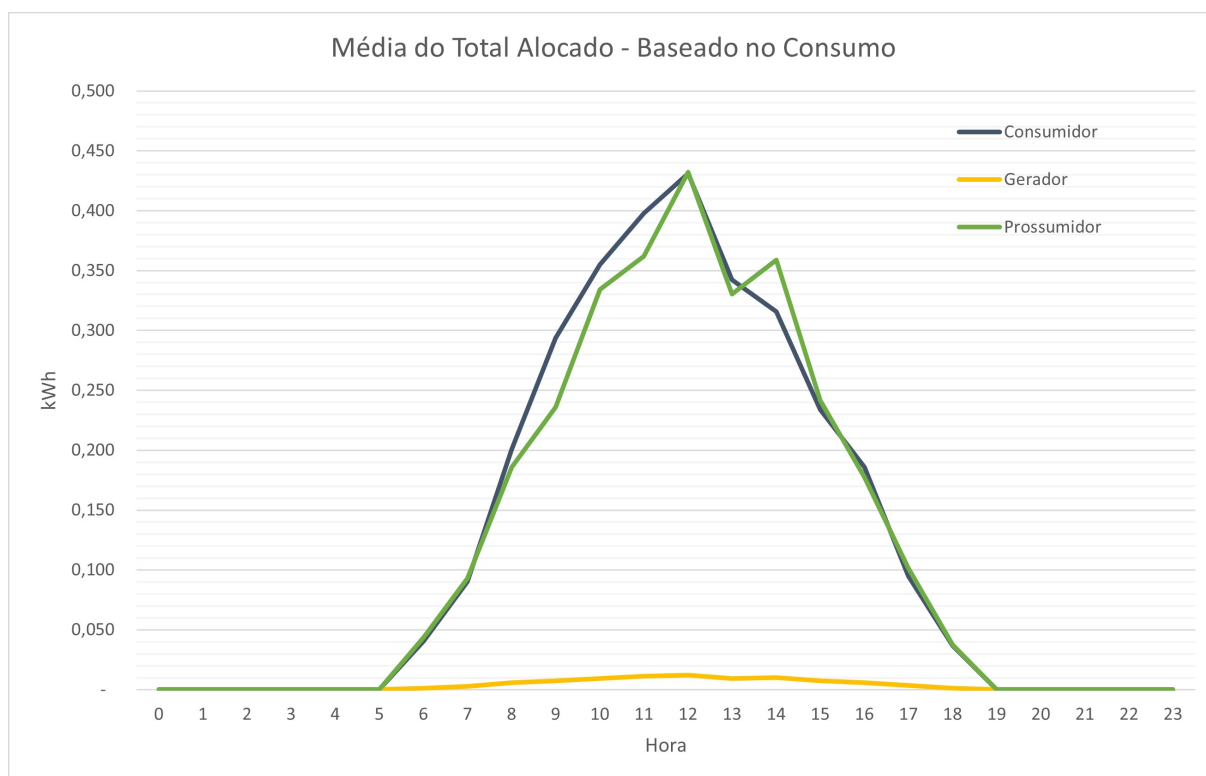


Fonte: Autoria Própria

5.2 Método 2: Pelo consumo

Para simular esta modalidade de rateio, que é baseada no consumo, foi calculado o consumo total da CER durante uma hora e, em seguida, determinado um percentual correspondente para cada UC. Os resultados da simulação podem ser visualizados na Figura 21. Como é sugerido pelo nome do método, observa-se que a maior parte da energia foi atribuída aos consumidores e prosumidores, que são os que mais consomem dentro da comunidade.

Esse método é interessante e fácil de implementar, mas não promove a redução e eficiência do consumo nem estimula o investimento em geração de energia. Isso ocorre porque os geradores, que são responsáveis por produzir uma parte significativa da energia na comunidade, acabam recebendo uma alocação menor no rateio do benefício.

Figura 21 – Curvas de Alocação.

Fonte: Autoria Própria

5.3 Método 3: Por coeficiente

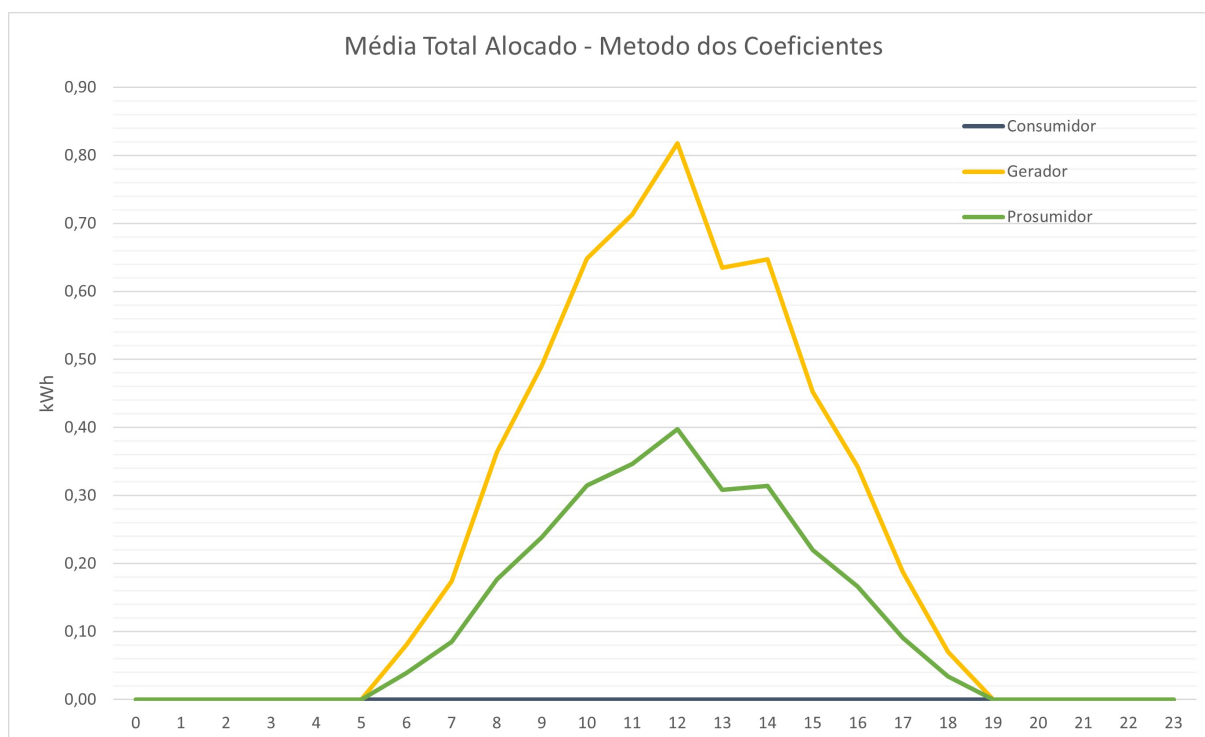
Este método, neste estudo de caso em específico, pode ser entendido como um sistema em que a geração de energia é organizada em cotas, as quais são distribuídas e/ou adquiridas pelos membros da comunidade. Dessa forma, o direito ao benefício seria proporcional à quantidade de cotas que cada participante detém. Caso as cotas fossem distribuídas igualmente, ou seja, todo membro tem direito a uma mesma quantia do rateio, pode-se imaginar que o resultado seria o mesmo do primeiro método visto neste capítulo.

Apesar disso, há diversas maneiras de definir o tipo do coeficiente, a depender do objetivo de cada CER. Para esta simulação, assume-se que os coeficientes da CER proposta correspondem às aquisições de cotas do sistema de geração fotovoltaica. Nesse contexto, considera-se que as UCs (apartamentos) classificadas como geradoras possuem um número maior de cotas de geração em comparação aos prosumidores.

Considerando os coeficientes apresentados na Tabela 9, a simulação da alocação pode ser observada na Figura 22. Como era de se esperar, a maior alocação do benefício foi destinada aos geradores, visto que possuem maior quantidade de cotas no sistema de geração solar. Também é possível observar que os prosumidores receberam aproximadamente metade da alocação dos geradores. Por outro lado, os consumidores não receberam energia alocada, uma vez que não possuem cotas no

sistema.

Figura 22 – Curvas de Alocação - Coeficientes Estudo de Caso.



Fonte: Autoria Própria

5.4 Análise dos resultados

O objetivo da análise foi examinar como os diferentes modelos de rateio afetam os três tipos de atores envolvidos. No modelo da Divisão Igualitária, observa-se que tanto os geradores quanto os prosumidores geram energia, mas apresentam déficits em algumas horas do dia, já que os consumidores, por sua vez, apenas consomem energia e não contribuem para a geração. Apesar disso, esse modelo favorece um ambiente de igualdade e cooperativismo entre os membros da comunidade.

Por outro lado, no método pelo Consumo, consumidores e prosumidores continuam recebendo mais energia alocada, conforme esperado. Embora esse modelo não incentive a geração nem a eficiência energética, ele é simples e fácil de implementar. Já no método por Coeficiente, os geradores foram os mais beneficiados, pois detêm uma maior quantidade de cotas no sistema de geração. O custo total de cada método pode ser verificado na Tabela 11.

Vale ressaltar que, devido à simplicidade do processo e com o objetivo de simular um possível benefício ou incentivo às CERs, os preços de compra e venda foram considerados os mesmos, tanto na GD, com valor de R\$ 0,50 por kWh, quanto no MLE, com valor de R\$ 0,39 por kWh, já incluindo encargos. Ambos os preços representam uma redução significativa em comparação à modalidade cativa, onde o

preço do kWh gira em torno de R\$ 0,70.

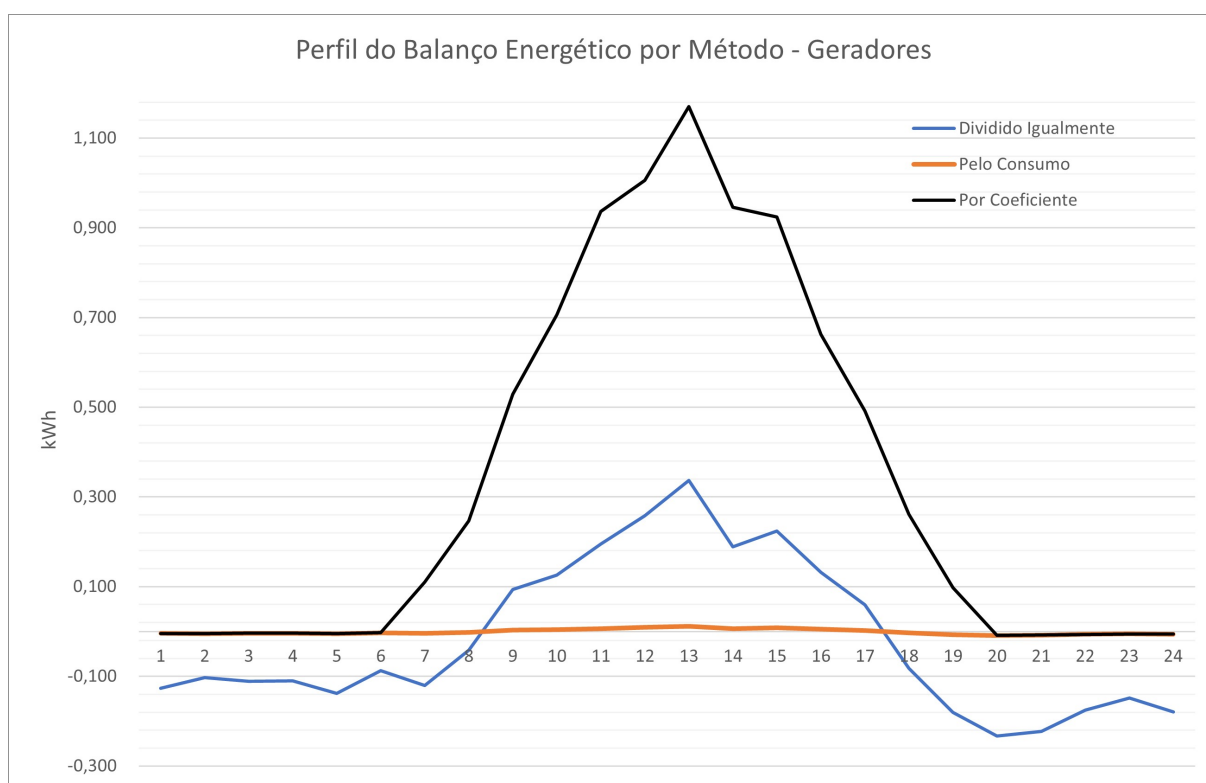
Tabela 11 – Comparação de Custo Total: Métodos de Rateio (GD vs MLE)

Método de Rateio	Custo na GD	Custo no MLE
Dividido Igualmente	R\$ 23,91	R\$ 18,65
Pelo Consumo	R\$ 23,91	R\$ 18,65
Por Coeficiente	R\$ 23,91	R\$ 18,65

Fonte: Autoria Própria.

Como era esperado, o custo total da CER permanece inalterado ao variar o método de rateio do benefício dentro da mesma modalidade. Ou seja, como o balanço energético diário é o mesmo para todos os modelos de rateio, a sobra ou o déficit será valorado de acordo com o preço da modalidade. O que realmente varia são os custos atribuídos a cada ator. Na Figura 23, é possível observar a quantidade de energia alocada aos geradores para cada método de rateio. Note que o método por coeficiente é o que mais aloca energia a esse ator, seguido pelo método de divisão igualitária e, por último, o método baseado no consumo. A curva de custo do gerador apresentará o mesmo perfil mostrado nesta figura, mas com os valores ajustados conforme o preço definido por kWh.

Figura 23 – Balanço Energético por Método - Geradores.



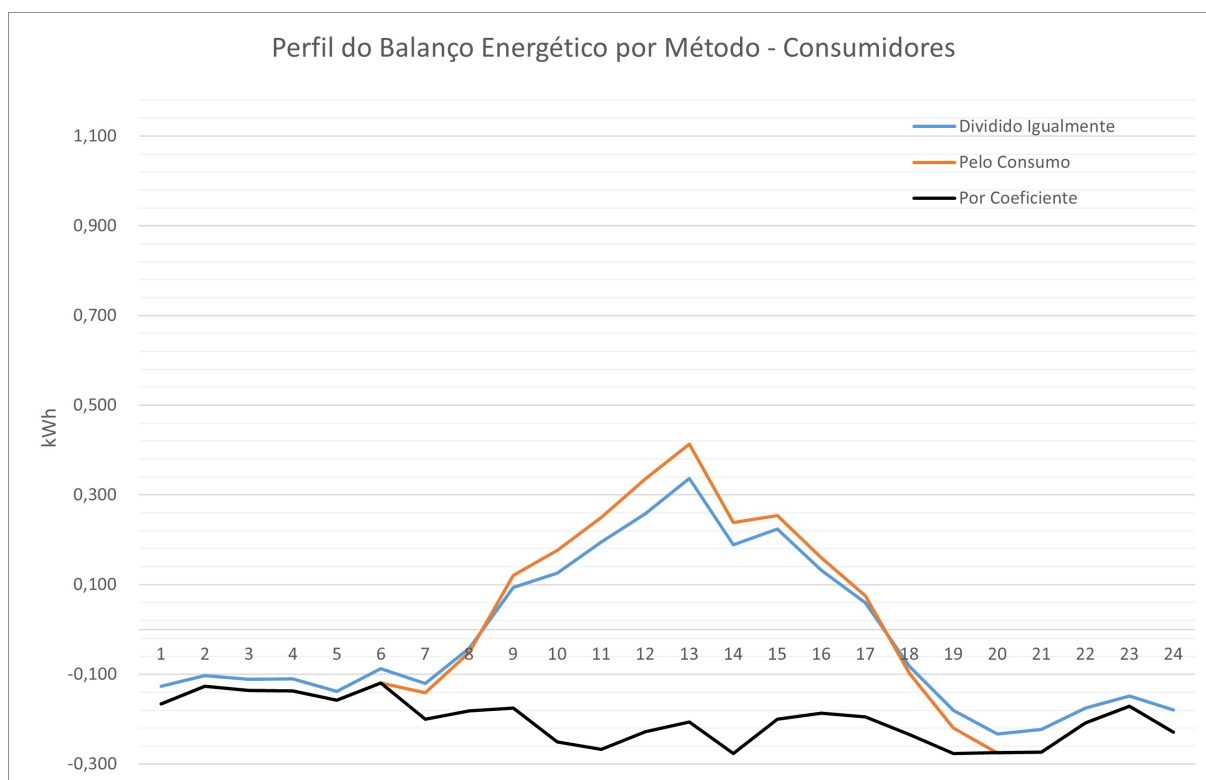
Fonte: Autoria Própria

A alocação de energia para os consumidores, com base na variação dos

métodos de rateio, pode ser observada na Figura 24. Nota-se que o perfil de alocação nos métodos de divisão igualitária e baseado no consumo apresenta características semelhantes, com valores negativos em algumas horas do dia, indicando um consumo superior ao valor alocado, e valores positivos em outras, quando o consumo é inferior ao montante alocado. Esses métodos tendem a gerar uma distribuição mais equilibrada de energia ao longo do dia, mas com algumas flutuações que refletem a dinâmica de consumo dos membros.

Por outro lado, o método por coeficiente é o que oferece menos benefício a esse grupo. Isso ocorre porque, neste estudo de caso, assumiu-se que os membros puramente consumidores não adquiriram cotas do sistema de energia fotovoltaica, o que limita sua participação na geração e, conseqüentemente, os benefícios resultantes dessa alocação.

Figura 24 – Balanço Energético por Método - Consumidores.

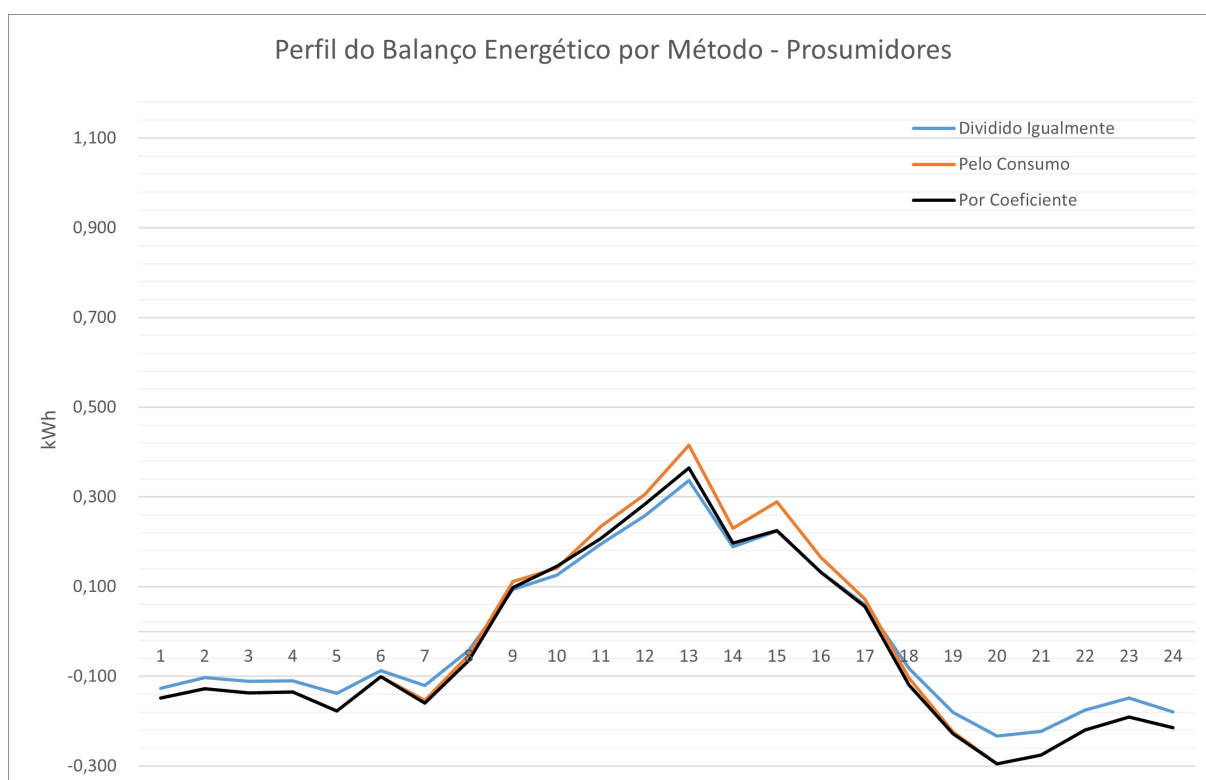


Fonte: Autoria Própria

Na Figura 25, pode-se observar a alocação de energia dos prosumidores. Este tipo de membro, por ser simultaneamente consumidor e gerador de energia, apresenta uma dinâmica de consumo e geração que, em princípio, levaria a uma alocação de energia relativamente estável independentemente do método de rateio adotado. Espera-se que, ao variar os métodos de rateio, o perfil de alocação para os prosumidores não sofra alterações significativas, e esse comportamento foi, de fato, confirmado pelos resultados da simulação.

Ainda na Figura 25, é possível perceber que as três curvas de alocação apresentam um perfil muito semelhante, com variações mínimas no montante de energia alocado ao longo das diferentes horas do dia. Essas pequenas flutuações refletem as características do consumo e da geração de energia do prosumidor, mas, de maneira geral, a distribuição da energia se mantém constante. Isso ocorre porque, como os prosumidores geram parte da energia que consomem, a alteração do método de rateio tem um impacto reduzido em sua alocação, uma vez que sua geração própria já cobre uma grande parte de suas necessidades energéticas.

Figura 25 – Balanço Energético por Método - Prosumidores.



Fonte: Autoria Própria

Nesta seção, foi possível analisar o comportamento dos modelos de rateio para cada tipo de membro. Como destacado ao longo do trabalho, a escolha do método de rateio é fundamental e deve ser cuidadosamente considerada no planejamento da CER. Os resultados demonstraram que o benefício alocado pode apresentar variações significativas dependendo do modelo adotado, especialmente para consumidores e geradores. Em contrapartida, para os prosumidores, observou-se menor variação nos benefícios, uma vez que, ao desempenharem simultaneamente as funções de consumo e geração, mantêm certo equilíbrio na distribuição entre os diferentes métodos.

Adicionalmente, é importante destacar que, no contexto atual da regulação brasileira, não é possível realizar transações diretas de energia entre unidades consumidoras de forma totalmente livre dentro de uma comunidade, sendo permitida apenas

a compensação por meio do sistema de créditos de energia, conforme estabelecido pelo SCEE. Nesse sentido, reforça-se que, para que modelos de rateio baseados em preços de energia — e não em créditos — se tornem viáveis, será necessário avançar na abertura do mercado e flexibilizar as regras de comercialização. Esse novo cenário regulatório permitiria a adoção de métodos de rateio mais aderentes à lógica de mercado, potencialmente mais vantajosos e eficientes, além de fomentar maior competitividade no setor, o que, por consequência, poderia contribuir para a redução dos preços da energia e para a diminuição do custo total suportado pelas comunidades participantes.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo explorar o conceito de CERs, destacando sua crescente relevância no contexto do desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis. A pesquisa foi conduzida por meio de uma análise bibliográfica detalhada, que permitiu uma compreensão abrangente dos principais aspectos das CERs. Foram discutidos os diferentes atores envolvidos, as metodologias de rateio de benefícios aplicáveis, bem como os desafios e oportunidades que surgem na implementação dessas comunidades. Além disso, o estudo enfatizou a importância das CERs como um modelo inovador de gestão de energia, capaz de promover maior autonomia energética, eficiência e sustentabilidade para as regiões que as adotam.

Observou-se também que o tema das CERs está consideravelmente mais avançado na Europa, quando comparado ao Brasil. O desenvolvimento mais acentuado desse conceito na Europa pode ser explicado pela busca pela diversificação da matriz elétrica, com foco nas energias renováveis, e pela necessidade de garantir maior segurança e sustentabilidade no fornecimento de energia. Esse cenário favoreceu a criação de diretrizes como o Pacote de Energia Limpa e as Diretivas sobre Energias Renováveis, que consolidaram as CERs como um componente central da estratégia energética europeia. Essas políticas têm impulsionado não apenas a transição para um modelo energético mais sustentável, mas também a descentralização da produção e consumo de energia.

Nesse sentido, embora o Brasil possua uma matriz elétrica predominantemente renovável, a definição e o incentivo à implementação das CERs no país trariam uma série de benefícios adicionais, como impactos econômicos positivos, aumento da eficiência energética e ganhos sociais significativos. Além disso, a promoção das CERs contribuiria para a democratização do setor energético, ampliando o acesso à energia limpa e sustentável, e favoreceria a inclusão social, ao permitir que mais cidadãos participassem ativamente da geração e distribuição de energia.

Conforme discutido ao longo deste trabalho, uma CER pode adotar diferentes formatos e modelos de negócio, dependendo das características do ambiente em que está inserida. No entanto, para que esteja alinhada ao conceito de CER, algumas características são amplamente consideradas inegociáveis na literatura, como, por exemplo, a produção de energia renovável, a busca pela eficiência e o controle dos membros sobre as suas operações. Apesar de ter grande potencial e gerar benefícios, o conceito de CER enfrenta grandes desafios regulatórios, uma vez que, na maioria dos casos, a mudança regulatória, além de ser burocrática e demorada, também depende da aprovação social sobre o tema. Além disso, percebeu-se que é necessário maior direcionamento, incentivo e financiamento para as CERs.

No que diz respeito ao rateio do benefício, foi possível simular diferentes modelos por meio de um estudo de caso e analisar os comportamentos desses rateios entre os diferentes membros da CER. Os resultados indicaram que o modelo de rateio é uma ferramenta essencial para alinhar os objetivos da comunidade, podendo, ao mesmo tempo, influenciar diretamente sua viabilidade econômica e operacional. Além disso, embora o custo total permaneça inalterado ao se alterar o modelo de rateio, observou-se que a alocação do benefício pode variar consideravelmente entre os membros, dependendo do método de rateio adotado.

O estudo de caso também demonstrou que, embora o termo específico para as CERs ainda não esteja formalmente previsto na legislação brasileira, é possível iniciar a estruturação desse modelo no contexto da GD. Isso pode ser feito por meio da alocação de créditos de energia, com a devida adaptação de sua operacionalização às normas atualmente vigentes. No que diz respeito ao MLE, embora ofereça potencial para preços mais competitivos, os consumidores residenciais do grupo B ainda enfrentam restrições de acesso, devido às limitações aplicáveis às unidades de baixa tensão. No entanto, como discutido ao longo deste trabalho, o Brasil tem avançado na direção da liberalização total do setor, prevista para ocorrer até 2028. Ainda assim, persistem desafios regulatórios e incertezas quanto à efetiva implementação desse cronograma.

Nesse contexto, seria interessante que o Brasil, à medida que avança na abertura do mercado, considerasse a inclusão das CERs no arcabouço regulatório, possibilitando que, quando os pequenos consumidores tiverem acesso ao MLE, possam se organizar e se unir conforme suas necessidades e objetivos energéticos. Vale ressaltar que, apesar de o Brasil estar relativamente atrasado no desenvolvimento das CERs, o país ainda se encontra em uma posição vantajosa, pois pode se beneficiar de modelos já bem-sucedidos em mercados com características semelhantes, como o de Portugal, aprendendo com as experiências desses países e evitando erros.

6.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Para futuros trabalhos, recomenda-se considerar a inclusão de diferentes fontes de geração de energia, como eólica e hidrelétrica, com variações nos custos de geração. Isso permitirá uma análise mais aprofundada do impacto desses custos no modelo de rateio e na distribuição de benefícios entre os membros da CER. Além disso, com diferentes preços de energia, pode-se investigar o método de rateio com base na taxa média de mercado, considerando as flutuações nos preços da energia das fontes de geração utilizadas.

Outra recomendação é a definição e análise do modelo híbrido, que combina diferentes modelos de rateio do benefício, podendo ser uma solução mais equilibrada e adaptável às necessidades de todos os membros da CER. Esse modelo poderia

incentivar tanto a geração quanto o consumo sustentável, atendendo melhor aos interesses de prosumidores, consumidores e geradores. A implementação de um modelo híbrido poderia promover uma maior integração entre os membros da comunidade, ao mesmo tempo em que maximiza os benefícios econômicos e ambientais de forma mais equitativa.

7 ANEXOS

Figura 26 – Dados base de consumo.

	Apto	CONSUMO																						
		Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora 10	Hora 11	Hora 12	Hora 13	Hora 14	Hora 15	Hora 16	Hora 17	Hora 18	Hora 19	Hora 20	Hora 21	Hora 22	Hora 23
Geradores	UC 01	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,002	0,003	0,008	0,007	0,004	0,006	0,009	0,006	0,010	0,008	0,008	0,009	0,005	0,008	0,005	0,004	0,003	0,004
	UC 02	0,004	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,008	0,006	0,005	0,007	0,007	0,009	0,003	0,008	0,006	0,007	0,009	0,013	0,011	0,006	0,004	0,007	0,007
	UC 03	0,004	0,006	0,003	0,003	0,003	0,008	0,005	0,004	0,008	0,005	0,004	0,006	0,010	0,005	0,005	0,004	0,010	0,012	0,010	0,009	0,008	0,005	0,006
	UC 04	0,007	0,004	0,005	0,004	0,007	0,004	0,007	0,006	0,007	0,005	0,008	0,007	0,008	0,006	0,009	0,007	0,004	0,008	0,010	0,012	0,007	0,008	0,007
	UC 05	0,004	0,003	0,003	0,005	0,006	0,002	0,005	0,003	0,005	0,009	0,007	0,005	0,007	0,006	0,005	0,008	0,008	0,009	0,005	0,008	0,006	0,007	0,008
	UC 06	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,008	0,007	0,003	0,005	0,009	0,004	0,003	0,009	0,004	0,005	0,005	0,009	0,011	0,011	0,010	0,008	0,004
Consumidores	UC 07	0,189	0,140	0,070	0,160	0,182	0,082	0,239	0,242	0,266	0,269	0,322	0,157	0,256	0,167	0,134	0,174	0,240	0,293	0,169	0,372	0,140	0,199	0,168
	UC 08	0,221	0,145	0,090	0,114	0,188	0,148	0,154	0,281	0,265	0,289	0,324	0,273	0,278	0,188	0,144	0,202	0,094	0,189	0,218	0,238	0,294	0,227	0,136
	UC 09	0,119	0,117	0,143	0,172	0,084	0,115	0,220	0,268	0,145	0,281	0,193	0,176	0,112	0,389	0,204	0,183	0,178	0,216	0,194	0,284	0,347	0,225	0,197
	UC 10	0,202	0,114	0,142	0,210	0,130	0,153	0,153	0,104	0,110	0,268	0,278	0,120	0,198	0,161	0,175	0,113	0,173	0,240	0,193	0,232	0,277	0,280	0,114
	UC 11	0,104	0,120	0,072	0,166	0,217	0,110	0,277	0,117	0,113	0,266	0,287	0,299	0,205	0,409	0,188	0,213	0,130	0,195	0,385	0,223	0,211	0,126	0,150
	UC 12	0,212	0,122	0,095	0,088	0,078	0,125	0,177	0,138	0,172	0,127	0,300	0,209	0,308	0,447	0,261	0,156	0,252	0,155	0,210	0,244	0,269	0,250	0,133
	UC 13	0,100	0,101	0,124	0,101	0,151	0,150	0,139	0,200	0,142	0,285	0,282	0,313	0,108	0,359	0,159	0,221	0,230	0,199	0,276	0,315	0,290	0,228	0,160
	UC 14	0,168	0,119	0,198	0,133	0,176	0,103	0,259	0,105	0,203	0,272	0,148	0,197	0,179	0,203	0,303	0,241	0,220	0,305	0,417	0,229	0,286	0,214	0,264
	UC 15	0,226	0,098	0,177	0,147	0,225	0,131	0,250	0,229	0,168	0,213	0,362	0,314	0,274	0,391	0,150	0,131	0,165	0,276	0,369	0,300	0,337	0,185	0,263
	UC 16	0,122	0,185	0,199	0,076	0,145	0,075	0,132	0,136	0,168	0,233	0,177	0,225	0,142	0,348	0,279	0,233	0,270	0,272	0,332	0,314	0,285	0,152	0,129
Prosumidores	UC 17	0,165	0,163	0,118	0,106	0,187	0,100	0,253	0,285	0,153	0,116	0,294	0,157	0,152	0,423	0,229	0,129	0,191	0,213	0,210	0,219	0,252	0,182	0,215
	UC 18	0,245	0,147	0,112	0,142	0,215	0,081	0,166	0,152	0,265	0,194	0,341	0,222	0,235	0,197	0,323	0,127	0,268	0,310	0,371	0,217	0,350	0,309	
	UC 19	0,206	0,148	0,093	0,176	0,177	0,062	0,234	0,153	0,232	0,262	0,130	0,151	0,114	0,321	0,131	0,172	0,129	0,227	0,355	0,275	0,165	0,256	
	UC 20	0,101	0,125	0,127	0,109	0,077	0,060	0,203	0,165	0,191	0,183	0,159	0,286	0,237	0,280	0,189	0,147	0,183	0,214	0,167	0,337	0,193	0,226	
	UC 21	0,090	0,069	0,107	0,129	0,218	0,153	0,160	0,138	0,187	0,238	0,239	0,143	0,156	0,150	0,172	0,228	0,208	0,240	0,300	0,295	0,339	0,124	
	UC 22	0,178	0,112	0,201	0,105	0,153	0,129	0,249	0,222	0,123	0,184	0,193	0,197	0,218	0,242	0,252	0,185	0,257	0,270	0,359	0,193	0,212	0,179	
	UC 23	0,121	0,181	0,125	0,090	0,199	0,107	0,224	0,155	0,247	0,132	0,366	0,220	0,314	0,271	0,249	0,281	0,114	0,219	0,335	0,397	0,197	0,260	
	UC 24	0,198	0,183	0,114	0,178	0,151	0,057	0,232	0,280	0,093	0,216	0,258	0,139	0,283	0,273	0,301	0,258	0,208	0,242	0,212	0,412	0,398	0,285	
	UC 25	0,128	0,071	0,073	0,150	0,096	0,064	0,149	0,164	0,156	0,111	0,265	0,177	0,188	0,147	0,235	0,210	0,093	0,251	0,337	0,293	0,287	0,215	
	UC 26	0,111	0,080	0,144	0,114	0,178	0,153	0,237	0,137	0,194	0,290	0,251	0,307	0,247	0,191	0,121	0,241	0,150	0,214	0,364	0,330	0,235	0,223	
	UC 27	0,146	0,135	0,191	0,131	0,210	0,156	0,232	0,285	0,091	0,228	0,225	0,247	0,244	0,409	0,132	0,158	0,153	0,164	0,209	0,272	0,270	0,138	
	UC 28	0,153	0,084	0,207	0,137	0,219	0,123	0,257	0,182	0,122	0,168	0,371	0,222	0,139	0,420	0,241	0,175	0,220	0,340	0,333	0,321	0,382	0,233	
	UC 29	0,167	0,112	0,158	0,085	0,205	0,131	0,264	0,194	0,119	0,284	0,334	0,112	0,241	0,409	0,132	0,158	0,153	0,164	0,209	0,272	0,270	0,138	
	UC 30	0,090	0,189	0,174	0,199	0,209	0,058	0,107	0,105	0,107	0,219	0,203	0,279	0,235	0,152	0,262	0,111	0,259	0,219	0,180	0,414	0,392	0,325	
	UC 31	0,123	0,111	0,115	0,168	0,175	0,075	0,284	0,194	0,153	0,192	0,144	0,258	0,198	0,320	0,250	0,228	0,154	0,301	0,231	0,185	0,187	0,213	

Fonte: Autoria Própria

Figura 27 – Dados base de geração.

	GERAÇÃO																								
	Apto	Hora 0	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora 10	Hora 11	Hora 12	Hora 13	Hora 14	Hora 15	Hora 16	Hora 17	Hora 18	Hora 19	Hora 20	Hora 21	Hora 22	Hora 23
Geradores	UC 01	-	-	-	-	-	-	0,048	0,085	0,242	0,203	0,249	0,466	0,470	0,342	0,223	0,174	0,231	0,097	0,072	-	-	-	-	-
	UC 02	-	-	-	-	-	-	0,047	0,101	0,220	0,300	0,536	0,241	0,514	0,577	0,573	0,220	0,111	0,078	0,036	-	-	-	-	-
	UC 03	-	-	-	-	-	-	0,046	0,126	0,162	0,249	0,313	0,427	0,335	0,565	0,545	0,277	0,141	0,103	0,025	-	-	-	-	-
	UC 04	-	-	-	-	-	-	0,024	0,121	0,121	0,437	0,604	0,384	0,680	0,433	0,374	0,212	0,152	0,141	0,048	-	-	-	-	-
	UC 05	-	-	-	-	-	-	0,047	0,110	0,301	0,475	0,331	0,287	0,319	0,306	0,224	0,445	0,305	0,168	0,061	-	-	-	-	-
	UC 06	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,107	0,282	0,210	0,431	0,645	0,355	0,329	0,222	0,468	0,310	0,121	0,027	-	-	-	-
Consumidores	UC 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consumidores	UC 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UC 17	-	-	-	-	-	-	0,043	0,076	0,271	0,383	0,455	0,288	0,711	0,307	0,468	0,266	0,151	0,090	0,033	-	-	-	-	-
	UC 18	-	-	-	-	-	-	0,048	0,132	0,232	0,244	0,532	0,302	0,608	0,333	0,413	0,292	0,151	0,130	0,033	-	-	-	-	-
Consumidores	UC 19	-	-	-	-	-	-	0,051	0,084	0,260	0,257	0,296	0,558	0,312	0,479	0,595	0,162	0,262	0,161	0,028	-	-	-	-	-
	UC 20	-	-	-	-	-	-	0,072	0,134	0,197	0,372	0,353	0,283	0,602	0,504	0,279	0,287	0,305	0,133	0,056	-	-	-	-	-
	UC 21	-	-	-	-	-	-	0,043	0,076	0,237	0,293	0,381	0,664	0,274	0,634	0,540	0,197	0,210	0,091	0,037	-	-	-	-	-
	UC 22	-	-	-	-	-	-	0,068	0,098	0,197	0,336	0,480	0,507	0,687	0,354	0,228	0,465	0,281	0,097	0,041	-	-	-	-	-
	UC 23	-	-	-	-	-	-	0,054	0,111	0,230	0,166	0,482	0,544	0,446	0,499	0,526	0,169	0,301	0,129	0,065	-	-	-	-	-
	UC 24	-	-	-	-	-	-	0,041	0,133	0,148	0,316	0,484	0,357	0,625	0,263	0,407	0,163	0,168	0,069	0,056	-	-	-	-	-
Prosumidores	UC 25	-	-	-	-	-	-	0,051	0,107	0,259	0,343	0,206	0,494	0,580	0,418	0,326	0,172	0,290	0,127	0,052	-	-	-	-	-
	UC 26	-	-	-	-	-	-	0,062	0,119	0,246	0,309	0,516	0,586	0,663	0,335	0,280	0,168	0,128	0,127	0,072	-	-	-	-	-
	UC 27	-	-	-	-	-	-	0,069	0,166	0,253	0,294	0,484	0,424	0,548	0,502	0,485	0,277	0,278	0,148	0,035	-	-	-	-	-
	UC 28	-	-	-	-	-	-	0,050	0,091	0,170	0,483	0,299	0,440	0,772	0,287	0,401	0,426	0,203	0,129	0,027	-	-	-	-	-
	UC 29	-	-	-	-	-	-	0,047	0,164	0,261	0,443	0,566	0,673	0,481	0,336	0,387	0,341	0,234	0,131	0,030	-	-	-	-	-
	UC 30	-	-	-	-	-	-	0,033	0,070	0,282	0,198	0,320	0,526	0,497	0,262	0,527	0,400	0,165	0,072	0,063	-	-	-	-	-
UC 31	-	-	-	-	-	-	0,061	0,105	0,261	0,207	0,298	0,380	0,438	0,369	0,578	0,430	0,171	0,149	0,040	-	-	-	-	-	

Fonte: Autoria Própria

REFERÊNCIAS

- ALFING, E. *O papel do agente comercializador varejista como facilitador na abertura do mercado de energia elétrica brasileiro*. 2023. 48, 50
- ANEEL. *ANEEL lança ferramenta digital que detalha os subsídios incluídos na tarifa de energia elétrica*. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-lanca-ferramenta-digital-que-detalha-os-subsidios-incluidos-na-tarifa-de-energia-eletrica>. Acesso em: 11 dez 2022. 53
- ANEEL. *Mercado Livre de Energia: ANEEL autoriza sandbox tarifário para consumidores de baixa tensão*. 2024. Acessado em: 8 fevereiro 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/mercado-livre-de-energia-aneel-autoriza-sandbox-tarifario-para-consumidores-de-baixa-tensao>. 52
- ANEEL. *Reserva de Capacidade: ANEEL regulamenta metodologia de rateio do encargo de potência*. 2024. Acesso em: 1 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/reserva-de-capacidade-aneel-regulamenta-metodologia-de-rateio-do-encargo-de-potencia>. 46
- BARONE, G. *et al.* The role of energy communities in electricity grid balancing: A flexible tool for smart grid power distribution optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 187, p. 113742, 2023. 17
- BAUWENS, T. *et al.* Conceptualizing community in energy systems: A systematic review of 183 definitions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 156, p. 111999, 2022. 26
- BBC. *O que é e como funciona o modelo de 'assinatura solar' no Brasil*. 2021. Acesso em: 26 abr. 2025. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61415727>. 37
- BECKER, S.; KUNZE, C. Transcending community energy: collective and politically motivated projects in renewable energy (cpe) across europe. *People, Place & Policy Online*, v. 8, n. 3, 2014. 15, 21, 37
- BOOSTANI, P.; PELLEGRINI-MASINI, G.; KLEIN, J. The role of community energy schemes in reducing energy poverty and promoting social inclusion: A systematic literature review. *Energies*, MDPI, v. 17, n. 13, p. 3232, 2024. 9, 25, 26, 29
- BORGES, P. V. de S. *Análise regulatória e econômica de microrredes elétricas no brasil*. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 2016. 52
- BRESSIANI, J. P. L. *Análise comparativa dos modelos de mercado liberalizado de energia elétrica no Brasil e em Portugal*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2025. 48
- BRUMMER, V. 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, v. 94, p. 187–196, 2018. 18, 19, 27, 33, 34, 35, 39

BURCHELL, K.; RETTIE, R.; ROBERTS, T. C. Community, the very ideal: perspectives of participants in a demand-side community energy project. *People, Place and Policy*, v. 8, n. 3, p. 168–179, 2014. 26

BURGER, S. *et al.* A review of the value of aggregators in electricity systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 77, p. 395–405, 2017. 49

BURIN, H. P.; FOGLIATTO, F. S.; HSUAN, J. The electricity market in brazil: A multilevel perspective of sector agents for liberalization to residential consumers. *Energy for Sustainable Development*, Elsevier, v. 76, p. 101289, 2023. 47, 49, 52

CANIZES, B. *et al.* Local renewable energy communities: Classification and sizing. *Energies*, MDPI, v. 16, n. 5, p. 2389, 2023. 28, 37

CARREIRO, A. M.; JORGE, H. M.; ANTUNES, C. H. Energy management systems aggregators: A literature survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 73, p. 1160–1172, 2017. 42

CASTRO, L. F. *et al.* Comparison among national energy community policies in brazil, germany, portugal, and spain. In: IEEE. *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2022. p. 1–6. 36

CCEE. *Nova edição do CCEE Explica trata da produção própria de energia por consumidores*. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/nova-edicao-do-ccee-explica-trata-da-producao-propria-de-energia-por-consumidores>. Acesso em: 10 dez 2022. 50, 51

CCEE. *Conceitos de Preços*. 2024. Accessed: 2024-12-31. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/precos/conceitos-precos>. 16

CCEE. *Guia Rápido para Migração ao Mercado Livre de Energia*. 2025. <https://www.ccee.org.br/en/mercado-livre-acl>. Acessado em: 02 fev. 2025. 49

COMMISSION, E. *Clean Energy for All Europeans Package*. 2024. https://wayback.archive-it.org/12090/20241209144917/https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en. Acesso em: 12 jan. 2025. Disponível em: https://wayback.archive-it.org/12090/20241209144917/https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en. 25

COMMISSION, E. *Renewable Energy Directive (RED II)*. 2025. Acesso em: 12 jan. 2025. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en. 25

COONECTA. *Cooperativas de créditos de carbono: o que são e como funcionam*. 2023. Acesso em: 26 abr. 2025. Disponível em: <https://coonecta.me/blog/cooperativas-de-creditos-de-carbono/>. 32

EDITORA FÓRUM. *O marco regulatório da geração distribuída (GD): um trade-off entre a sustentabilidade e a higidez dos contratos de distribuição*. 2025. Acesso em: 23 abr. 2025. Disponível em: <https://editoraforum.com.br/noticias/coluna-direito-da-infraestrutura/o-marco-regulatorio-da-geracao-distribuida-gd-um-trade-off-entre-a-sustentabilidade-e-a-higidez-16>

- EDP. *Net Metering: O que é e como funciona o sistema de compensação de energia elétrica?* 2025. Acesso em: 10 maio 2025. Disponível em: <https://solucoes.edp.com.br/blog/net-metering/>. 47
- ENERGES. *Geração Distribuída x Mercado Livre*. 2023. Acesso em: 8 fev. 2025. Disponível em: <https://energes.com.br/geracao-distribuida-x-mercado-livre/>. 51
- ENERGIA, A. B. dos Comercializadores de. *Diferenças entre Consumidores Livres e Cativos*. 2025. Acessado em: 02 fev. 2025. Disponível em: <https://abraceel.com.br/mercado-livre/diferencas-entre-consumidores-livres-e-cativos/>. 46
- EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2030*. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 26 nov 2022. 44
- EPE. *EPE recebe equipe de transição de governo*. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-recebe-equipe-de-transicao-de-governo>. Acesso em: 11 dez 2022. 53
- EPE. *Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022*. 2023. Accessed: 2025-04-26. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. 15
- EPE. *Matriz Energética e Elétrica*. 2024. Accessed: 2024-12-31. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. 14
- EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. 2024. Acesso em: 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>. 45
- EPE. *BEN Interativo - EPE*. 2025. Acesso em: 28 jan. 2025. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>. 45
- European Commission. *Renewable Energy Recast 2030 (RED II)*. 2023. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en. Acessado em: 22 fev. 2025. 21
- European Union. *Diretiva do Mercado Interno de Eletricidade (IEMD)*. 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM:en0016>. Acessado em: 22 fev. 2025. 21
- FAIA, R. *et al.* Local electricity markets: A review on benefits, barriers, current trends and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 190, p. 114006, 2024. 20, 32
- FAIA, R. *et al.* Multi-agent based energy community cost optimization considering high electric vehicles penetration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Elsevier, v. 59, p. 103402, 2023. 18
- FILHO, W. L. *et al.* Prosumers and sustainable development: An international assessment in the field of renewable energy. *Sustainable Futures*, Elsevier, v. 7, p. 100158, 2024. 33

- FMESTRECASAIS. *Comunidades de Energia Renovável*. 2025. <https://fmestrecasais.pt/ensaios/comunidades-de-energia-renovavel/>. Acesso em: 23 fev. 2025. 30
- GHIANI, E. *et al.* *Planning of a smart local energy community: The case of Berchidda municipality (Italy)*. 2019. Acesso em: 22 fev. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/24/4629>. 17
- GONZÁLEZ, F. F.; SAUMA, E.; WEIJDE, A. van der. The scottish experience in community energy development: A starting point for chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 113, p. 109239, 2019. 39
- Governo Federal. *Programa Luz para Todos*. 2025. Acessado em: 02 fev. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos>. 51
- KALKBRENNER, B. J.; ROOSEN, J. Citizens' willingness to participate in local renewable energy projects: The role of community and trust in germany. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 13, p. 60–70, 2016. 19, 20
- KOIRALA, B. P. *et al.* Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 56, p. 722–744, 2016. 29
- LODE, M. *et al.* A transition perspective on energy communities: A systematic literature review and research agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 163, p. 112479, 2022. 19, 21, 42
- LÓPEZ, I. *et al.* European energy communities: Characteristics, trends, business models and legal framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 197, p. 114403, 2024. 17, 18
- LOTTO, R. D. *et al.* Energy communities: Technical, legislative, organizational, and planning features. *Energies*, MDPI, v. 15, n. 5, p. 1731, 2022. 18, 27, 29, 31, 34, 38
- LOWITZSCH, J.; HOICKA, C. E.; TULDER, F. J. van. Renewable energy communities under the 2019 european clean energy package—governance model for the energy clusters of the future? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 122, p. 109489, 2020. 25, 31, 35, 39
- MARTINS, M. A. I.; FERNANDES, R.; HELDWEIN, M. L. Proposals for regulatory framework modifications for microgrid insertion—the brazil use case. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 94852–94870, 2020. 52
- MME. *Sustentabilidade dos Serviços de Distribuição*. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-executiva/modernizacao-do-setor-eletrico/arquivos/pasta-geral-publicada/sustentabilidade-da-distribuicao.pdf>. Acesso em: 27 nov 2022. 44
- MME. *Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023*. 2023. Accessed: 2024-12-31. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. 14

- MOLZAHN, D. K. *et al.* A survey of distributed optimization and control algorithms for electric power systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, IEEE, v. 8, n. 6, p. 2941–2962, 2017. 43
- MOURA, R.; BRITO, M. C. Prosumer aggregation policies, country experience and business models. *Energy Policy*, Elsevier, v. 132, p. 820–830, 2019. 50, 51
- OLIVEIRA, G. A. d. *et al.* Microrredes em mercados de energia elétrica. 2017. 52
- ONS. *Mapas*. 2024. Accessed: 2024-12-31. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. 15
- ONS, O. N. do S. E. *O que é o SIN*. 2025. Acesso em: 28 jan. 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. 44
- (ONS), O. N. do S. E. *SINMAPS - Sistema Interligado Nacional*. 2025. Acesso em: 28 jan. 2025. Disponível em: <https://sig.ons.org.br/app/sinmaps/>. 44
- PAIXÃO, J. L. d.; ABAIDE, A. d. R. Métricas para a avaliação do impacto da geração distribuída fotovoltaica na curva de carga. *SEPOC 2021*, Brasil, 2021. 16
- PODER360. *TCU manda Aneel fiscalizar venda de energia de geração distribuída*. 2024. Acesso em: 27 abr. 2025. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/poder-energia/tcu-manda-aneel-fiscalizar-venda-de-energia-de-geracao-distribuida/>. 37
- RAMOS, S. *Comunidades de Energia Renovável*. 2024. Documento didático em PDF recebido em reunião no IFSC - Florianópolis no dia 05/09/2024. Instituto Politécnico do Porto. 40
- Renewable Community. *Renewable Community Initiative*. 2025. Acesso em: 22 fev. 2025. Disponível em: <https://renewablecommunity.org>. 25
- RESCOOP. *Transposition Tracker*. 2024. <https://www.rescoop.eu/policy/transposition-tracker>. Acessado em: 22 fev. 2025. 20
- RIBEIRO, L. *et al.* Technical and economical aspects of wholesale electricity markets: An international comparison and main contributions for improvements in brazil. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 220, p. 109364, 2023. 46
- SÆLE, H. *et al.* Development of energy communities in europe. In: IEEE. *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*. [S.l.], 2022. p. 1–5. 30
- SANTANA, D. J. d. C. G. M. *Estudo para a Implementação de uma Comunidade de Energia Renovável*. Tese (Doutorado) — Universidade de Lisboa, 2022. 57
- SCHOOR, T. V. D.; SCHOLTENS, B. Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 43, p. 666–675, 2015. 38
- SCHOOR, T. van der; SCHOLTENS, B. Scientific approaches of community energy: a literature review. Centre for Energy Economics Research (CEER), 2019. 15, 18, 19, 28, 42

SEGALES, M.; HEWITT, R. J.; SLEE, B. Social innovation and global citizenship: Guiding principles for sustainable, just and democratic energy transition in cities. *Energy Research & Social Science*, Elsevier, v. 106, p. 103295, 2023. 15

SIDQI, Y. *et al.* Peer-to-peer trading in local energy communities for res uptake: A socio-economic study. In: IEEE. *2023 IEEE PES/IAS PowerAfrica*. [S.l.], 2023. p. 1–5. 30

SIQUEIRA, A. M. Q. *A geração distribuída e compartilhada em cooperativas no Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2023. 48

WALKER, G. *et al.* Trust and community: Exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy. *Energy policy*, Elsevier, v. 38, n. 6, p. 2655–2663, 2010. 25

WAY2. *Net Metering: O que é e como funciona*. 2025. Acessado em: 7 fevereiro 2025. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/net-metering/>. 47