

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Biológicas Departamento de Fisiologia e Biofísica - ICB
Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica - PPGIT

Vitório Alves Freitas

SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS:
produção descentralizada de energia solar fotovoltaica

Belo Horizonte

2024

Vitório Alves Freitas

**SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS:
produção descentralizada de energia solar fotovoltaica**

Dissertação apresentada Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

Área de concentração: Gestão da Inovação, Propriedade Intelectual e Empreendedorismo.

Linha de Pesquisa: Sustentabilidade - Inovação Tecnológica e Social nas Organizações.

Orientador: Professor Dr. Francisco de Paula Antunes Lima.

Departamento de Engenharia de Produção – UFMG.

Belo Horizonte
2024

Ficha Catalográfica

F862s Freitas, Vítório Alves.
2024 Sustentabilidade e energias renováveis [manuscrito] : produção descentralizada
D de energia solar fotovoltaica / Vítório Alves Freitas. 2024.
1 recurso online (116 f. : il., gráfs., tabs., color.) : pdf.

Orientador: Francisco de Paula Antunes Lima.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais –
Departamento de Química (Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica).
Bibliografia: f. 108-116.

1. Inovações tecnológicas – Teses. 2. Geração de energia fotovoltaica – Teses.
3. Desenvolvimento regional – Teses. 4. Desenvolvimento sustentável – Teses. 5.
Energia solar – Teses. 6. Usinas – Teses. 7. Energia elétrica – Produção – Teses. 8.
Estudo de casos – Teses. 9. Cooperativismo – Teses. I. Lima, Francisco de Paula
Antunes, Orientador. II. Título.

CDU 043



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICEX - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

**ATA DA SESSÃO DE DEFESA DA 34ª DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, DO DISCENTE VITÓRIO
ALVES FREITAS, Nº DE REGISTRO 2021698810.**

Aos vinte e sete dias do mês de dezembro de 2024, às 14 horas, online via plataforma virtual Microsoft Teams, reuniu-se a Comissão Examinadora composta pelos Professores Doutores: Francisco de Paula Antunes Lima do Programa de Pós-graduação em Inovação Tecnológica da UFMG (orientador e presidente da banca), Geraldo Márcio Alves dos Santos do Departamento de Administração Escolar da FAE/UFMG, Ricardo Augusto da Silva da Faculdade Anhanguera - Campus Arapongas – PR e Maurício de Moura Nilton da Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ, para julgamento da dissertação de mestrado em Inovação Tecnológica - Área de Concentração: Gestão da Inovação, Propriedade Intelectual e Empreendedorismo, do discente Vitório Alves Freitas, dissertação intitulada: **"SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS: produção descentralizada de energia solar fotovoltaica."** O presidente da banca abriu a sessão e apresentou a banca examinadora, bem como esclareceu sobre os procedimentos que regem a defesa pública de dissertação. Após a exposição oral do trabalho pelo discente foi realizada arguição pelos membros da banca examinadora, com a respectiva defesa do candidato. Finda a arguição, a banca examinadora se reuniu, sem a presença do discente e do público, tendo deliberado unanimemente pela sua **APROVAÇÃO**. Nada mais havendo para constar, lavrou-se e fez a leitura pública desta ata, que segue assinada por mim, pelos membros da banca examinadora e pelo coordenador do programa. Belo Horizonte, 27 de dezembro de 2024.

Professor Doutor Francisco de Paula Antunes Lima (Orientador)
(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Geraldo Márcio Alves dos Santos
(Departamento de Administração Escolar da FAE/UFMG)

Professor Doutor Ricardo Augusto da Silva
(Faculdade Anhanguera - Campus Arapongas – PR)

Professor Doutor Maurício de Moura Nilton
(Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ)

Professor Doutor Allan Claudius Queiroz Barbosa

Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Maurício de Moura Nilton, Usuário Externo**, em 14/01/2025, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Augusto da Silva, Usuário Externo**, em 14/01/2025, às 19:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Allan Claudius Queiroz Barbosa, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 24/01/2025, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Paula Antunes Lima, Professor do Magistério Superior**, em 24/01/2025, às 16:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geraldo Marcio Alves dos Santos, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2025, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3874674** e o código CRC **382BC283**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICEX - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
"SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS: produção descentralizada de energia solar fotovoltaica."

VITÓRIO ALVES FREITAS, Nº DE REGISTRO 2021698810.

Dissertação **Aprovada** pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:

Professor Doutor Francisco de Paula Antunes Lima (Orientador)

(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Geraldo Márcio Alves dos Santos

(Departamento de Administração Escolar da FAE/UFMG)

Professor Doutor Ricardo Augusto da Silva

(Faculdade Anhanguera - Campus Araçuaçu - PR)

Professor Doutor Maurício de Moura Nilton

(Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ)

Professor Doutor Allan Claudius Queiroz Barbosa

Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG

Belo Horizonte, 27 de dezembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Maurício de Moura Nilton, Usuário Externo**, em 14/01/2025, às 13:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Augusto da Silva, Usuário Externo**, em 14/01/2025, às 19:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Allan Claudius Queiroz Barbosa, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 24/01/2025, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Paula Antunes Lima, Professor do Magistério Superior**, em 24/01/2025, às 16:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geraldo Marcio Alves dos Santos, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2025, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3874688** e o código CRC **F5D6F9CF**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele eu não teria forças para superar a jornada acadêmica, sem tua luz, teria sido como tentar encontrar um livro específico em uma biblioteca sem catálogo. Aos meus pais falecidos, a quem agradeço as bases que deram para me tornar a pessoa que sou.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela saúde, força e resiliência ao longo dessa caminhada.

Agradeço ao meu orientador, **Prof. Francisco de Paula Antunes Lima**, pela paciência, orientação e apoio durante todo o processo. Seu conhecimento e suas críticas construtivas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor **Geraldo Márcio Alves dos Santos**, que incentivou constantemente a participar do processo seletivo e defender as ideias que tinha quando conversávamos sobre desenvolvimento regional, sustentabilidade, energias renováveis, os projetos estratégicos para desenvolver as regiões mais vulneráveis e susceptíveis a riscos.

Aos professores do programa de pós-graduação, sou grato por todos os ensinamentos e contribuições ao longo do curso, que me proporcionaram a base necessária para a realização desta dissertação.

A minha companheira, **Regina Pereira de Queiroz**, que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis, por todo o amor, incentivo e apoio incondicional em cada fase da minha vida. Você é minha maior inspiração e fonte de força.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à nossa **EMATER-MG** (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais) pelo apoio essencial ao longo da minha carreira profissional e pela realização deste mestrado. O suporte técnico, os dados disponibilizados e a colaboração de toda a equipe, especialmente **Andrea Amélia Zschaber Correa** foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos profissionais da EMATER, que compartilharam seu conhecimento e experiência, agradeço por sua dedicação e prontidão em contribuir para que este trabalho fosse possível. O comprometimento de todos foi um elemento chave para a execução e sucesso desta dissertação.

A equipe do Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da UFMG, **Eni da Conceição Rocha e Leticia Peres Morato Gonçalves**.

Aos meus colegas e amigos, especialmente **Prof.^a. Marise Aline Almeida Fonseca, Prof.^a. Roseli Wanderley, Marcia Paranhos e Magaly Ramos** que compartilharam dessa jornada acadêmica comigo. Suas palavras de apoio e nossas conversas foram essenciais para enfrentar os desafios e celebrar as vitórias.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família e a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Este trabalho é também uma conquista de vocês.

No lugar onde nasci e fui criado, temos uma relação orgânica com todas as vidas. Todas as vidas são necessárias, não importantes. A gente corria atrás de um porco para pegá-lo e botá-lo no chiqueiro. A gente brincava de correr para chegar a um lugar, por necessidade. Na cidade é diferente: vejo o povo correndo sem saber aonde vai, sem saber por que corre, só porque um médico disse que tem que correr! Eu também corri na cidade, sem saber aonde ou por que eu corria. Por que os povos da cidade não se relacionam com a natureza? Porque têm medo. (SANTOS, 2023, p. 18).

RESUMO

São inúmeros os desafios atuais referente ao desenvolvimento regional, tendo as energias renováveis como fonte de geração de emprego e renda, especialmente a energia solar fotovoltaica, quando nos referimos aos sistemas de micro e minigeração distribuída de energia, considerando que este modelo beneficia maior número de pessoas, trabalhando o processo organizacional, gerando emprego localmente, enquanto que a geração centralizada de energia, concentra a renda cada vez mais em mão de poucos ou das grandes corporações. A geração centralizada é aquele sistema que produz acima de cinco megawatts, sendo que esta energia pode ser comercializada livremente, sendo permitido inclusive participar de leilões regulados pelos governos. No caso dos sistemas de geração distribuída de energia, que geram até cinco megawatts de energia elétrica, a legislação permite apenas compensar o excedente da energia gerada por um período de até sessenta meses e/ou utilização em outra localidade, desde que esteja vinculado ao mesmo CPF e/ou CNPJ dentro da mesma jurisdição da distribuidora de energia elétrica. Nesse contexto, partindo do princípio da legislação vigente, há a possibilidade de remuneração da infraestrutura montada para gerar energia no modelo de micro e minigeração distribuída através da integração dos proprietários e consumidores de energia em cooperativa constituída para esta finalidade. Neste caso, a gestão realizada pela cooperativa possibilita a remuneração dos cooperados entre si, estimula o sistema cooperativista entre seus cooperados, gera emprego, renda e desenvolvimento regional sustentável, tendo em vista que o modelo apresentado distribui renda, proporciona o envolvimento das famílias desde a formação, promove o debate sobre a viabilidade técnica, possibilidades futuras, amplia as fontes de renda permanente para as famílias, sem provocar desequilíbrio ambiental, ao mesmo tempo em que possibilita a permanência das famílias no meio rural, garantindo a sucessão rural. Ao contrário do modelo de geração centralizada, as vantagens do modelo proposto dos sistemas de geração distribuída de energia solar são imensas, pois além da geração de renda para as famílias rurais, permite a implementação de novas tecnologias sem interferir diretamente no meio ambiente. Este é um sistema em que todos ganham e que mantém as condições culturais, sociais e ambientais, trabalhando pela melhoria da qualidade de vida das famílias, partindo da localidade, da microeconomia para a macro.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Geração centralizada. Geração distribuída. Desenvolvimento regional. sustentabilidade.

ABSTRACT

There are current challenges regarding regional development, with renewable energy as a source of employment and income generation, especially photovoltaic solar energy, in the context of micro and mini distributed energy generation systems, considering that this model benefits a greater number of people, working on the organizational process, generating employment locally, while centralized energy generation increasingly concentrates income in the hands of a few or large corporations. Centralized generation is a system that produces more than five megawatts, and this energy can be freely traded, and are even allowed to participate in auctions regulated by governments. In the case of distributed energy generation systems, which generate up to five megawatts of electricity, the legislation only allows compensation for the excess energy generated for a period of up to sixty months and/or use in another location, as long as it is linked to the same personal registration number and/or business registration number within the same jurisdiction as the electricity distributor. In this context, based on the current legislation, there is the possibility of remunerating the infrastructure set up to generate energy in the micro and mini distributed generation model through the integration of energy owners and consumers in a cooperative established for this purpose. In this case, the management carried out by the cooperative allows for remuneration of cooperative members, stimulates the cooperative system among its members, generating employment, income and sustainable regional development, given that the model presented distributes income, provides for the involvement of families from the outset, promotes debate on technical feasibility and future possibilities, seeking a permanent source of income for families, without causing environmental harm, while at the same time enabling families to remain in rural areas, guaranteeing rural succession. Unlike the centralized generation model, the advantages of the proposed model of distributed solar energy generation systems are immense, because in addition to generating income for rural families, it allows for the implementation of new technologies without directly interfering with the environment. It's a system that benefits everyone and maintains cultural, social and environmental conditions, working to improve the quality of life of families, starting from the locality, from the microeconomy to the macroeconomy.

Keywords: Photovoltaic energy. Centralized generation. Distributed generation. Regional development. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2022	26
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira 2023	27
Figura 3 – Expansão da Matriz Energética Brasileira 2024	28
Figura 4 - Capacidade de Geração Global de Eletricidade por Fonte, 2014-2027	32
Figura 5 - Usinas fotovoltaicas brasileiras em operação, em construção e cujas construções ainda não foram iniciadas, 2024	33
Figura 6 – Produção de Energia Solar Fotovoltaica	38
Figura 7 - Empreendimento de produção de energia solar fotovoltaica na modalidade geração centralizada	40
Figura 8 - Histórico e tendência por origem da expansão da energia elétrica no Brasil – Geração Centralizada em potência (MW)	47
Figura 9 - Evolução de fonte solar fotovoltaica no Brasil	49
Figura 10 - Matriz Energética Brasileira – Geração Distribuída jun. a ago. 2024	50
Figura 11 - Matriz Energética Brasileira – Geração Distribuída até set. 2024	51
Figura 12 - Custo da Energia Elétrica (modelo tradicional)	54
Figura 13 – Usina de Microgeração de Energia Solar Fotovoltaica	56
Figura 14 - Usina de Minigeração de Energia Solar Fotovoltaica	57
Figura 15 – Matriz Elétrica em Minas Gerais (Geração Centralizada) – Autorizado ainda não Implantada e em Operação	60
Figura 16 - Unidades Geração Centralizada de Energia Elétrica em Operação no Estado de Minas Gerais	61
Figura 17 – Usinas fotovoltaicas mineiras em operação, em construção e cujas construções ainda não foram iniciadas, 2024 (Geração Centralizada)	61

Figura 18 - Usinas fotovoltaicas em Minas Gerais (Geração Centralizada) – Operação	62
Figura 19 - Unidades de Geração Centralizada de Energia Elétrica a serem Instaladas no Estado de Minas Gerais nos Próximos Anos	63
Figura 20 – Unidades de Geração Distribuída de Energia Solar Instaladas no Estado de Minas Gerais	66
Figura 21 - Usina de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica da EMATER-MG	67
Figura 22 - Dados da Energia Gerada e Benefícios da Usina da EMATER-MG	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tendência de Expansão da geração centralizada no Brasil	45
Tabela 2: Matriz Energética Brasileira (Geração Centralizada)	46
Tabela 3: Histórico e tendência por origem da expansão da energia elétrica no Brasil – Geração Centralizada em potência (MW)	48
Tabela 4: Matriz Energética Brasileira - Geração Distribuída - (Pequenas Unidades Geradoras de Energia Elétrica)	52
Tabela 5: Matriz Energética Brasileira (Geração Distribuída) – (Pequenas Unidades Geradoras de Energia Elétrica) - Classe de Consumo por Fonte Geradora	52
Tabela 6: Sistemas Fotovoltaicos por Classe de Consumo	53
Tabela 7: Matriz Energética em Minas Gerais - Geração Centralizada (Grandes Geradoras de Energia Elétrica)	63
Tabela 8: Demonstrativo de Compensação da Energia Gerada na Usina Solar	68
Tabela 9: Cálculo do valor (financiamento) de produção de energia fotovoltaica por um agricultor em cooperativa, bem como os seus lucros advindos do empreendimento coletivo	89
Tabela 10: Valores repassados pela ANEEL às distribuidoras de energia referente ao programa TSEE para o primeiro triênio de 2024	97
Tabela 11: Descontos nas tarifas de energia elétrica concedida aos consumidores residenciais de baixa renda no Brasil	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CFURH	Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CIP	Contribuição para Iluminação Pública
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONTAG	Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
DN	Deliberação Normativa
EFC	Economia da Funcionalidade e da Cooperação
EMATER-MG	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EOL	Usina Eólicoelétrica de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESS	Encargos de Serviços do Sistema
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GC	Geração Centralizada
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA	International Energy Agency
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LAS	Licenciamento Ambiental Simplificado
MME	Ministério de Minas e Energia
NZE	Emissão de Líquidos Zero
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D / EE	Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIS	Programa de Integração Social
PROINFA	Programa de Incentivo de Fontes Alternativas
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RGR	Reserva Global de Reversão
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SIGA	Sistema de Informação de Geração
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
TEP	Tonelada-equivalente de petróleo
TFSEE	Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica
TSEE	Tarifa Social de Energia Elétrica
UCs	Unidades Consumidoras
UFV	Usina Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UTE	Usina Termoelétrica de Energia
UTN	Usina Termonuclear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 A CRISE ENERGÉTICA E OS MODELOS DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ENERGIA.....	22
2.1 A falência do modelo energético convencional	22
2.2 A consolidação da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo	30
2.3 Problemas comuns aos dois modelos de geração	34
3 MODELOS DE GERAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	36
3.1 Modelos de produção de energia solar fotovoltaica.....	37
3.2 O modelo de geração centralizada de energia solar	39
3.3 O modelo de geração distribuída de energia solar	48
3.3.1 <i>Modalidades de geração distribuída de energia solar fotovoltaica: micro e minigeração</i>	55
3.3.2 <i>Impactos ambientais comparativos</i>	58
3.3.3 <i>Desafios tecnológicos e de implementação</i>	58
3.4 Estudos de caso e experiências práticas	59
3.4.1 <i>A produção de energia solar fotovoltaica no estado de Minas Gerais</i>	60
3.4.2 <i>Exemplos de incentivos fiscais e regulatórios</i>	64
3.4.3 <i>Sistema de microgeração de energia solar da Emater-MG</i>	66
4 ANÁLISE DOS DOIS MODELOS DE GERAÇÃO EM AVALIAÇÃO	71
4.1 Benefícios energéticos	71
4.1.1 <i>Diversificação da matriz energética</i>	71
4.1.2 <i>Técnico-operacionais</i>	72
4.1.3 <i>Econômicos</i>	72
4.2 Benefícios não energéticos	73
4.2.1 <i>Ambientais</i>	73
4.2.2 <i>Socioeconômicos</i>	73
4.3 Desvantagens e desafios	74
4.4 Caminhos para viabilizar a implantação da energia solar fotovoltaica.....	78
5 GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E ECOSISTEMAS COOPERATIVOS TERRITORIALIZADOS (ECTs)	80
5.1 A inovação social segundo a EFC	82
5.2 Desenvolvimento ecossistema cooperativo territorializado para implementar a GD... 85	
5.3 Energia solar: fortalecimento da assistência técnica e extensão rural (ATER)	86
5.4 O cooperativismo e a produção de energia solar pelo pequeno produtor rural	88
5.5 A fonte dos recursos financeiros para instalação das usinas de microgeração de geração energia solar fotovoltaica e o desmonte do sistema da concentração de renda.....	95
6 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	108

1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica¹ tem se destacado como uma alternativa promissora na geração de energia elétrica, devido a sua sustentabilidade e potencialidade de suprir a demanda energética. Diante do cenário global de busca por fontes renováveis, a relevância do tema se faz evidente, especialmente considerando os impactos ambientais da geração convencional. Nesse contexto, torna-se fundamental compreender a eficiência e viabilidade da energia solar fotovoltaica, tanto em sistemas de geração centralizada quanto distribuída, considerando suas implicações econômicas, ambientais e sociais.

O aproveitamento direto da energia solar é, hoje, uma das promessas para a geração de energia limpa e sustentável. Este trabalho discute como a forma de implementação de usinas fotovoltaicas pode contribuir ou não para que esta promessa se concretize.

Seria possível trabalhar este sol como fonte geradora de emprego e renda? Poderá ser fonte complementar às demais atividades já existentes ou isolada como sistema independente? Produção apenas para consumo com excedente na rede ou implantação de usinas para gerar renda com a remuneração pelo compartilhamento de energia? Diante disso, o problema norteador do estudo apresentado é analisar a possibilidade de produzir energia solar fotovoltaica para consumo e a remuneração pelo compartilhamento do excedente gerado nas pequenas unidades de geração distribuída.

Na busca por respostas que confirmem essa análise, foram elencados objetivos que direcionassem a pesquisa no sentido de analisar as vantagens e desvantagens no uso da energia solar fotovoltaica como atividade produtiva e a extensão rural como metodologia de organização e formação do processo produtivo considerando ser ela uma fonte renovável e inesgotável e sua utilização contribuir para a mitigação e/ou redução da emissão de gases efeito estufa, além de promover independência energética e a geração de emprego e renda nos diversos setores, principalmente no meio rural.

A energia desempenha papel crucial na vida dos seres humanos, sendo fundamental para a sustentação e o funcionamento da sociedade. Todavia, a energia elétrica, para se transformar

¹ A energia solar fotovoltaica é baseada na conversão da luz solar em eletricidades por meio de células fotovoltaicas. Quando os fótons de luz atingem as células, eles liberam elétrons, gerando assim corrente elétrica. As células fotovoltaicas são geralmente feitas de silício, um material semicondutor que facilita esse processo de conversão. Esse funcionamento básico permite que os painéis solares capturem a energia do sol e a transformem em eletricidade de forma eficiente e sustentável, tornando a energia solar fotovoltaica uma opção atraente para a geração de eletricidade. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, s.d.).

em insumos industriais, inovações, combustíveis, entre outros, percorre uma longa jornada, provocando até mesmo sérios impactos em algumas situações. O impacto da mudança climática torna a geração de energia mais vulnerável, quando se trata da geração por meio de recursos hídricos, cada vez mais escassos no planeta, por outro lado a mudança do clima pode resultar no aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial, serviços, indústria, agropecuário, entre outros.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), publicado no relatório de mudanças climáticas e segurança energética:

A mudança do clima pode resultar num aumento de até 9% (nove por cento) do consumo de energia elétrica no setor residencial e de até 19% (dezenove por cento) no setor de serviços. Isso representa uma elevação de 8% (oito por cento) sobre o consumo total de energia elétrica projetada para o Brasil em 2030, em virtude da maior necessidade de condicionamento de ar. (Empresa de Pesquisa Energética, 2008, p. 24).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a infraestrutura brasileira de geração de energia elétrica, formado por três sistemas elétricos, abrange as cinco macrorregiões geográficas. O sistema de transmissão interligado entre as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, responde por mais de 70% da capacidade instalada; Norte e Nordeste representam quase 26% e outros 4% são os sistemas isolados localizados principalmente na região Norte, proveniente principalmente de usinas termelétricas. Os sistemas hidrelétricos interligados são complementados por usinas térmicas. As termelétricas entram em operação quando é preciso complementar a energia de origem hidráulica nos períodos de grande carga ou na estação seca; ou, ainda, quando, nos períodos secos, o valor da água armazenada nos reservatórios é maior do que o custo de operação das termelétricas. (Empresa de Pesquisa Energética, 2007).

A mudança do clima global pode impactar diretamente sobre o sistema hidrelétrico brasileiro vindo a alterar o comportamento médio das vazões nas bacias dos rios que produzem energia, ou de alterações na probabilidade de ocorrência de eventos extremos (como tempestades e secas extremas), que podem prejudicar a operação das usinas.

As reduções nas vazões nos reservatórios não têm efeito proporcional sobre a geração de energia, levando em consideração que uma boa gestão pode compensar uma parte da perda de vazão. Por outro lado, a elevação na temperatura tem um impacto sobre a evaporação de água dos mesmos, particularmente naqueles de dimensões muito grandes. Dessa forma, as mudanças climáticas, em consequência de temperaturas mais altas, têm influência direta e significativa sobre a geração de energia no Brasil. Assim, tendo em vista as incertezas

cumulativas presentes numa análise de tão longo prazo, deve-se enfatizar mais as tendências e direções do que resultados numéricos precisos.

O sistema energético brasileiro é vulnerável à mudança climática. A vulnerabilidade do Brasil é tão mais intensa quanto maior é sua dependência de fontes renováveis de energia, sobretudo a hidrelétrica, que hoje é a principal fonte geradora, representando quase a metade de toda energia elétrica no país. Assim, embora ainda incertos, os impactos da mudança climática global sobre a produção de energia podem ser amenizados a partir de fontes renováveis. Sabe-se que a energia solar é considerada uma das soluções para a descarbonização, pois reduz o uso de combustíveis fósseis sem agredir o meio ambiente.

Nessa linha, a produção da energia solar é um processo de geração alternativo do recurso e uma das mais promissoras no contexto atual, pois, revela-se como altamente sustentável, pelo menos quando se considera sua fonte primária. Diferentemente de outras fontes, como matérias fósseis ou biomassa, o sol é fonte limpa e disponível todos os dias, não sendo possível sua geração no período noturno, podendo ser solucionado com a implantação de sistemas de armazenamento. Com o aumento da demanda por fontes de energia mais sustentáveis e eficientes, a energia solar tem sido utilizada em diversos setores da sociedade, como na indústria, no comércio, na agricultura, além do uso doméstico.

No entanto, entre a fonte solar e o uso cotidiano da energia fotovoltaica se colocam várias mediações que devem ser consideradas para tornar efetivo esse potencial de sustentabilidade. As tecnologias materiais que transformam a radiação solar em eletricidade requerem atividades de mineração em grande escala que geram os danos já conhecidos, enquanto outros estudos trabalham o que fazer com as placas solares², cujo fim da vida útil começará a acontecer brevemente e em grande escala.

O presente discute algumas condições para promover o desenvolvimento regional sustentável, utilizando energias renováveis, especialmente, a energia fotovoltaica. Essas condições são apresentadas pela análise comparativa entre sistemas de geração distribuída e geração centralizada.

² Os painéis solares são compostos por células fotovoltaicas interconectadas, que captam a luz solar e a convertem em eletricidade. Essas células são formadas por camadas de materiais semicondutores, como o silício dopado, que gera uma diferença de potencial quando exposto à luz solar. Quando os fótons atingem as células, eles excitam elétrons, gerando assim corrente elétrica. Esse processo, conhecido como efeito fotovoltaico, é a base para o funcionamento dos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, proporcionando uma fonte limpa, renovável e cada vez mais competitiva no mercado de geração de eletricidade. (Portal Solar, 2024).

A produção da energia solar está posta. Assim, o imbróglio se assenta na sua utilização enquanto alternativa viável aos métodos predatórios e eurocentristas de produção em escala ampliada, atendendo especialmente os interesses internacionais, em detrimento das comunidades locais, deixando de lado a produção, os modos de vida e os valores regionais. O desenvolvimento sustentável diz respeito a todos e tem efeitos tanto locais como globais, sendo visto como uma solução às mudanças climáticas, perda de biodiversidade e as desigualdades socioeconômicas. Por meio do “desenvolvimento sustentável” tem-se buscado atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades, estando fundamentado em três pilares interdependentes: econômico, social e ambiental, que devem ser equilibrados para que o desenvolvimento seja realmente sustentável. O conceito foi ampliado após o relatório “Nosso Futuro Comum” da Comissão Brundtland em 1987, e tem orientado diversas políticas internacionais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

O desafio relacionado ao aquecimento global pode ser enfrentado como uma oportunidade de viver de forma inovadora e eficaz em união com a natureza para um futuro melhor e não como um desafio a ser superado. Dessa forma, o desenvolvimento sustentável tem de ser entendido no contexto da “economia e sociedade do conhecimento global” (Carayannis; Campbell, 2011; Carayannis; Von Zedwitz, 2005; Carayannis; Alexander, 2006).

Ao se pensar na produção de energia solar fotovoltaica vai-se além do entorno onde ela é gerada, uma vez que seus benefícios se expandem em um contexto globalizado e altamente tecnológico, onde a capacidade de inovação e gestão do conhecimento geram impactos significativos no desenvolvimento econômico e social.

Durante a realização do estudo, foram elaborados projetos de instalação em comunidades rurais, com critérios pré-definidos para a seleção dos beneficiários que tiveram o apoio da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER-MG). Tal acompanhamento se deu em razão de se compreender que os levantamentos que têm sido feitos referentes a energia solar no Brasil, são voltados para profissionais da área, não ficando claro para os pequenos produtores rurais e extensionistas os riscos, vantagens e desvantagens da adoção desse processo de geração e distribuição de energia solar.

A metodologia utilizada na elaboração do estudo foi o uso de pesquisa bibliográfica para a fundamentação teórica e que, segundo Marconi e Lakatos:

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, etc., até

meios de comunicação orais: rádio, gravações em fita magnética e audiovisuais: filmes e televisão. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto, inclusive conferências seguidas de debates que tenham sido transcritos por alguma forma, quer publicadas, quer gravadas. (Marconi; Lakatos, 2017, p. 166).

Diante de tudo que foi estudado e analisado, elaborou-se o trabalho ora apresentado da seguinte forma: na Introdução foram apresentados o tema, o problema, o objetivo geral e a metodologia utilizada. Em seguida, no capítulo 2, falamos de maneira breve sobre a crise energética mundial e brasileira, posteriormente adentramos na consolidação da energia solar fotovoltaica e como ela está em concordância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU) e sobre a produção de energia fotovoltaica no Estado de Minas Gerais.

O capítulo 3 trata dos modelos de geração de energia fotovoltaica, abordando conceitos e principais aspectos. O capítulo 4 analisa os dois modelos de geração em avaliação, apresentando impactos, benefícios e desvantagens de ambos, capítulo 5 trata do caso de sucesso, experiências práticas, sistema de microgeração de energia solar da Emater-MG.

No capítulo 6 a abordagem está focada na interlocução da geração de energia solar fotovoltaica com a Economia da Funcionalidade e da Cooperação (EFC), suas inovações, o desenvolvimento territorial sob sua perspectiva para a implementação da geração distribuída. A atuação da ATER pública e gratuita na geração distribuída, bem como o cooperativismo e a produção de energia solar pelo pequeno produtor e, concluindo o capítulo, aborda-se a questão dos recursos financeiros.

Por último, a conclusão com os apontamentos do pesquisador sobre o tema trabalhado, bem como as contribuições práticas da presente pesquisa.

2 A CRISE ENERGÉTICA E OS MODELOS DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ENERGIA

Entender a influência das mudanças climáticas na geração de energia e como isso tem afetado todos os segmentos da sociedade, é fundamental para compreender que a geração distribuída de energia vai muito além de uma proposta para auxiliar no controle do êxodo rural, como será discutido ao longo do estudo.

No presente capítulo, falamos de maneira breve sobre a crise energética mundial e brasileira e a falência do modelo convencional, posteriormente adentramos na consolidação da energia solar fotovoltaica e como ela está em concordância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU), e, também, sobre a produção de energia fotovoltaica em Minas Gerais.

2.1 A falência do modelo energético convencional

A tensão mundial relacionada ao crescimento populacional, às mudanças climáticas e à escassez de recursos naturais não mais permite que seja predominante, em nossa sociedade, o modelo energético clássico, baseado na exploração de combustíveis fósseis, como ocorre em algumas regiões do Brasil e no mundo.

Pierre Charbonnier (2021), no livro "Abundância e Liberdade: Uma história ambiental das ideias políticas", explora a relação entre desenvolvimento econômico, liberdade política e as condições materiais, especialmente no contexto das transformações ecológicas. O argumento de que a ideia de liberdade nas sociedades modernas está profundamente vinculada ao acesso a recursos materiais e energéticos.

No contexto da geração de energia solar, as ideias de Charbonnier (2021) podem estar relacionadas à busca por formas de energia que conciliem a sustentabilidade ambiental com a manutenção ou expansão das liberdades humanas. A transição para fontes renováveis, como a solar, desafia o paradigma histórico que ele descreve, pois exige uma reorganização das infraestruturas econômicas e sociais em direção a uma relação menos exploratória com o meio ambiente.

A energia solar, sendo descentralizada e abundante, pode se alinhar com os ideais de autonomia e equidade, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ecológicos. No entanto, Charbonnier (2021) nos lembra que essa transição torna necessário redefinir a ideia de liberdade para incluir responsabilidade ecológica, e não apenas expansão material. A reflexão dele é,

portanto, crucial para entender como integrar as promessas da tecnologia solar com os desafios políticos e éticos do nosso tempo.

A implantação do sistema-mundo, que tornou todas as vidas humanas interdependentes, teve de ser complementada por trabalhos que revelaram tanto a estrutura geográfica das desigualdades de desenvolvimento induzidas pela economia imperial e colonial – vale dizer, o caráter orgânico de desenvolvimento de uns e do “subdesenvolvimento” de outros – quanto a dimensão material dessas desigualdades, sua inserção na construção de um sistema que apaga sistematicamente os custos e as consequências ecológicas de sua tendência extrativa. [...]

A teoria do intercâmbio ecológico desigual não concebe a economia ecológica como provedora de uma verdade absoluta sobre a riqueza, mas como um instrumento de revelar a parcialidade do sistema de preços. (Charbonnier, 2021, p. 295-296).

Se a transição para a energia solar for acompanhada de uma mudança estrutural nas relações econômicas e sociais, ela poderá contribuir para um sistema mais equitativo e sustentável. No entanto, se a transição para a gestão for apenas como uma substituição técnica dentro da lógica do capitalismo fóssil, os problemas subjacentes — exploração, desigualdade e gestão ambiental — podem persistir.

Pierre Charbonnier e outros teóricos críticos sugerem que essa transição precisa ir além da troca de fontes de energia. É necessário reimaginar como organizamos nossas sociedades, incluindo a redefinição de liberdade, progresso e bem-estar, em harmonia com os limites planetários e com justiça social.

Elmar Altvater (2017), argumenta que:

A transição para energias renováveis requer tecnologias adequadas, mas exige ademais instituições sociais e formas econômicas adequadas. Um sistema baseado em energias renováveis necessita de certa congruência entre forma, tecnologia, regulação econômica e energia utilizada, o que, neste caso pode ser entendido como sendo uma “*revolução solar*”. Tal revolução deve envolver uma transformação radical dos padrões de produção e consumo, vida e trabalho, relações de gênero e organização espacial e temporal da vida social. (Altvater, 2017, p. 159).

O sociólogo Manuel Castells (v.1, 1999), em sua obra "A Sociedade em Rede", ao tratar da revolução tecnológica e as transformações sociais dela advindas, considera que a geração e a distribuição de energia foram os elementos principais na base da sociedade industrial. Para o historiador Eric Hobsbawm (2015), a primeira revolução industrial foi forjada na invenção do motor a vapor. Já a segunda se deu em razão da eletricidade (Castells, 1999, v. 1, p. 30 e 31). A partir de então se inicia o consumo de recursos fósseis a alimentar a crescente demanda energética industrial e a conseqüente emissão de gases de efeito estufa, como se verá adiante.

O desenvolvimento industrial, na modernidade capitalista, está ligado à introdução de novas fontes de energia nos processos de produção e circulação de bens. E o que se considera o atual modelo de desenvolvimento, conhecido como a terceira revolução industrial ou tecnológica, somente foi possível em razão das duas primeiras transformações, e, igualmente, dependente de mananciais energéticos alimentados por recursos não renováveis, conforme asseverado por Castells:

Portanto, atuando no processo central de todos os processos - ou seja, a energia necessária para produzir, distribuir e comunicar - as duas Revoluções Industriais difundiram-se por todo o sistema econômico e permearam todo o tecido social. Fontes móveis de energia barata e acessível expandiram e aumentaram a força do corpo humano, criando a base material para a continuação histórica de um movimento semelhante rumo à expansão da mente humana (Castells, 1999, v. 1, p. 75).

Nessa direção, foi a própria eletricidade não o primeiro, mas, sem dúvida, o mais relevante avanço tecnológico do século, uma vez que os anteriores, inclusive a máquina a vapor, não necessitaram, em sua concepção, de robustos conhecimentos científicos. Conforme acentuado por Hobsbawm (2015):

Assim, o mais importante dos novos campos abertos, e o único que teve imediatas consequências tecnológicas, foi o da eletricidade, ou melhor, o do eletromagnetismo. Cinco datas importantes - quatro delas em nosso período - marcam seu progresso decisivo: 1786, quando Galvani descobriu a corrente elétrica; 1799, quando Volta construiu sua bateria; 1800, quando a eletrólise foi descoberta; 1820, quando Oersted descobriu a conexão entre eletricidade e magnetismo; 1831, quando Faraday estabeleceu as relações entre todas estas forças, e por acaso se viu como o pioneiro de um enfoque da física (em termos de "campos", em vez de impulsos mecânicos) que se antecipava à era moderna. A mais importante das novas sínteses teóricas foi a descoberta das leis da termodinâmica, isto é, das relações entre calor e energia. (Hobsbawm, 2015, p. 388).

Em consequência, considerando que os recursos para produção convencional de energia são escassos e, em contrapartida, a demanda de consumo crescente, o sistema se colapsou, sendo instaurada a hodierna crise energética, que urge por alternativas viáveis para o seu estancamento, a exemplo das energias renováveis.

A energia pode ser angariada por via da transformação de recursos diversos, provenientes de variadas fontes, que se dividem em não renováveis (tradicionalis)^{3,4} e as renováveis^{5,6}. Na atualidade, a matriz energética⁷ mundial é composta, em sua maioria, por fontes não renováveis de energia, que são os principais agentes causadores da emissão de gases de efeito estufa (GEE)⁸. A Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (EPE)⁹ enfatizou que o incremento da temperatura média mundial se deve ao fato de que o homem vem emitindo, para a atmosfera, imensa carga de GEE¹⁰, o que ocasiona o aquecimento global, em um curto espaço de tempo. A temperatura já aumentou cerca de 1,1 graus celsius (KPMG, 2024)¹¹. No contexto planetário, a principal fonte da energia elétrica é decorrente do petróleo e derivados (gasolina e óleo diesel) no transporte e na indústria, seguido da queima do carvão e do gás natural (Empresa de Pesquisa Energética, s.d.c).

Segundo dados do International Energy Agency – IEA, 2023, conforme está demonstrado na figura 1, remete a análise sobre a matriz energética mundial, no ano de 2022, de um total de 622 milhões de TJ – terajoule, mais de 80% (oitenta por cento) proveniente de fontes poluidoras, não renováveis, conforme podemos constatar que 30,2% (trinta virgula dois por cento) proveniente do petróleo e derivados, 27,6% (vinte e sete virgula seis por cento) do carvão mineral a partir da queima de madeira e 23,1% (vinte e três virgula um por cento) Gás

³ A energia convencional advém de fontes finitas ou esgotáveis. As mais comuns são petróleo e seus subprodutos, o carvão mineral, amplamente explorado nas revoluções industriais, e o gás natural que são fontes fósseis. Nessa categoria, ainda se inclui a energia nuclear, percebida por fissão nuclear (reações de átomos radioativos) de elementos como o urânio. (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

⁴ A energia nuclear é produzida por recursos não renováveis, mas, é considerada energia limpa, uma vez que não produz gases de efeito estufa. O problema reside no armazenamento de seus rejeitos, altamente tóxicos e de longa subsistência. (Gonzalez, 2010).

⁵ De modo reverso, constituem energias renováveis àquelas provenientes de fontes naturais inesgotáveis, como a hídrica (água dos rios), solar (sol), eólica (vento), biomassa (orgânica), geotérmica (interior da Terra) e oceânica (marés e das ondas). (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

⁶ Também em voga está a energia tida a partir do hidrogênio, que pode ser considerada renovável ou não, a depender do processo de sua obtenção. É que este elemento pode ser conseguido a partir de variadas técnicas (rotas tecnológicas) e insumos (EPE, 2023b).

⁷ A matriz energética é composta por fontes de energia de uso dos seres humanos, em suas diferentes utilidades. É a composição ou estrutura dos recursos e fontes de energia usados por um país, região ou organização para satisfazer suas necessidades energéticas. Já a matriz elétrica representa o compilado de fontes utilizadas somente para a produção de energia elétrica. (Empresa de Pesquisa Energética, s.d.b).

⁸ Os mais importantes GEE derivados da produção de energia de combustíveis fósseis são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o vapor de água (H₂O). O CO₂, que é o gás carbônico, é o mais importante destes elementos, pois, se encontra presente nas emissões gasosas, em maior volume.

⁹ A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) constitui empresa pública federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), e responsável pelo desenvolvimento sustentável do sistema energético brasileiro.

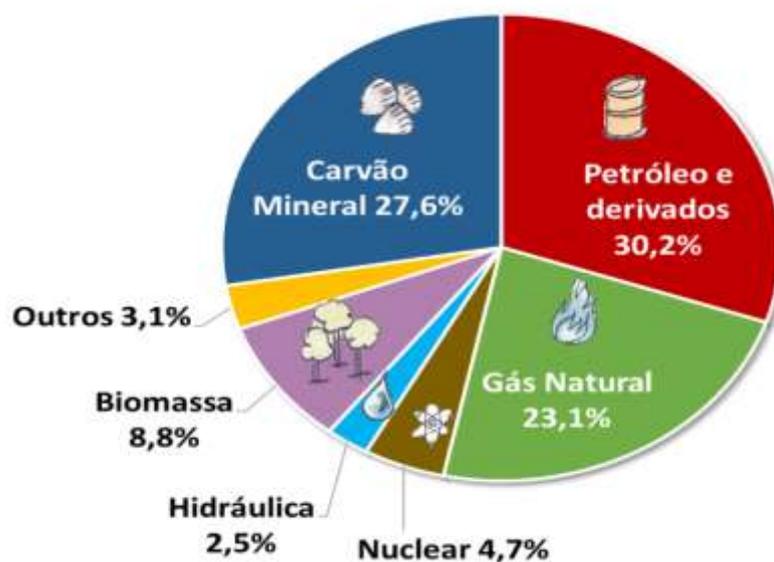
¹⁰ É preciso ressaltar que os gases de efeito estufa são imprescindíveis para a manutenção da vida terrestre, pois, evita a instalação de baixas temperaturas incompatíveis com a existência humana, na medida em que mantêm o calor na atmosfera. Já o excesso de GEE no meio ambiente causa repercussão reversa. (EPE, s.d.c).

¹¹ Trata-se de organização global inglesa de firmas-membro independentes, de que participa empresa brasileira.

Natural, que é um combustível fóssil, derivado da decomposição de restos de animais, plantas e algas.

Seguindo análise da figura 1, as fontes renováveis juntas correspondem apenas 3,1% da matriz energética mundial (solar, eólica e geotérmica), destacadas na figura como “outras”, somada à energia hidráulica e biomassa que são renováveis, totalizam pouco mais de 14% da matriz energética mundial.

Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2022¹²



Fonte: Agency (2023)¹³; Empresa de Pesquisa Energética (2023b).

Por outro lado, a matriz energética no Brasil é diferente da mundial, sendo utilizadas fontes renováveis, considera-se que a fonte de energia elétrica com maior potência instalada no Brasil são as usinas hidrelétricas, as quais se caracterizam por produzir energia renovável e com baixas emissões de gases de efeito estufa (GEE). O problema é que esta fonte depende da disponibilidade de água; em tempos de escassez, recorre-se às termoelétricas, que geram energia cara e oriundas de recursos não renováveis (gás natural).

Informações extraídas da Empresa de Pesquisa Energética, em 2022 do consumo de energia no mundo 85,7% (oitenta e cinco vírgula sete por cento), provenientes de fontes não renováveis e apenas 14,3% (quatorze vírgula três por cento) de fontes renováveis. No Brasil a

¹² Total em 2022: 29,3 mil TWh – terawatt-hora. (International Energy Agency - IEA), 2023 e a Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

¹³ A International Energy Agency (IEA) é uma entidade ligada à OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), e tem como missão garantir a segurança energética mundial e auxiliar os governos a promover a transição para a produção e uso de energia limpa, dentre as quais se destacam a energia solar e eólica. O Brasil figura como país-associado desde 2017.

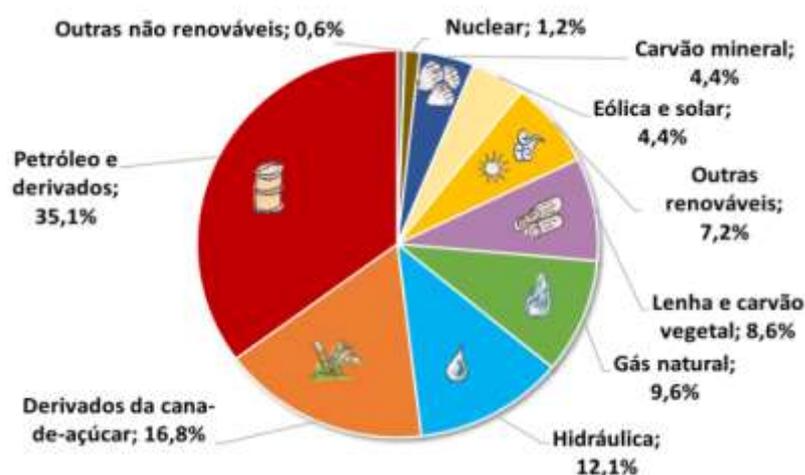
situação é bastante diferente, sendo 47,4% (quarenta e sete vírgula quatro por cento) de fontes renováveis e 52,7% (cinquenta e dois vírgula sete por cento) não renováveis, estando estas interligadas diretamente ao uso do petróleo e seus derivados, 314 milhões de TEP – Toneladas-equivalente de Petróleo em 2023. (Empresa de Pesquisa Energética, 2023b).

As fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa. Dessa forma, o Brasil emite menos gases de efeito estufas que a maioria dos outros países, considerando a emissão de GEE dividido pelo número total de habitantes.

A matriz elétrica no Brasil em sua grande maioria provem de fontes renováveis, sendo hidrelétrica, solar e eólica, a figura 2 demonstra que a matriz energética em 2023, quando englobam os demais usos, como transporte/locomoção, entre outros, pode ser observado que 35,1% (trinta e cinco vírgula um por cento) vem do petróleo e seus derivados, 16,8% (dezesseis vírgula oito por cento) proveniente da cana de açúcar, 12,1% (doze vírgula um por cento) hidráulica, 9,6% (nove vírgula seis por cento) do gás natural, 7,2% (sete vírgula dois por cento) lena e carvão vegetal, 4,4% (quatro vírgula quatro por cento) eólica e solar, entre outras.

A figura 2 evidencia ainda que o maior problema no Brasil relacionado à matriz energética, está atrelado ao meio de transporte, utilizando combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados.

Figura 2 - Matriz Energética Brasileira 2023¹⁴



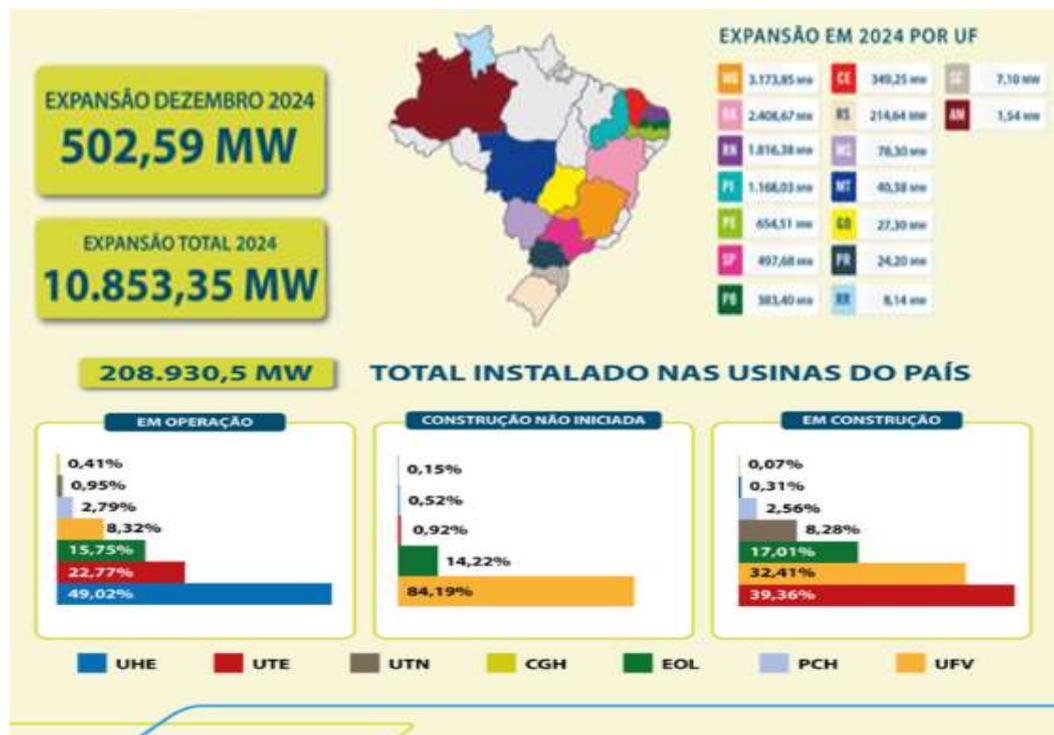
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2023a.

Já a matriz energética brasileira para o ano de 2024, demonstrou ascensão de empreendimentos com base em energia renovável e limpa, conforme pode ser observado na

¹⁴ Total em 2023: 314 milhões de tonelada-equivalente de petróleo (TEP). Empresa de Pesquisa Energética, 2023a.

Figura 3 a seguir. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em março de 2024, a matriz elétrica brasileira atingiu a marca de 200 GW (gigawatts), desse total 15,75% (quinze virgula setenta e cinco por cento) de fontes não renováveis, dessas 1% (um por cento) Nuclear) e 84,25% (oitenta e quatro virgula vinte e cinco por cento) são de fontes renováveis. As maiores fontes não renováveis são Gás natural 9% (nove por cento), Petróleo 4% (quatro por cento) e carvão Mineral 1,75% (um virgula setenta e cinco por cento). Já as maiores fontes renováveis na composição da matriz elétrica brasileira são três: hídrica 55% (cinquenta e cinco por cento), Eólica 14,8% (quatorze virgula oito por cento) e Biomassa 8,4% (oito virgula quatro por cento).

Figura 3 – Expansão da Matriz Energética Brasileira 2024



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Dados do relatório Net Zero Readiness Report, produzido pela KPMG em 2023, indicam que a agricultura, o transporte e a emissão de resíduos são as três áreas que mais contribuíram para a emissão de gases de efeito estufa no Brasil, em 2022. Segundo o estudo, a agricultura foi responsável por 46% das emissões desses gases, enquanto o transporte emitiu 16% e resíduos 13%.

As crises climáticas e a evolução tecnológica são fatores decisivos para o crescimento do uso de tipo de energias renováveis na indústria, nos setores produtivos, comércio e serviços,

especialmente o setor agropecuário, são setores que possuem como um dos principais objetivos, reduzir as emissões de poluentes e buscar alternativas que garantam eficiência energética de maneira sustentável. (Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

O semiárido brasileiro¹⁵ é caracterizado por uma escassez de água que se acentua a cada ano que se passa, e, por uma abundância de irradiação solar que vem evoluindo a cada ano. Considerando-se ainda o cenário futuro para a região do semiárido, prevê-se uma intensificação da crise hídrica e conseqüente diminuição da disponibilidade das usinas hidrelétricas, a energia fotovoltaica surge como uma alternativa interessante em termos de segurança energética (Huback *et al.*, 2016).

Dessa forma, visando ao desenvolvimento econômico e social a partir do uso da incidência solar abundante nas diversas regiões do País, especialmente o semiárido, abre-se espaço para o desenvolvimento de políticas públicas baseadas na utilização de sistemas fotovoltaicos, ao mesmo tempo, essas políticas poderão colaborar para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa e de adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima.

Lado outro, dados apontam que em 2023 no Brasil, foram aprovados 37.908 sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, sendo 26.380 (70%) geração distribuída e 11.527 (30%) geração centralizada de energia, desses projetos, 38% representavam o segmento comercial, liderando a procura pela energia solar fotovoltaica, sendo que 22% representavam o setor de supermercados (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). Não se pode desconsiderar que o comércio é hoje responsável por empregar mais de 8,5 milhões de brasileiros. Atualmente, o setor busca alternativas para recuperar seu espaço na economia após a pandemia de Covid-19, tendo como uma de suas principais estratégias a redução de custos, especialmente na conta de energia elétrica.

De toda a energia elétrica gerada no Brasil, 84,5% (oitenta e quatro virgula cinco por cento) é proveniente de fontes limpas e renováveis, sendo o país precursor na utilização de combustível biodegradável, o etanol, que é procedente da cana-de-açúcar, e detentor de frota de veículos adaptados para esta finalidade.

Já no quesito segurança energética, a energia solar é método viável de produção e soma-se à diversidade de outras fontes, em especial, as renováveis. Considerando que o insumo pode ser gerado em localidades diversas de onde ocorre o consumo, há redução da vulnerabilidade

¹⁵ Quando a degradação do solo ocorre em climas áridos, semiáridos e subúmidos secos, é caracterizada como desertificação. Segundo dados do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 85% do Semiárido brasileiro está em processo de desertificação moderado e 9% está efetivamente desertificado. Isso significa que a reversão do processo é quase impossível.

dos sistemas, proporcionando autonomia e independência energética para os usuários, o que pode impactar, também, na importação de fontes fósseis.

Nessa perspectiva, salienta-se que a energia produzida por GD , pode ser armazenada por meio de baterias estacionárias instaladas com finalidade específica, mesmo esse modelo podendo ser aplicado nos diversos sistemas de geração de energia, tem maior viabilidade técnica, quando focado para atendimento em pequenos sistemas locais que oferecem independência e segurança energética ao consumidor, suprimindo eventuais necessidades de consumo em caso de falha na rede elétrica e/ou utilização em período noturno. As estruturas construídas com esta funcionalidade podem fornecer eletricidade de forma contínua, garantindo melhor desempenho da rede de distribuição, além do custo-benefício e simplicidade para ser implantado em pequenas unidades, quando relacionado à megasinas.

2.2 A consolidação da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo

Nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), eleitos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em sua Agenda 2030, o de número 7 se refere especificamente à produção de energia limpa e acessível planetária, a saber:

Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos.

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.

7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio. (ONU BRASIL, 2015).

A nível mundial, a energia solar¹⁶ tem crescido vertiginosamente, nos últimos anos. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE), em 2010 a capacidade instalada¹⁷

¹⁶ Em se tratando de energia renovável cuja fonte são os raios solares, há três modalidades de exploração viáveis: (i) heliotérmica (energia solar concentrada ou termossolar); (ii) energia solar térmica, que, por sua vez, utiliza painéis solares (espelhos, coletores ou heliostatos) (iii) energia fotovoltaica que é objeto do presente esboço de pesquisa. (Portal Solar, 2014a).

¹⁷ Os conceitos de capacidade ou potência instalada serão abordados no decorrer do texto.

era menor que 100 GW (gigawatts), saltando, em 2022, para 1 TW (terawatt), o que representa 1/3 da energia renovável consumida no planeta. E a previsão é de que continue aumentando nos próximos cinco anos. Para 2028, estima-se que a energia solar fotovoltaica e a eólica dupliquem a sua capacidade em comparação com 2022, atingindo a marca de 710 GW (Agência Internacional de Energia, 2024).

No Brasil não tem sido diferente, inclusive, em razão de suas condições climáticas. Segundo o Sistema de Informação de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atualizado em 2024, a energia solar fotovoltaica geração centralizada alcançou a marca de produção de 14,9 gigawatts (GW) de capacidade instalada, chegando a 7,24% da potência outorgada total de 205,9 GW (2024).

A energia solar tende a gerar mais empregos por megawatt instalado em comparação com fontes centralizadas, como hidrelétricas ou termoelétricas. Isso ocorre porque a produção e instalação de sistemas solares, especialmente em pequenas e médias escalas, é intensiva em mão de obra. Além disso, com a expansão da geração distribuída, a energia solar contribui para a descentralização do mercado de trabalho, promovendo oportunidades em regiões que antes tinham pouca atividade no setor energético.

Já em relação à quantidade de empreendimentos e a relação capacidade de geração energética percebe-se que se encontra em franca ascensão, com 18.334 empreendimentos, segundo dados da agência internacional de energia, a cada um megawatt instalado no ano, a energia solar gera 30 empregos, gerando uma média de 813,32 kW/h por cada unidade instalada, conforme se apercebe pelos números constantes nas figuras apresentadas a seguir:

Segundo dados extraídos da IEA, as energias renováveis, especialmente as fontes solar e eólica, entre 2024 e 2030, serão responsáveis por uma das maiores parcelas de redução de emissão de CO₂ no planeta.

Espera-se que a energia renovável na forma de uso direto de eletricidade ou uso indireto, por exemplo, na forma de hidrogênio renovável, desloque a maioria do uso de combustíveis fósseis em setores de uso final especialmente indústria e transporte. Fontes de calor renováveis como bioenergia moderna, usinas geotérmicas e aquecedores solares também desempenharão um papel importante da descarbonização do setor de aquecimento.

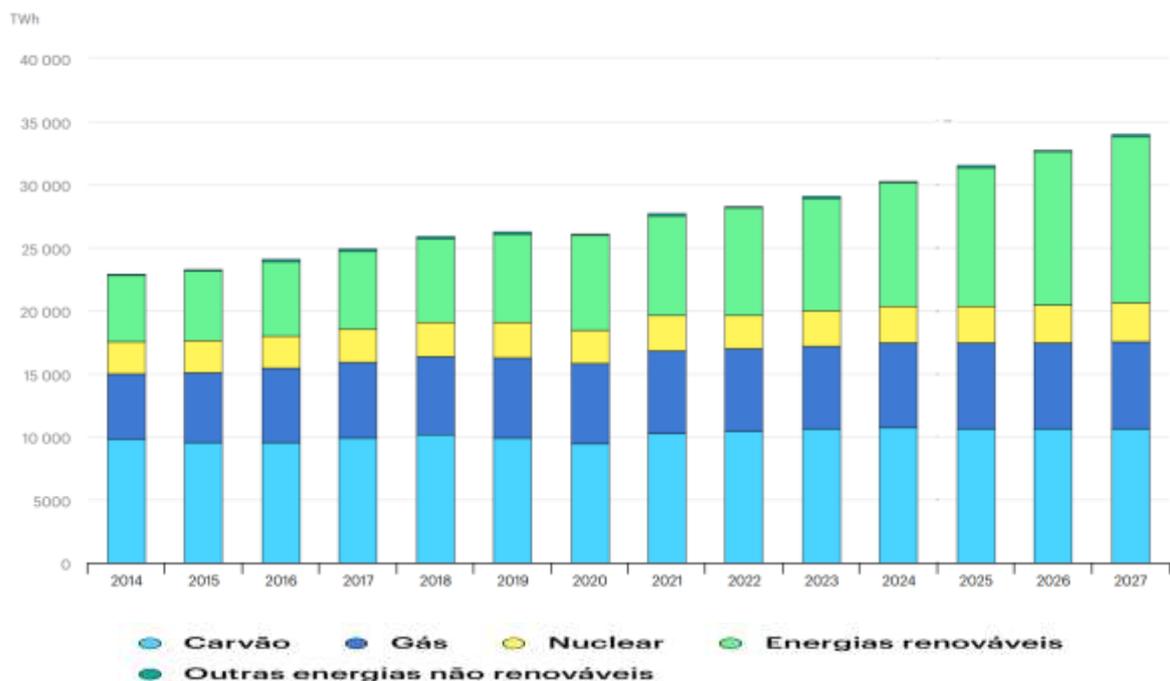
As energias renováveis desempenham um papel crítico nas transições de energia limpa. A implantação de energias renováveis para geração de eletricidade, para produção de calor para edifícios e indústria, e no transporte é um dos principais facilitadores para manter o aumento médio da temperatura global abaixo de 1,5 °C. a bioenergia moderna é hoje a maior fonte de energia renovável globalmente, com uma participação mais de 50% do uso global em 2023.

A energia solar fotovoltaica é hoje a única tecnologia de energia renovável no caminho certo com o Cenário de Emissões Líquidas Zero até 2050 (NZE). O uso de energia eólica, hidrelétrica, geotérmica, solar térmica e oceânica precisa se expandir significativamente mais rápido para entrar no caminho certo. As energias renováveis

não bioenergéticas precisam aumentar sua participação no fornecimento total de energia de quase 6% hoje para aproximadamente 16% até 2030 no Cenário NZE. Para atingir isso, o uso anual de energia renovável deve aumentar a uma taxa média cerca de 15% durante 2024-2030, quase o quádruplo do crescimento médio nos últimos 5 anos. (International Energy Agency, 2023).

A figura 4, demonstra, que as energias renováveis no planeta, tende a crescer cada vez mais, superando o desenvolvimento das demais fontes não renováveis nos próximos anos, chegando a superá-las muito em breve, caso sejam implantadas as políticas que estão programas nos diversos países poluidores.

Figura 4 - Capacidade de Geração Global de Eletricidade por Fonte, 2014-2027¹⁸



Fonte: Agência Internacional de Energia, 2024 IEA. Licença: CC BY 4.0

Segundo o estudo da IEA (2023), a América Latina acrescentará mais de 165 GW de capacidade instalada de energia renovável entre 2023 e 2028, liderada pela energia solar e seguida pela energia eólica. Quatro mercados representam 90% das adições da região: Brasil (108 GW), Chile (25 GW), México (10 GW) e Argentina (4 GW).

¹⁸ Nota do IEA, 2024: Os valores de 2023 são estimados. CSP = energia solar concentrada. As adições de capacidade referem-se a adições líquidas. Este ano, os dados fotovoltaicos de todos os países foram convertidos para CC (corrente contínua), aumentando a capacidade dos países que reportam em CA (corrente alternada). As conversões são baseadas em uma pesquisa da IEA realizada em mais de 80 países e em entrevistas com associações da indústria fotovoltaica. Os sistemas solares fotovoltaicos funcionam capturando a luz solar usando células fotovoltaicas e convertendo-a em eletricidade CC. Até cerca de 2010, a capacidade CA e CC na maioria dos sistemas fotovoltaicos era semelhante, mas com a evolução no dimensionamento do sistema fotovoltaico, estes dois valores podem agora diferir até 40%, especialmente em instalações à escala de serviços públicos. (International Energy Agency, 2024).

Figura 5 - Usinas fotovoltaicas brasileiras em operação, em construção e cujas construções ainda não foram iniciadas, 2024



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Verifica-se, pela simples análise dos dados contidos na última imagem e que se referem às usinas de base solar nacionais geração centralizada, atualizados em 16/08/2024, que, presentemente, considerando os empreendimentos em operação, em construção e que a construção ainda não foi iniciada, há previsão de incremento 13,66% do número de usinas, o que representaria 90% da potência outorgada pela ANEEL¹⁹, sendo 4% em curto prazo, caracterizando cada vez mais a centralização em grandes parques solares, 14,91 gigawatts operando em 18.334 megasusinas instaladas em agosto de 2024, sendo que em construção e não iniciada, juntas somam apenas 2.901 unidades, projetando gerar mais 112,96 gigawatts. Isto representará um acréscimo de 7,5 vezes a potência a ser instalada, perfazendo um total de geração centralizada em 21.235 unidades instaladas, gerando um total de 127,87 gigawatts, um acréscimo de 857,55% de potência outorgada fiscalizada em relação às unidades a entrarem ainda em operação, evidenciando a concentração de renda nos sistemas de geração centralizada, onde serão implantados sistemas cada vez maiores, se comparado à geração distribuída, conforme apresentado será apresentado logo abaixo.

Com relação ao aumento de produção efetiva de energia solar em todo país, no ano de 2013 era de 14 MW. Em 2017, apenas 190 MW, passando para 25.373 MW em 2022 e, até agosto de 2024, ultrapassou a incrível marca de 46.492 MW, somando a geração centralizada e

¹⁹ Os termos "potência outorgada" e "potência fiscalizada" utilizados pela ANEEL estão relacionados, consecutivamente, ao volume autorizado de geração de energia renovável e a potência efetivamente instalada em uma usina e têm serventia para a agência fiscalizar os empreendimentos. Ademais, são medidos em KW.

geração distribuída de energia fotovoltaica. (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024; Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2024).

Segundo dados pesquisados pelo autor junto à Agência Nacional de Energia Elétrica, dados de 2024, a geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil trabalha inverso ao contexto da centralizada, pois, enquanto a geração solar centralizada representa apenas 7,24% da potência total outorgada de sistema centralizado no país, trabalhando com apenas 18.334 sistemas, a geração distribuída de energia solar fotovoltaica representa 99,97% da potência total outorgada de geração distribuída de energia no Brasil, com 2.813.685 sistemas instalados, gerando 31.572 MW, com uma média de 11,22 kW por unidade instalada, deixando clara a importância da geração distribuída de energia solar para o desenvolvimento regional sustentável.

2.3 Problemas comuns aos dois modelos de geração

Outros aspectos relevantes que não serão objeto desse trabalho, estão relacionados à construção dos painéis solares, em que são utilizados recursos normalmente advindos de fontes não renováveis, como é o caso do silício, vidro e metais que podem acarretar a poluição do ar, da água e do solo. Ademais, finda a vida útil, é preciso que haja o descarte adequado das células fotovoltaicas porque estas contêm materiais tóxicos, como cádmio e chumbo.

As células de perovskita são uma das mais promissoras tecnologias fotovoltaicas. Em menos de três anos, a eficiência máxima da célula avançou de 10,9% para 20,1%. As células de perovskita utilizam materiais de baixo custo e características físicas que a possibilitam elevado desempenho elétrico. Entre os desafios para seu desenvolvimento, ressalta-se a necessidade de controle refinado sobre a morfologia dos filmes, a alta sensibilidade à humidade, a falta de provas da estabilidade das células e o uso de chumbo (tóxico) em sua composição. (Tomalsquim, 2015 *apud* Empresa de Energia Elétrica, 2016, p. 341).

Segundo informações apresentadas pelo Ministério de Minas e Energia (2023) referindo-se às células de silício:

Os minerais estão presentes em vários componentes das placas solares. A primeira lâmina, chamada de moldura, é produzida de alumínio (bauxita). O mineral tem a característica de ser flexível, resistente e leve. A segunda parte é o vidro, material que é composto por areia e pelos minerais carbonato de sódio (barrilha), calcário, óxido de minerais, como de ferro e outros elementos. Setenta por cento (70%) da areia é composta por uma areia fina, com grãos menores do que a que se encontra nas praias. Daí vem a sílica, uma mistura do mineral silício e do oxigênio. (Ministério de Minas e Energia, 2023).

Ademais, Carvalho, Mesquita e Rocio (2014) e Reis (2015) entendem que:

A produção de silício metalúrgico, atividade já presente no país, gera impactos socioambientais desde a fase de extração de matéria-prima, tais como degradação da paisagem e geração de rejeitos, principalmente, além de possível poluição da água. Na fase de transformação em silício metalúrgico ocorre a emissão de material particulado, gases tóxicos e de efeito estufa e a geração de produtos acidificantes do meio ambiente (Carvalho; Mesquita; Rocio, 2014; Reis, 2015).

Ainda, o processo de reciclagem de tais dispositivos não é simples, pois, detêm diversos elementos em sua composição de difícil separação, como o próprio silício, que é formado pela redução da sílica, (SiO_2) por ação do carbono, em altas temperaturas. Outrossim, a água utilizada para a sua limpeza é oriunda dos mananciais existentes na localidade, o que tende a provocar prejuízo ambiental, ligado à escassez do recurso.

Para mais, os custos de implantação da geração solar fotovoltaica incluem a aquisição dos painéis solares, inversores, suportes de fixação, cabeamento e demais componentes do sistema, bem como os custos de instalação. Já os custos de manutenção estão relacionados principalmente à limpeza dos painéis, inspeções periódicas, substituição de peças desgastadas e eventuais reparos. Entretanto, é importante ressaltar que, embora os custos iniciais ainda sejam considerados relativamente elevados, a queda nos preços dos equipamentos e a melhoria da eficiência energética têm tornado a geração solar fotovoltaica cada vez mais competitiva em comparação com outras fontes de energia.

3 MODELOS DE GERAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A produção da energia fotovoltaica é classificada como de “geração centralizada” e de “geração distribuída”, o que remete aos processos e métodos adotados para disseminar e alavancar a geração de energia solar.

Este trabalho tem como intento demonstrar que o incremento de energia fotovoltaica é o que mais contribui ao desenvolvimento territorial, desde que prestigiada a sua disseminação pelos métodos de geração distribuída, micro e minigeração, especialmente a modalidade de microgeração, em detrimento do avanço desenfreado da geração centralizada (megausinas).

A centralidade da indústria elétrica, pelo menos para geração, se encontra desafiada pela maturidade econômica e técnica das aplicações de geração distribuída e das consecutivas alterações regulatórias do final do século XX e início do século XXI. Observando somente a questão tecnológica, é notório que os painéis fotovoltaicos estão mais eficientes e em conjunto com inversores e demais componentes necessários para os sistemas, estão cada vez mais competitivos economicamente. (BRASIL, 2024).

A multiplicação dos complexos fotovoltaicos pode causar sérios danos ambientais e sociais, com efeitos negativos na produção de alimentos provenientes da agricultura familiar, sendo este ponto um dos objetos do presente estudo. O ponto de vista defendido aqui é que os efeitos positivos da geração distribuída são ainda mais potencializados pelas externalidades ou efeitos negativos da geração centralizada.

Ao contrário, a geração distribuída que pode ser integrada aos ambientes rurais sem provocar danos ecológicos e também à economia dos pequenos produtores. O armazenamento de energia permite modular os recursos e gerenciar oferta e demanda, o que torna o sistema elétrico mais equilibrado, seguro e confiável, e reduz os desperdícios de energia, além de diminuir a dependência da disponibilidade de energia por parte das concessionárias para as unidades consumidoras, proporcionando liberdade energética. (ANEEL, 2023a).

Os sistemas de armazenamento e de geração distribuída, sejam eles aplicados de forma individual ou associados, terão um importante papel no aumento da resiliência do setor elétrico. Além disso, irão garantir que os impactos causados pelas mudanças climáticas no setor sejam minimizados, pois reduzem o impacto da alteração dos ciclos hidrológicos, minimizam as interrupções de energia por danos nas linhas de transmissão e aumentam a flexibilidade do setor, permitindo que o sistema elétrico se adapte frente a eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes.

Neste capítulo, serão apresentados os modelos de geração de energia solar e suas respectivas características, com foco em duas principais abordagens: a geração centralizada e a geração distribuída, sendo que esta subdivide em mini e microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica. Serão discutidas as vantagens e desvantagens de cada modelo, considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais, além do papel estratégico do armazenamento de energia na promoção da resiliência do sistema elétrico. Embasado nesses tópicos, será defendida a superioridade da microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica, como alternativa capaz de promover o desenvolvimento regional sustentável.

3.1 Modelos de produção de energia solar fotovoltaica

A integração de FVs em microrredes, possibilitando o fornecimento de energia constante e de alta qualidade a uma determinada localidade, gerando, distribuindo e regulando o fluxo de eletricidade aos consumidores, parece natural. A intermitência de geração fotovoltaica pode ser compensada não apenas pelo uso de tecnologias de armazenamento de energia: a rede principal e as microrredes circundantes, mas também com o uso na própria localidade, o que evita sobrecarga nas redes de distribuição, levando em consideração que os consumidores estão mais próximos da localidade onde está sendo gerada a energia elétrica. Muitos aspectos ainda precisam ser investigados nos campos de eletrônica de potência, tecnologias de comunicação de informação (TICs), proteções e questões de qualidade de energia (PQ), para tornar a integração desses sistemas uma realidade.

O contexto atual de transição energética e a crescente preocupação com as mudanças climáticas tornam o tema da energia solar fotovoltaica altamente relevante. A necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade energética impulsiona a busca por fontes limpas e renováveis. Nesse sentido, a análise comparativa entre geração centralizada e distribuída, com enfoque em micro e minigeração, permite avaliar de forma precisa as vantagens e desvantagens destes tipos de sistema de geração, destacando seu papel na matriz energética atual e futura. Nesse contexto a figura 6, demonstra claramente como funciona o sistema de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia elétrica,

Figura 6 - Produção de energia solar fotovoltaica



Fonte: Lima (2018)

Os sistemas de geração de energia solar fotovoltaicos são classificados em dois modelos distintos, assim como as demais fontes geradoras de energia elétrica em todo país, sendo a geração centralizada e geração distribuída.

O que difere os dois sistemas de energia elétrica? Nos termos da Lei nº 14.300/2022, está relacionado diretamente ao volume de energia gerada em cada sistema, a potência instalada, onde na geração centralizada: são considerados os grandes sistemas que gera acima de 3 (três) megawatts, quando refere a sistema solar fotovoltaicas e 5 (cinco) megawatts de potência para as demais fontes geradoras de energia elétrica, consideradas fontes despacháveis²⁰ que são os sistemas: hidrelétricas, biomassa, biogás e fotovoltaica, sendo que o sistema fotovoltaico se torna despachável apenas quando instalado sistemas de armazenamento de energia, atualmente por meio de baterias estacionárias. A geração distribuída são os sistemas que geram energia, potencia instalada menor ou igual ao especificado para os sistemas de geração centralizado.

Importante salientar que a instalação de uma unidade de geração centralizada de energia solar fotovoltaica, será necessário área de terreno disponível, acima de 50.000 m² (cinquenta mil metros quadrados) para gerar em torno de 5 MW de energia.

²⁰ Energias despacháveis, segundo a Resolução Normativa nº 1000 da ANEEL, são aquelas que podem ser programadas e controladas de acordo com a demanda do mercado, a pedido dos operadores da rede elétrica em determinado momento, podendo também ter a produção energética armazenada para uso posterior. Não despacháveis são aquelas que não é possível o controle de geração pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), ligar e desligar, sendo consideradas intermitentes. A energia é produzida e injetada instantaneamente na rede. Exemplos: energia eólica e solar fotovoltaica. (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021).

3.2 O modelo de geração centralizada de energia solar

A geração centralizada (GC) de energia solar envolve a concentração da produção energética em uma entidade ou local específico. Nesse modelo, uma organização central, como uma empresa ou instituição governamental, é responsável pela produção em grande escala e pela distribuição dos produtos ou serviços para os consumidores. Está frequentemente associada a sistemas tradicionais de produção e distribuição. Caracteriza-se por amplas unidades de produção e/ou sistemas de energia elétrica em grande escala, em que a produção de eletricidade ocorre em uma única localidade e é entregue aos consumidores por meio da rede elétrica. No Brasil, em sua maioria, destacam-se as usinas hidrelétricas ou termoeletricas com grandes capacidades instaladas.

Em se tratando da energia fotovoltaica, são fixados painéis solares em uma área extensa, como em um parque solar ou usina solar, em vez de telhados e/ou pequenas estruturas individuais. São “usinas fotovoltaicas” de grande potência e produção, também chamadas de “complexos fotovoltaicos”. Caracterizam-se por possuírem módulos geradores que produzem energia para muitas unidades consumidoras. Os painéis solares estão conectados a inversores que convertem a eletricidade de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), adequada ao uso doméstico e industrial.

A GC é de comum utilização em empreendimentos acima de 5 MW e sua comercialização se dá em ambiente de contratação livre (ACL) e em ambiente de contratação regulada (ACR). No ACL, a comercialização ocorre entre geradoras, comercializadoras, consumidores livres/especiais e compradores/vendedores, por intermédio dos *Power Purchase Agreement (PPAs)*²¹. Já na ACR, a transação está sujeita à licitação pública, no formato de leilão, e controlada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), onde os empreendimentos interessados em propor a inclusão de projetos nos certames deverão requerer o Cadastramento e Habilitação Técnica junto à Empresa de Pesquisa Energética (EPE), de acordo com os critérios estabelecidos no edital. (ABSOLAR, 2024).

Este modelo de geração, no contexto da energia fotovoltaica, apresenta algumas vantagens. Em primeiro lugar, por se tratar de empreendimento de grande porte, permite maior eficiência na instalação e operação dos sistemas solares, facilidade na gestão administrativa, levando que a gestão será de uma unidade geradora, distribuída para uma ou mais unidades

²¹. *Power Purchase Agreement (PPAs)* são contratos de compra e venda de longa duração, cujo objeto é a aquisição de energia renovável.

consumidoras e conseqüente diminuição dos custos de produção, sendo considerados mais baixos na geração de eletricidade nesse modelo.

De igual modo, tais sistemas possuem a vantagem de menor complexidade em seu monitoramento, operação e manutenção, em comparação com estruturas de pequena envergadura. Também é possível integrar facilmente os aparatos de armazenamento de energia, como baterias, às instalações centrais, o que ajuda a mitigar a intermitência da energia solar.

Figura 7 - Empreendimento de produção de energia solar fotovoltaica na modalidade geração centralizada



Fonte: VALE, 2022.

A Figura 7 registra uma grande usina de GC de energia solar fotovoltaica, com capacidade de geração de 766 MWp. Trata-se do “Complexo Sol do Cerrado”, pertencente à empresa Vale, localizado no município de Jaíba/MG cuja extensão se confunde com a topografia e as linhas do horizonte do cerrado.

No entanto, GC solar também apresenta desafios. Ela requer grandes investimentos de capital em sua edificação, sendo preciso a instalação de linhas de transmissão e subestações para fins de conexão do insumo às linhas de distribuição, além de depender de grandes áreas para a sua implementação. A subestação e rede de transmissão deverá ser exclusiva para suportar a capacidade de carga gerada e evitar perdas de energia no processo de transmissão.

As megasusinas de energia solar fotovoltaica, embora sejam uma fonte limpa e renovável de energia, também causam alguns impactos ambientais e sociais, que levam à perda de biodiversidade e à fragmentação de habitats, pois a derrubada indiscriminada de florestas (ação antrópica), criam se imensas modificações que sem dúvida destroem o equilíbrio do ecossistema. Ehrlich (1986). citado por Rêgo e Hoeflich afirma que:

[...] ao se destruir uma floresta, inúmeros animais que dependem das árvores para alimentar-se e abrigar-se desaparecem. Com a remoção das grandes árvores, o solo fica exposto e sofre muito depressa os efeitos da erosão. A perda da camada superior do solo reduz sua capacidade de retenção de água, diminui o suprimento de água doce, causa deposição de lodo nos rios e lagos. O desflorestamento reduz a quantidade de água transferida do solo para a atmosfera pelas árvores, no processo de transpiração. Este fenômeno modifica os ventos do local, tornando-os usualmente mais áridos e sujeitos a grandes desníveis de temperatura. (Erlich, 1986 *apud* Rêgo; Hoeflich, 2001, p. 8).

As autoras acima citam, também, Andersson (1995) ao falar sobre as consequências relacionadas ao desmatamento indiscriminado, com uma destruição drástica da mata atlântica em curto período de tempo e as consequências que isso provoca com a retirada da cobertura dos solos, e, reforçam também a preocupação com as futuras gerações em decorrência ao aquecimento global.

Enquanto as florestas são destruídas por lucro a curto prazo, as perdas de potenciais a longo prazo são impostas não somente sobre os usuários. A humanidade inteira será afetada, mas de uma forma assimétrica. Os custos serão pagos especialmente pelas gerações futuras, que sofrerão perdas enormes por causa dos ciclos hidrológicos desestabilizados, assim como os custos do efeito estufa em aceleração afetarão todos os países em maior ou menor grau de intensidade e pela perda da biodiversidade biológica ou genética (Andersson, 1995 *apud* Rêgo; Hoeflich, 2001, p.37).

A etiologia da desertificação é amplamente estudada, e suas causas podem ser agrupadas em fatores naturais e ações humanas. Esses fatores frequentemente interagem, agravando o problema. No Brasil, o fenômeno é observado principalmente no semiárido nordestino, devido à combinação de fatores climáticos (longos períodos de estiagem) e práticas humanas inadequadas.

Portanto, a desertificação é um fenômeno complexo, que resulta de uma interação entre o ambiente natural e as atividades humanas. A prevenção e mitigação desse processo envolvem práticas de manejo sustentável do solo e o combate às mudanças climáticas.

A etiologia da desertificação é bastante conhecida e pode-se relacionar uma série de causas e fatores, como o desflorestamento indiscriminado para a venda de madeira, produção de carvão, plantios e pastagens empíricos ou esgotantes, os incêndios ocasionais e as queimadas propositais, o uso inadequado do solo, e por fim, a ausência de uma efetiva política de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas que simultaneamente cuidasse do repovoamento vegetal e animal, da conservação do solo e do policiamento dos parques e reservas. Uma vez iniciados os processos de erosão e desflorestamento, dificilmente eles poderão ser contidos, porque a biosfera é largamente afetada pelo desequilíbrio ecológico (FAO, 1976; Moura, 1979 *apud* Rêgo; Hoeflich, 2001, p.37).

Embora as usinas solares contribuam significativamente para a redução de emissões de carbono e para a transição energética, elas podem influenciar as temperaturas locais, a grande quantidade de painéis solares em uma área pode modificar o microclima local, influenciando fatores como temperatura e umidade. Isso acontece devido à absorção e reflexão de calor pelas superfícies dos painéis, criando o chamado "efeito ilha de calor".

Oke (1982) citado por Amorim (2019, p. 4): “considerou como sendo uma anomalia térmica com dimensões horizontais, verticais e temporais, observada na maioria dos locais onde os estudos foram realizados”. A característica mais importante da ilha de calor atmosférica é sua intensidade, entendida como a diferença entre o máximo da temperatura urbana e o mínimo da temperatura rural no mesmo instante.

Práticas como a impermeabilização dos solos, a utilização de materiais construtivos inadequados, a retirada da cobertura vegetal original, a canalização fechada de rios e córregos, a emissão de poluentes para a atmosfera têm sido frequentes nas cidades. Essas modificações associadas às características naturais dos ambientes tropicais têm proporcionado a geração de ilhas de calor e têm sido registradas situações de desconforto térmico na maioria das cidades onde os estudos têm sido realizados. (AMORIM, 2010, p. 72).

A instalação de megasusinas solares interfere no comportamento de espécies locais. Animais podem ser deslocados de seus habitats naturais ou sofrer interferências nos seus ciclos de alimentação e reprodução.

Alguns estudos indicam que grandes campos de painéis solares podem afetar aves que confundem os painéis com corpos d'água, levando a colisões e mortalidade. Em artigo publicado pelo *site* Fotovolt, estudo realizado pelo Argonne National Laboratório (2020) que é um dos maiores e mais antigos laboratórios de pesquisa científica do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), com base em dados disponíveis em 2016, entre 37,8 mil e 136 mil pássaros morrem por ano em colisões com painéis fotovoltaicos nos Estados Unidos.

Embora as usinas solares fotovoltaicas demandem pouca água em comparação com outras formas de geração de energia, quando estamos falando em megasusinas, ainda há consumo de grande quantidade de água para a limpeza dos painéis, causando sérios problemas, especialmente em regiões áridas ou semiáridas, onde a água já é um recurso escasso.

A fabricação de painéis solares envolve o uso de materiais tóxicos, como o cádmio e o chumbo, a necessidade de reciclagem de grandes volumes de painéis solares usados representa um desafio crescente, com poucos países tendo infraestrutura adequada para lidar com esse tipo de resíduo. O descarte inadequado de painéis solares no final de sua vida útil pode levar à contaminação do solo e da água.

Embora a operação das usinas solares seja livre de emissões diretas, a fabricação, transporte e instalação dos equipamentos, bem como a construção da infraestrutura associada, geram emissões de gases de efeito estufa. Isso inclui a extração e processamento de materiais como o silício, utilizado nos painéis fotovoltaicos.

O impacto social das grandes usinas geradoras, muitas das vezes, não contemplam as necessidades energéticas locais. Ao contrário, a energia é produzida para abastecer vultosos empreendimentos e os consumidores de grandes centros urbanos, instalados, frequentemente, em outras regiões do Estado e até mesmo do país.

Depois que chegaram os parques de energia eólica e de energia solar e as linhas de transmissão – o chamado desenvolvimento –, chegou também a violência. Moro a cinco quilômetros de uma cidade onde tudo mudou com a vinda desses outros modos de vida. Mesmo assim, ainda consigo deixar minha moto na calçada quando chego tarde em casa, para guardá-la só no dia seguinte. Ainda posso dormir nas praças da cidade, uma cidade de vinte mil habitantes, onde é comum chegar uma pessoa e perguntar se estou bem ou se quero que ela me leve para casa. Essa é uma relação que nos Alphavilles não existe, ainda há compartilhamento entre nós. (SANTOS, 2023, 49).

Os empreendimentos carecem de equipe especializada para implantação de suas infraestruturas e que, geralmente, é constituída por mão-de-obra externa. Igualmente, na sua construção, são empregados equipamentos que não são produzidos na região. Dessa feita, não há geração de empregos e renda para as gentes do território, a não ser ganhos esporádicos advindos de hospedagens e fornecimento de alimentação, além do uso de força de trabalho eventual para a limpeza dos painéis solares que, paulatinamente, vem sendo substituída por sistemas automatizados.

A utilização de grande extensão de terra para instalar as megausinas, o que pode resultar na desapropriação de terras de comunidades locais, agricultores ou pequenos proprietários. Em muitos casos, essas desapropriações podem ser forçadas ou conduzidas com compensações inadequadas, gerando tensões sociais e perdas econômicas para os residentes. Comunidades rurais, indígenas ou tradicionais, que possuem uma relação histórica e cultural com a terra, podem ser particularmente vulneráveis a esse impacto, perdendo não apenas seus meios de subsistência, mas também suas conexões culturais e espirituais com o território.

Embora as megausinas possam trazer benefícios econômicos em termos de geração de energia e investimentos, muitas vezes as comunidades locais não são beneficiadas diretamente. A maior parte dos lucros vai para grandes empresas e investidores externos, enquanto os moradores locais continuam a enfrentar desafios socioeconômicos. Paradoxalmente, as comunidades que vivem perto dessas grandes usinas solares podem não ter acesso à eletricidade

gerada. A energia muitas vezes é direcionada para grandes centros urbanos ou exportada, enquanto áreas rurais continuam com infraestrutura energética precária.

Pequenos agricultores e pastores podem perder suas terras ou ter seu acesso a áreas produtivas restringido. Isso pode resultar em uma perda significativa de meios de subsistência, já que muitas dessas pessoas dependem diretamente da terra para sua sobrevivência econômica e alimentar. Por sua vez, a perda de terras produtivas para a instalação de megasusinas pode agravar a pobreza rural e aumentar a dependência de subsídios governamentais ou outras formas de assistência.

Embora as megasusinas solares criem empregos, a maioria dessas vagas é de natureza temporária, especialmente durante a fase de construção. Uma vez que a usina esteja em operação, o número de postos de trabalho disponíveis cai drasticamente, e as vagas restantes geralmente exigem alta qualificação técnica, o que pode excluir a mão de obra local.

A implementação de grandes projetos de energia solar poderá aprofundar as desigualdades regionais, uma vez que os benefícios econômicos, como impostos e lucros, são frequentemente concentrados em regiões mais ricas ou em grandes centros urbanos, enquanto as comunidades rurais afetadas diretamente pela usina permanecem marginalizadas e sem acesso adequado aos serviços básicos. Os impostos e lucros gerados por grandes usinas solares frequentemente são direcionados para grandes empresas ou governos centrais, em vez de beneficiar diretamente as comunidades locais.

As populações das áreas onde os projetos são instalados muitas vezes recebem apenas uma pequena parte desses benefícios, como empregos de baixa qualificação e temporários, enquanto os lucros principais vão para investidores ou empresas de outros locais.

Da mesma forma, a centralização da produção de energia em megasusinas controladas por grandes corporações pode aumentar a dependência econômica de comunidades e governos locais em relação a essas empresas. Isso pode gerar uma concentração de poder nas mãos de poucos, limitando as opções de desenvolvimento econômico autônomo para as regiões afetadas.

A aquisição pelas empresas fotovoltaicas de pequenas e médias glebas de terras, com forte incidência solar, ocasiona a concentração fundiária, o que impacta frontalmente com o processo produtivo no campo. A venda das pequenas propriedades aparece como vantajosa uma vez que os produtores não conseguem alavancar seus empreendimentos.

Há, ainda, a ocorrência de deslocamento humano forçado para as áreas citadinas, em busca de trabalho. Noutras palavras, a reestruturação produtiva do território, de produção de alimentos para energia solar na modalidade de GC, pode alterar a estrutura econômica e financeira da região, sem benefícios para os locais. Não há, portanto, distribuição de renda

regional advinda de tais empreitadas, uma vez que esta é reservada para os grandes empreendedores, sejam estatais ou da iniciativa privada.

Em nível microrregional, a centralização dos recursos financeiros advindos da atividade é um sério problema, na medida em que tende a provocar êxodo rural, conforme já citado, além da redução e, até mesmo, extirpação da diversidade cultural e ambiental, e o consequente empobrecimento da população, uma vez que não contempla os partícipes locais, como será retratado adiante.

A tabela 1, demonstra a previsão de ampliação das unidades de geração centralizada de energia das diferentes fontes geradoras em todo país nos próximos anos, estando programado até 2032 a instalação e funcionamento de 3.541 (três mil quinhentos e quarenta e uma) unidade de geração de energia, sendo que desse total, 2.818 (dois mil oitocentos e dezoito) unidade proveniente da fonte solar. Não sendo considerado nesse cálculo, as 134 (cento e trinta e quatro) unidades sem previsão de instalação, mais que consta na tabela. Apenas no ano de 2029, que chama atenção pela previsão de instalação e funcionamento de 2.481 (dois mil quatrocentos e oitenta e uma) unidade, sendo que 2.018 (dois mil e dezoito) unidades virá da fonte solar fotovoltaico.

Tabela 1 – Tendência de Expansão da geração centralizada no Brasil²²



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

²² As informações por meio do ralie, a classificação da viabilidade da implantação das usinas, é um parâmetro da fiscalização da ANEEL que indica expectativa do empreendimento ser ou não concluído. A classificação adotada aborda os seguintes aspectos:

Alta: licença ambiental de instalação vigente e obras civis em andamento. Não há impedimentos para implantação da usina.

Média: obras não iniciadas ou sem licenciamento ambiental de instalação obtida. Não há demais impedimentos para implantação da usina.

Baixa: suspensão de licenciamento ambiental ou declaração de inviabilidade ambiental, processo de revogação em análise, demandas judiciais e/ou obras paralisadas. Não há perspectiva para que o empreendimento seja implantado.

Analisando a tabela 2, referindo-se apenas a geração centralizada de energia, acima de 3 MW para a fonte solar e 5 MW para as demais, constata-se que em todo país tem-se instaladas e, em operação 23.752 sistemas de geração de energia, gerando 204,39 GW, ainda 308 sistemas em construção e 3.365 autorizados a construir. O número significativo de sistemas em construção e autorizados a construir sugere que o Brasil está investindo fortemente na ampliação da capacidade energética, especialmente no contexto da transição para fontes renováveis.

Atualmente a energia gerada por fonte hídrica no Brasil, tem a maior relevância, representando 53,74% da energia gerada em todo país, um total de 1.322 unidades em operação, gerando 109,79 GW de energia elétrica, distribuídos em três tipos de unidades hídricas: centrais geradoras hidrelétricas; pequenas centrais hidrelétricas e usina hidrelétrica.²³

Tabela 2 – Matriz Energética Brasileira (Geração Centralizada)

Tipos de Geração de Energia Elétrica	Quantidade	Operação	Construção	Construção Não Iniciada	Potência Outorgada (GW)	Potência Fiscalizada (GW)	Potência Fiscalizada (%)
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	220	214	1	5	103,60	103,12	50,46
Usina Termoelétrica de Energia (UTE)	3.099	3.023	39	37	55,57	46,11	22,56
Usina Eólicoelétrica de Energia (EOL)	1.664	1.071	86	507	55,95	31,53	15,43
Usina Solar Fotovoltaica (UFV)	21.235	18.334	145	2.756	142,78	14,90	7,29
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	519	427	32	60	7,03	5,82	2,85
Usina Termonuclear (UTN)	3	2	1	0	3,34	1,99	0,98
Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)	685	681	4	0	0,87	0,85	0,43
Total	27.425	23.752	308	3.365	369,15	204,39	100

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (2024).

A tabela destaca tanto o progresso quanto os desafios da geração de energia elétrica no Brasil. Com 23.752 empreendimentos em operação, uma capacidade fiscalizada significativa e

²³ Três tipos de unidades geradoras por fonte hídrica: Centrais Geradoras Hidrelétricas: são unidades movidas por recursos hídricos que geram até 5 MW, estando em operação 681 unidades, gerando 0,85 GW de energia elétrica; Pequenas Centrais Hidrelétricas: são as unidades movidas por recursos hídricos que geram entre 5 e 30 MW, em operação em todo país existem 427 unidades, gerando 5,82 GW de energia elétrica; Usina Hidrelétrica: são as unidades movidas por recursos hídricos que geram acima de 30 MW. No Brasil tem 214 usinas em operação, gerando 103,12 GW de energia elétrica.

uma série de processos promissores de projetos em construção ou autorizados, o setor apresenta uma transição para fontes mais sustentáveis.

O gráfico da Figura 8 a seguir, mostra o crescimento exponencial das energias renováveis no Brasil e a previsão de crescimento da energia solar, destacando os avanços das hidrelétricas, eólicas e solar no decorrer dos anos, a partir de 1997, sendo que cada uma teve evolução por um determinado período de tempo, sendo algumas por longos períodos e outras por curto espaço de tempo. Até o ano de 2005 só existiam no País três fontes de energia, hídrica, fóssil e biomassa em pequena escala, em 2006 surge a energia eólica para compor com as demais, permanecendo por uma década como fontes geradoras de energia elétrica em todo País. A partir de 2017, começa a surgir, significativamente, a energia solar para compor com as demais fontes o sistema de geração de energia elétrica no Brasil. Mesmo tendo desde 2013 a exploração da energia solar no Brasil, a composição de representatividade junto ao sistema elétrico só aparece em 2017, por meio dos sistemas de geração centralizada.

Figura 8 - Histórico e tendência por origem da expansão da energia elétrica no Brasil – Geração Centralizada em potência (MW)



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Em 2001, 2004, 2010, 2013 e 2020 as fontes fósseis foram as principais geradoras de energia elétrica no País. Em 2014, 2015, 2021 e 2023 o destaque foi a energia eólica, nos demais anos, até 2019, as hidrelétricas predominaram sobre as demais fontes. No ano de 2023 tem destaque as fontes solares quase no mesmo patamar das eólicas, ultrapassando em 2024 as demais fontes, referindo-se à geração centralizada de energia elétrica (grandes unidades geradoras de energia elétrica). Na tabela 3 é possível visualizar a previsão de crescimento da energia solar:

A tabela 3 demonstra a previsão de crescimento exponencial da energia solar no Brasil nos próximos anos em relação as demais fontes, ultrapassando em 2024 a energia eólica e apresentando um crescimento significativo até 2027, inúmeras vezes em relação a fonte segunda colocada no ranking das fontes geradoras de energias em todo País, considerando apenas a geração centralizada de energia elétrica. Até 2019 as hídricas predominaram em potência (MW) instalada anualmente, 2020 a 2023 as Eólicas, em 2024 as unidades fotovoltaicas ultrapassaram as demais fontes, com previsão de ampliação nos próximos anos.

Tabela 3 - Histórico e tendência por origem da expansão da energia elétrica no Brasil
Geração Centralizada em potência (MW)

Ano	Biomassa	Eólica	Fóssil	Hídrica	Solar	Total
2027	85,00	444,00	1.571,89	185,81	3.030,78	5.317,48
2026	209,25	597,50	1.077,22	180,61	9.416,80	11.481,37
2025	316,67	2.297,90	2.469,37	204,01	5.978,70	11.266,65
2024	1.143,30	4.030,10	331,78	129,77	4.704,61	10.339,56
2023	214,20	4.919,00	992,17	169,40	4.020,93	10.315,70
2022	904,89	2.911,54	1.359,76	374,59	2.528,85	8.079,63
2021	762,97	3.694,32	1.695,18	118,65	1.299,46	7.570,58
2020	304,19	1.725,83	1.930,51	177,77	793,26	4.931,56
2019	218,83	981,86	531,11	4.572,68	657,89	6.962,36
2018	140,90	2.003,85	449,15	3.799,75	767,62	7.161,27
Total	16.013,68	35.949,92	34.540,92	54.794,06	33.981,89	175.280,47

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

No entanto, quando consideramos o sistema de geração distribuída, de energia solar, constatamos a sua presença na quase totalidade dos municípios brasileiros, como veremos a seguir. Refletindo uma tendência de crescimento exponencial da energia solar no Brasil, com projeções otimistas que indicam que a energia solar superará a eólica em 2024 e continuará a crescer significativamente até 2027. A seguir, destacamos os principais pontos dessa dinâmica que impulsionam o crescimento da energia solar: redução de custos tecnológicos, custo de instalação de sistemas solares, especialmente fotovoltaicos, esses custos caíram drasticamente nos últimos anos, tornando essa fonte mais acessível, avanços tecnológicos aprimoraram a eficiência dos painéis solares.

3.3 O modelo de geração distribuída de energia solar

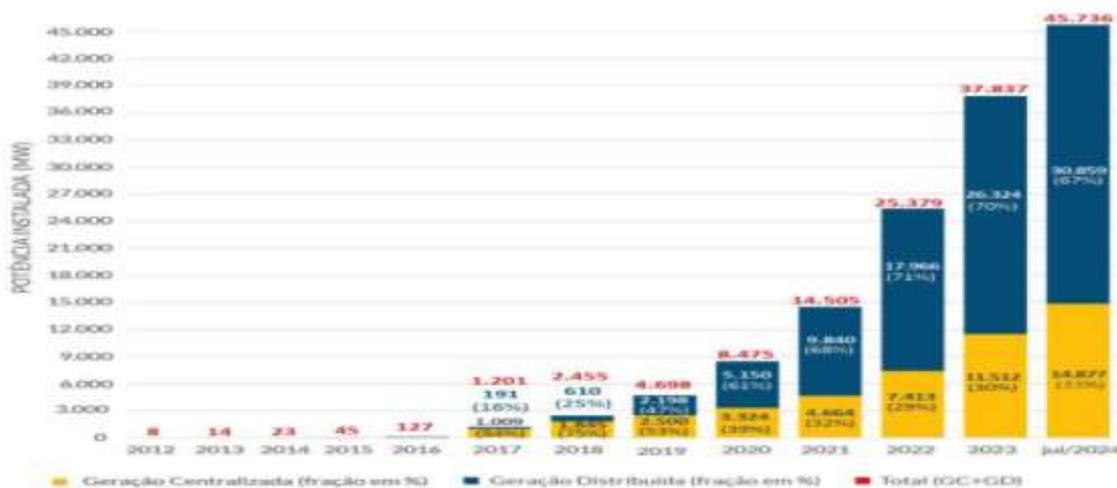
A geração distribuída (GD) é um sistema de produção de energia elétrica que utiliza diferentes fontes, como solar, eólica, biomassa e hidráulica. A principal característica da GD é a descentralização, ou seja, a energia é gerada em pequenas unidades de produção, cuja localização é adjacente às unidades consumidoras. Nesse passo, reduz-se a necessidade de transmissão energética à longa distância e, conseqüentemente, as perdas ocorridas na

distribuição através das redes elétricas tradicionais (GC), o que em termos de eficiência, representa incremento da qualidade do fornecimento de energia. Os painéis solares são instalados em residências, estabelecimentos comerciais ou em espaços públicos, convertendo a luz solar em energia elétrica. Como já descrito, tais aparatos captam a luz do sol e a transformam em corrente contínua que é submetida a um inversor e transformada em corrente alternada. O excesso de energia produzido em GD pode voltar para a rede, se convertendo em créditos para as UCs (unidades consumidoras), que são, posteriormente, descontados na conta de luz. (ABSOLAR, 2024)²⁴.

Para além dos benefícios ambientais provenientes da produção da energia solar fotovoltaica, é preciso destacar que o modo de GD energética configura-se como sistema apto a promover inclusão socioeconômica, no que é divergente do GC. Assim, na medida em que possibilita que o consumidor produza sua própria energia, por meio de fonte limpa, sustentável e gratuita, supre, inicialmente, as necessidades locais e regionais.

De acordo com relatório da ABSOLAR (2024), a geração distribuída, no Brasil, representa 68% da energia fotovoltaica gerada, equivalente a 29.349 MW (dados atualizados em março/2024). Como pode ser observado nas figuras 9 e 10.

Figura 9 - Evolução de fonte solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024; ABSOLAR, 2024.

²⁴ Em se tratando dos sistemas de GD solar conectados à rede elétrica (*on-grid*), destacam-se quatro possibilidades, a saber: i) GD junto à carga (local), em que o sistema é instalado na própria UC e a energia é por ela consumida; ii) condomínio com GD/EMUC (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras), cujo insumo gerado é fracionado entre os coproprietários; iii) autoconsumo remoto, que é um sistema de compensação, em que o consumidor aloja micro ou minigerador em local diverso de sua residência, aproveitando dos créditos gerados em sua conta de luz e iv) geração compartilhada (*community solar*), consórcio ou cooperativa que investem no sistema de micro ou minigeração distribuída, sendo os créditos distribuídos entre os participantes (ABSOLAR, 2024).

Os dados confirmam que a geração distribuída de energia elétrica, especialmente a partir da energia solar, está transformando a matriz energética do Brasil. A expansão dos 2,81 milhões de sistemas solares instalados com capacidade de 31,30 GW é um marco importante para a sustentabilidade, a economia de energia e a inclusão energética.

Figura 10 - Matriz Energética Brasileira – Geração Distribuída jun. a ago. 2024



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Quando analisamos a figura 10, tratando apenas a geração distribuída de energia elétrica, abaixo de 3 MW para fonte solar e de 5 MW para as demais fontes, fica demonstrada sua ubiquidade: ela está presente em 5.554 dos 5.568 municípios brasileiros, com 2.813.685 sistemas instalados, gerando 31.571.627,82 kW ou 31,57 GW de energia elétrica, sendo a energia solar responsável por 99,97% dos sistemas de geração distribuída de energia instalado e funcionando em todo país, estando presente em todos os municípios que tem a geração distribuída de energia, quando nos referimos apenas a geração distribuída por meio da fonte

solar, são 2.812.927 sistemas instalados, gerando 31.299.953,04 kW ou 31,30 GW de energia elétrica.

Figura 11 - Matriz Energética Brasileira – Geração Distribuída até set. 2024



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Conforme podemos analisar na figura 11, a pesquisa foi realizada pelo próprio autor do presente trabalho em setembro de 2024, ficando evidente que entre 20/06/2009 e 10/09/2024, foram instalados 2.874.253 sistemas de microgeração fotovoltaica, entrando todos em funcionamento no mesmo período, aumentando a potência instalada de energia elétrica em todo País.

O relatório IRENA de 2020 (p. 52) no tocante ao Brasil, analisou profissões do futuro na área de energia e implicações para a formação profissional, publicado em fevereiro de 2021, estimando que havia aproximadamente 43.200 empregos em 2019 no setor de energia solar. O segmento de geração distribuída é responsável por dois terços da capacidade e 85% dos empregos gerados.

De forma geral, a geração distribuída com energia solar alinha-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável, como o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico). Assim, além de beneficiar diretamente o mercado de trabalho e a economia, ela promove a transição energética e a mitigação das mudanças climáticas.

Os dados apresentados na Tabela 4 foram extraídos do portal da ANEEL (2024), e demonstram que a energia solar é a principal fonte de geração distribuída de energia elétrica (99,97%), possuindo a maior potência instalada (92,14%), maior número de unidades de consumo (99,23%), a única presente em todos os municípios que dispõem de geração distribuída, como, também, é a única que possui múltiplas unidades de consumo.

Tabela 4 – Matriz Energética Brasileira - Geração Distribuída
(Pequenas Unidades Geradoras de Energia Elétrica)

Tipos de Geração de Energia Elétrica	Quantidade	Municípios Unidades	Potência Instalada (kW)	Unidade Consumo Recebe Crédito	Autoconsumo Remoto	Geração Compartilhada	Geração na Própria Unidade Consumo	Múltiplas Unidade Consumo
UFV	2.815.342	5.554	31.327.988,19	4.012.406	485.261	10.825	2.318.732	359
EOL	101	63	17.376,88	171	11	1	89	0
CGH	72	64	63.827,17	18.353	33	15	24	0
UTE	583	293	190.597,98	12.723	137	20	430	0
Total	2.816.102	5.554	31.599.790,22	4.043.653	485.442	10.861	2.319.275	359

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

A tabela 5, demonstra o quão a energia solar fotovoltaica lidera a evolução da geração distribuída no Brasil devido à sua adaptabilidade, custos competitivos e forte suporte regulatório. Sua participação no setor deve continuar crescendo, impulsionada por novas tecnologias e pela maior conscientização sobre os benefícios das fontes renováveis.

Tabela 5 – Matriz Energética Brasileira (Geração Distribuída)
Pequenas Unidades Geradoras de Energia Elétrica - Classe de Consumo por Fonte Geradora

Tipos de Geração de Energia Elétrica	Quantidade	Iluminação Pública	Poder Público	Serviço Público	Residencial	Comercial	Industrial	Rural
UFV	2.815.342	90	7.611	306	2.230.362	291.274	42.380	243.319
EOL	101	0	5	1	42	35	12	6
CGH	72	0	1	0	2	35	17	17
UTE	583	0	5	1	11	83	68	419
Total	2.816.102	90	7.622	308	2.230.417	291.427	42.477	243.761

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

A tabela 6, mostra a evolução da geração distribuída de energia solar no Brasil, detalhando os seguimentos que mais tem instalado sistema de micro geração distribuída de energia solar fotovoltaica, onde as residências e o comércio juntos, representa 78,06 % da geração de energia solar distribuída em todo País e 83,60% do número de unidades existentes, sendo que só as residências representam 66,82% desse, em um total de 1.099.962 residências com sistemas de geração de energia solar instalados e consumindo.

Tabela 6 – Sistemas Fotovoltaicos por Classe de Consumo

Classe de Consumo	Nº Unidades	Potência Gerada (MW)	Porcentagem (%)
Residências	1.099.962	14.198,6	48,9
Comércio	276.222	8.465,7	29,16
Propriedades Rurais	228.732	4.206,2	14,49
Indústria	40.883	2.117,7	7,30
Prédios Públicos	295	34,55	0,12
Iluminação Pública	83	8,1	0,030
Total	1.646.177	29.030,85	100

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Atualmente, o custo da energia elétrica repassada ao usuário²⁵, é composto pelos valores de aquisição do insumo, de transporte até a unidade consumidora (custo da linha de transmissão e distribuição), das perdas técnicas e não técnicas e impostos, conforme disposto na Resolução Normativa nº 1058/2023 da ANEEL, além de encargos²⁶ e da incidência de custo de bandeira tarifária^{27,28}. Como pode ser observado na figura 12.

Por outro lado, o custo da energia solar é mais baixo do que a energia convencional, sendo mais viável economicamente para o consumidor. Pode representar a economia de até 90% do valor pago na conta de luz, conforme assevera Ricardo Casarin (2024), no Portal Solar.

²⁵ Como apontam Stefano Giacomazzi Dantas e Fabiano Mezadre Pompermayer, pesquisador e técnico do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), respectivamente, (2018, p. 17-18): “Os custos com a aquisição de energia são resultantes de processos de contratação de valores de energia por meio de leilões regulados, nos quais a empresa distribuidora compra a quantidade suficiente para atender os consumidores de sua área de concessão”.

²⁶ Os governos federal, estadual e municipal embutem na tarifa energética encargos como Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE), PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas), Reserva Global de Reversão (RGR), Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH), Encargos de Serviços do Sistema (ESS), Operador Nacional do Sistema (ONS), Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D/EE), Encargo de Energia de Reserva (EER). (PORTAL SOLAR, 2023). Estima-se que tais encargos, acrescidos da incidência de impostos, representem 40% do valor da conta de luz. (Instituto de Defesa dos Consumidores, 1996-2024).

²⁷ A bandeira tarifária é o custo real da geração energética, a depender de fatores como a época do ano, fenômenos climáticos, disponibilidade hídrica e demais variantes. (ANEEL, 2024).

²⁸ A CDE é encargo tarifário, estabelecido pela Lei nº 10.438/2002, e constante na conta de energia elétrica, portanto, custeado por consumidores privados e que tem, dentre os seus objetivos elencados no art. 13, subsidiar a tarifa de energia para consumidores de baixa renda, financiar políticas do setor elétrico e descontos tarifários, fontes incentivadas, irrigação, geração de energia elétrica nos sistemas isolados, usinas de geração a carvão mineral, além do Programa Luz Para Todos. (BRASIL, 2002).

Figura 12 – Custo da Energia Elétrica (modelo tradicional)



Fonte: Portal Solar, 2023.

Em estudo realizado por Dantas e Pompermayer (2018, p. 32), restou aferido que:

[...] o cálculo do valor unitário de energia mostra que, em geral, a produzida pelo sistema FV é mais barata que o praticado pela concessionária local. Ou seja, o produtor está economizando toda vez que consumir a energia que seu sistema produz. (Dantas, Pompermayer, 2018, p. 32).²⁹

Nessa perspectiva, ainda deve ser ressaltado que o preço dos aparatos necessários para a produção da energia solar, para uso residencial e comercial, sofreu queda de 30% neste último ano, ocasionada, dentre outros fatores, pelo excesso de oferta, o que diminuiu o tempo de investimento, sendo que, para uso doméstico, passou de 4,4 para 3,3 anos. (Portal Solar, 20/03/2024).

Tem-se, ainda, que GD produz energia prioritariamente para o consumo local onde está instalada a usina, podendo suprir a necessidade regional a partir do excedente gerado e dispensado na rede de distribuição. Portanto, há eficiência energética na medida em que se reduz as perdas de transmissão e distribuição do insumo.

²⁹ No estudo, os autores consideraram fatores como o custo da energia convencional fornecida pela concessionária local, valor dos equipamentos/instalação para a produção doméstica de energia fotovoltaica, incidência solar regional e variação da alíquota de ICMS por Estado.

3.3.1 Modalidades de geração distribuída de energia solar fotovoltaica: micro e minigeração

A micro e a minigeração distribuídas de energia são conceitos relacionados à geração de eletricidade, a partir de fontes renováveis, como a solar, a eólica, a diminuta hidrelétrica, em pequena escala, e cuja usina esteja localizada próxima aos consumidores finais.

A primeira legislação a tratar sobre o assunto foi a RN nº 482/2012. Atualmente, são disciplinadas pela Lei nº 14.300/2022 que constitui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída no Brasil e que assim as define:

Art. 1º Para fins e efeitos desta Lei, são adotadas as seguintes definições:

[...]

XI - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

[...]

XIII - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras. (Brasil, 2022).

Nesse passo, tem-se que a microgeração distribuída refere-se à produção de energia elétrica até 75 kW de potência ou capacidade instalada³⁰. A figura 13, registro de empreendimento de microgeração de energia fotovoltaica, instalada na zona rural de Campo Azul/MG, com capacidade de geração de 75 kWp e conectado à rede de distribuição de energia elétrica. Em destaque, os equipamentos necessários para instalar o sistema: transformador, inversor, painéis solares, fios com conectores e suporte para instalação dos painéis.

O sistema apresentado na figura 13, utiliza uma área de apenas 1.500 m² (mil e quinhentos metros quadrados) de terreno para instalação de 233 (duzentos e trinta e três) módulos fotovoltaicos de 450 Watts cada unidade, inversor de 75 kW e transformador trifásico de 75 kVA

³⁰ Nos termos da RN nº 1.029 da ANEEL: “Art. 2º [...] VIII - potência instalada: capacidade bruta (kW) que determina o porte da central geradora para fins de outorga, regulação e fiscalização, definida pelo somatório das potências elétricas ativas nominais das unidades geradoras principais da central. (ANEEL, 2022).

Figura 13 - Usina de Microgeração de Energia Solar Fotovoltaica



Fonte: Autoria própria, 2018.

Já a minigeração distribuída, refere-se a um sistema de produção de energia um pouco mais robusto do que a microgeração, com capacidade instalada de até 3 MW para energia solar e 5 MW para as demais fontes de energias renováveis. Possui capacidade de fornecer eletricidade para áreas maiores, fábricas, ou mesmo comunidades inteiras. Também pode estar conectado à rede elétrica convencional ou operar isoladamente, em sistemas de microrredes (redes elétricas locais que podem funcionar independentemente das redes mantidas pelas concessionárias)³¹.

A figura 14, representação de minigeração distribuída de energia solar, localizada na zona rural de Itatiaiuçu/MG, com capacidade de geração de 1,2 MW e, igualmente, conectada à rede de distribuição de energia elétrica. Observa-se na imagem os equipamentos necessários para a implementação do empreendimento: subestação, painéis solares, conectores e suporte para instalação dos painéis.

³¹ Art. 1º [...] XII – microrrede: integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de auto restabelecimento. (Brasil, 2022).

Figura 14 - Usina de Minigeração de Energia Solar Fotovoltaica



Fonte: Autoria própria, 2021.

O marco legal da microgeração e minigeração distribuída no país estabeleceu, ainda, uma série de conceitos que são sobremaneira relevantes na condução do presente trabalho, a saber:

Art. 1º Para fins e efeitos desta Lei, são adotadas as seguintes definições:

I- autoconsumo local: modalidade de microgeração ou minigeração distribuída eletricamente junto à carga, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora;

[...]

III – consórcio de consumidores de energia elétrica: reunião de pessoas físicas e/ou jurídicas consumidoras de energia elétrica instituído para a geração de energia destinada a consumo próprio, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

IV - Conta de Desenvolvimento Energético (CDE): encargo setorial estabelecido pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002;

[...]

VIII - excedente de energia elétrica: diferença positiva entre a energia elétrica injetada e a energia elétrica consumida por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída de titularidade de consumidor-gerador, apurada por posto tarifário a cada ciclo de faturamento, exceto para o caso de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada, em que o excedente de energia elétrica pode ser toda a energia gerada ou a injetada na rede de distribuição pela unidade geradora, a critério do consumidor-gerador titular da unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída;

[...]

X - geração compartilhada: modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou

minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora” (Brasil, 2022).

Neste sentido, a legislação vigente permite a geração para consumo próprio. Dessa feita, é permitida a reunião de familiares, consumidores, pequenos empreendimentos para produzir energia, de uso privado, sendo o excedente injetado na rede de distribuição local. Nos termos do art. 13 da referida lei:

Os créditos de energia elétrica expiram em 60 (sessenta) meses após a data do faturamento em que foram gerados e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor participante do SCEE faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo. (Brasil, 2022).

Isso quer dizer que o crédito referente ao excedente energético gerado por meio dos pequenos sistemas de GE e disponibilizado na rede convencional, poderá ser acumulado e utilizado para o próprio consumo, por período não superior a 60 (sessenta) meses. Observa-se, assim, que não é legalmente permitida a comercialização direta do insumo, que tem prazo de carência para ser utilizado.

E é sob esta ótica que se pretende destacar a produção de energia solar fotovoltaica nos modelos de micro e minigeração distribuída, como contributo para a maximização da agricultura familiar sustentável de maneira responsável e comunitária, como restará delineado nos capítulos subsequentes.

3.3.2 Impactos ambientais comparativos

Ao comparar os impactos ambientais da geração centralizada e distribuída de energia solar fotovoltaica, é possível observar que a geração distribuída apresenta vantagens significativas, uma vez que contribui para a redução do uso de terrenos, os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em edifícios e estruturas já existentes, preservando assim áreas naturais e agrícolas.

3.3.3 Desafios tecnológicos e de implementação

No âmbito tecnológico, os desafios incluem a necessidade de aprimorar a durabilidade e a eficiência dos equipamentos, levando em consideração que a garantia dos painéis solares é de 25 (vinte e cinco) anos e o inversor que torna a corrente contínua para alternada, tem garantia

de apenas 10 (dez) anos, interferindo com o passar do tempo em custos e geração de energia para consumo, bem como desenvolver soluções mais acessíveis, que permitam que mais pessoas possam se beneficiar da energia solar, sem grandes investimentos, com linhas de crédito especiais, aluguel de painéis solares, sistemas compartilhados e desenvolvimento de softwares e plataformas de monitoramento e controle, para a integração fotovoltaicos à infraestrutura existente. Em termos de implementação, é essencial aprimorar as políticas de incentivo e simplificar os processos de licenciamento e conexão à rede, a fim de viabilizar a expansão da energia solar fotovoltaica em diversos segmentos do mercado consumidor.

A principal barreira para implantação de sistemas solares fotovoltaicos é o alto custo inicial. Sem incentivos adequados, de acordo com a realidade local, muitos consumidores, especialmente aqueles de baixa renda, não têm condições de fazer investimentos necessários. Políticas de incentivo, como a redução ou isenção de impostos como ICMS, IPI e PIS/COFINS para compra e instalação de sistemas de microgeração de energia solar fotovoltaica para famílias de classe baixa e média, ajuda a tornar os custos mais acessíveis o acesso à energia solar mais democrático, permitindo que maior parcela da população aproveite os benefícios da geração própria de energia.

A criação de uma regulamentação clara e simples para os consumidores e empresas instaladoras, garantindo que as permissões sejam rápidas e os custos administrativos sejam reduzidos, implementando programas de instalação e incentivos especiais para sistemas solares em áreas rurais ou remotas, escolas, hospitais e repartições públicas, com objetivo de gerar economia nas contas de energia elétrica e promover a conscientização sobre os benefícios da energia solar, cria um mercado robusto para equipamentos, manutenção e serviços associados, o que gera empregos e fortalece a economia local, estimulando investimentos privados e fomento à inovação tecnológica.

A simplificação nos processos de licenciamento e conexão à rede de distribuição de energia, resolve uma série de problemas que impedem a adoção mais ampla da energia solar, como a burocracia excessiva, custos altos e demora nos processos. Isso não apenas torna a energia solar mais acessível e atraente, mas também acelera o crescimento do setor e melhora a eficiência e resiliência do sistema energético como um todo.

3.4 Estudo de caso e experiências práticas

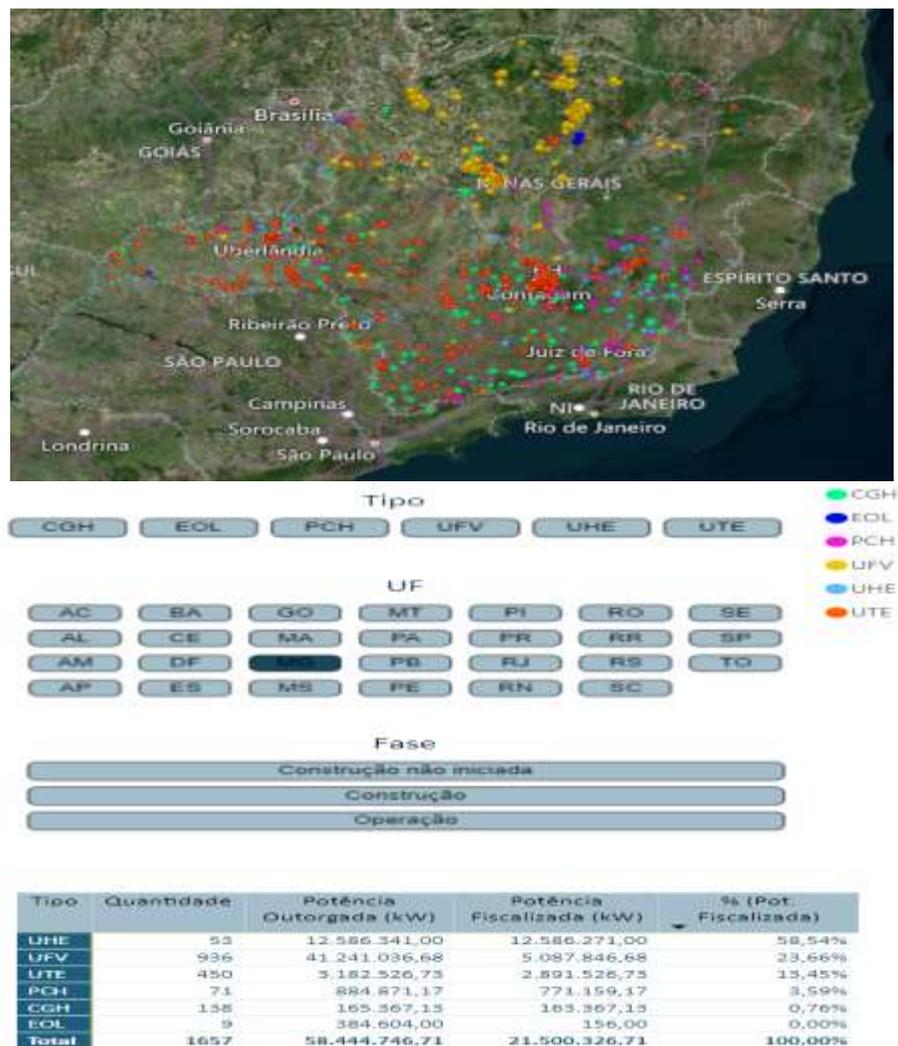
Nesta seção serão apresentados estudos de caso que demonstram a aplicação prática da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica, tanto em sistemas centralizados quanto

distribuídos. Serão analisados projetos em diferentes escalas e contextos, fornecendo *insights* valiosos sobre a eficácia, os desafios e os benefícios dessa tecnologia em diferentes cenários.

3.4.1 A produção de energia solar fotovoltaica no estado de Minas Gerais

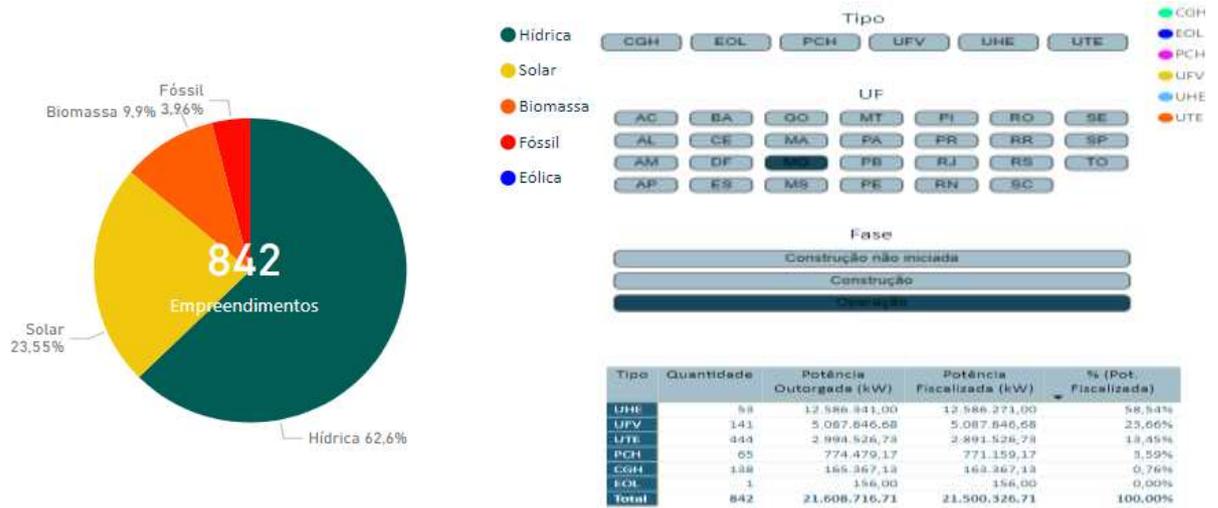
O estado mineiro assume papel de destaque na produção energética fotovoltaica nacional. Atualmente, é o maior detentor de usinas solares, na modalidade geração centralizada instaladas em todo país, possuindo 936 empreendimentos, sendo 128 operantes (23,66%), com potência outorgada pela ANEEL de 41.241.036,68 kW e fiscalizada pela agência de 5.087.846,88 kW, segundo dados da ANEEL (2024).

Figura 15 - Matriz Elétrica em Minas Gerais (Geração Centralizada) – Autorizado Ainda não Implantada e em Operação



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024

Figura 16 – Unidades Geração Centralizada de Energia Elétrica em Operação no Estado de Minas Gerais



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024

Estudando a figura acima, é possível detectar que do total das 842 (oitocentos e quarenta e duas) unidades de geração centralizada de energia elétrica em operação no Estado de Minas Gerais, Usinas fotovoltaica (UFV) – 16,75%, Usina Termelétrica (UTE) – 52,73%, Central Geradora Hidrelétrica (CGH) – 16,39%, Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) – 6,29%, Pequena Central Hidrelétrica (PCH) – 7,72% e eólica (EOL) – 0,12%.

Figura 17 – Usinas fotovoltaicas mineiras em operação, em construção e cujas construções ainda não foram iniciadas, 2024 (Geração Centralizada).



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024

Figura 18 - Usinas fotovoltaicas em Minas Gerais (Geração Centralizada) – Operação



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

As figuras 17 e 18 mostram a previsão de um total de 936 (novecentos e trinta e seis) unidades de geração centralizada de energia solar em todo Estado de Minas Gerais, somando as unidades em operação e as homologadas, em processo de instalação e ou licenciadas para serem instaladas, com previsão de gerar mais de quarenta e um milhões de quilowatts hora de energia elétrica, quando da operação de todas essas unidades.

Atualmente existem apenas 141 (cento e quarenta e uma) unidades em operação, conforme exposto na figura 18, o que representa 15% das unidades autorizadas e apenas 12,34% da geração autorizada, pouco mais de cinco milhões de quilowatts de energia elétrica na modalidade de geração centralizada, proveniente da fonte solar em Minas Gerais.

Analisando as figuras 17 e 18, a tabela 7, referindo-se apenas à geração centralizada de energia solar fotovoltaica, o Estado de Minas Gerais, possui 936 unidades outorgadas, sendo 141 unidades em operação, potência de 5.087.846,68 kW, 76 unidades em construção e 722 a serem construídas, somando um total de 41.241.036,68 kW de energia elétrica.

Evidente que os dados apresentados denotam que ainda terá uma grande quantidade de parques fotovoltaicos gerando energia solar em todo país, pois ainda falta instalar mais de 76% (setenta e seis por cento) do que está projetado e autorizado para funcionamento nos próximos anos, especificamente até 2032.

Tabela 7 – Matriz Energética em Minas Gerais - Geração Centralizada (Grandes Geradoras de Energia Elétrica)

Tipos de Geração de Energia Elétrica	Quantidade	Operação	Construção	Construção Não Iniciada	Potência Outorgada (MW)	Potência Fiscalizada (MW)	Potência Fiscalizada (%)
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	53	53	0	0	12.586	12.586	58,89
Usina Termoeletrica de Energia (UTE)	450	444	1	5	3.182	2.892	13,53
Usina Eolieletrica de Energia (EOL)	9	1	0	8	384	0,16	0,00
Usina Solar Fotovoltaica (UFV)	936	141	76	722	41.241	4.960	23,21
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	71	65	0	6	884	771	3,61
Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)	138	138	0	0	165	163	0,76
Total	1.657	839	77	741	58.445	21.372	100

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Quando na análise da figura 19, demonstra a previsão em instalar mais 816 (oitocentos e dezesseis) unidades geradoras de energia elétrica, na modalidade centralizada, sendo que a grande maioria será fotovoltaica, sendo previsto para 2024, a construção de 28 (vinte e oito) unidades, sendo uma biomassa e 27 solares; em 2025 a previsão de 50 (cinquenta) unidades, todas solar; 2026 tem previsão de 118 (cento e dezoito) unidades, sendo apenas uma biomassa, as demais fotovoltaica. No ano de 2029 há previsão de instalar 455 (quatrocentos e cinquenta e cinco) unidades, sendo 8 (oito) eólica, 2 (duas) biomassa e 1 (uma) hidroelétrica. Das unidades a serem instaladas nos próximos anos, somente 17 (dezessete) unidades ainda não tem o ano previsto para conclusão, sendo 14 (quatorze) solar e 3 (três) hidroelétricas.

Figura 19 – Unidades de Geração Centralizada de Energia Elétrica a serem Instaladas no Estado de Minas Gerais nos Próximos Anos

		816				36.843					
		Usinas				Potência (MW)					
Origem	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2032	Sem Previsão	Total	
Biomassa	1		1	1		2	2			7	
Eólica						8				8	
Hídrica				2		1			3	6	
Solar	27	50	117	17	71	444	52	3	14	795	
Total	28	50	118	20	71	455	54	3	17	816	

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Tem-se, ademais, que o Estado de Minas Gerais é o maior gerador de energia solar na modalidade centralizada em todo País, no importe de 40.989,3 MW. Já com relação à geração distribuída, está em segundo lugar, atrás somente do Estado de São Paulo, produzindo 3.795,4 kW, perdendo em menos de 1% neste quesito (ANEEL, 2024; ABSOLAR, 2024). Importante que em número de unidades instaladas, a geração distribuída representa 99,7% do total de unidades de geração de energia solar fotovoltaica (Geração Centralizada e Distribuída).

Minas Gerais tem se destacado na geração distribuída de energia solar fotovoltaica, devido a condições climáticas específicas e iniciativas locais bem-sucedidas, possuindo alta incidência de radiação solar, especialmente nas regiões norte e nordeste do estado, o que torna a tecnologia fotovoltaica altamente eficiente e viável economicamente.

A liderança de Minas Gerais neste mercado está diretamente ligada ao fato de ter sido um dos primeiros Estados a conceder isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) ao consumidor que também produzisse sua própria energia de base solar, nos termos do Convênio ICMS nº 157/2015³² determinado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ)³³.

3.4.2 Exemplos de incentivos fiscais e regulatórios

Diversos países têm implementado exemplos bem-sucedidos de incentivos fiscais e regulatórios para fomentar a geração de energia solar fotovoltaica. Na Alemanha, por exemplo, o programa de tarifas *feed-in* garantiu um preço fixo para a eletricidade solar gerada, incentivando o investimento em painéis solares. No Brasil, os consumidores que geram sua própria energia por meio de sistemas fotovoltaicos podem obter créditos e descontos na conta de luz, através do sistema de compensação de energia elétrica. Outro exemplo é a política de investimento em energia solar nos Estados Unidos, que oferece benefícios fiscais e linhas de financiamento para projetos de geração distribuída.

³² Tem-se que, no Brasil, os tributos incidentes na tarifa elétrica são o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) (art. 155 da CF), o Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) (ambos previstos no art. 239 da Constituição Federal) e a Contribuição para Iluminação Pública (CIP) (art. 149-A da CF). Calcula-se que a incidência de impostos e encargos pode representar mais de 40% do valor total da tarifa, a depender do Estado federativo, e da classe de consumo.

³³ O Convênio ICMS 157/2017 do CONFAZ estabeleceu as diretrizes de isenção tributária, marcadamente do ICMS, (imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação), de incidência estadual, para os entes federativos que lhes fossem signatários, dentre eles, Minas Gerais.

Apesar do grande potencial solar do país, há uma desigualdade significativa na adoção da energia solar entre as regiões, com maior concentração na região Sudeste e Sul, enquanto as regiões Norte e Nordeste apresentam taxas de adoção ainda baixas, principalmente por causa das diferenças de poder aquisitivo das famílias e da infraestrutura de rede de distribuição.

Nos termos da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica nº 1.000/2021, a energia compensada é:

Art. 2º Para os fins e efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

[...]

XVI-A – [...] energia elétrica ativa consumida da rede e compensada pela energia elétrica ativa injetada, pelo excedente de energia e pelo crédito de energia utilizados no faturamento de unidade consumidora participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, limitada ao montante de energia consumida da rede no ciclo de faturamento; (Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023). (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021).

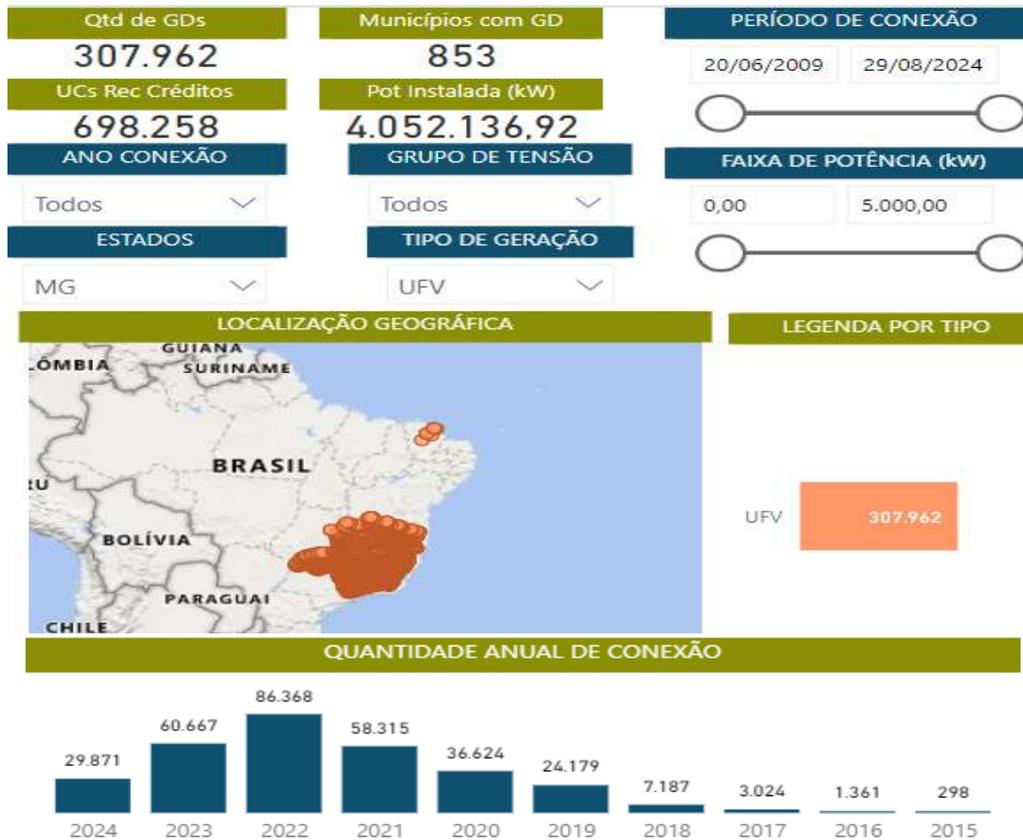
A partir de então, a geração fotovoltaica de energia vem se popularizando no Estado, em razão dos benefícios por ele oferecidos, principalmente, de ordem econômica e fiscal. Lado outro, por ser renovável e limpa, a energia solar reduz a dependência de consumo de fontes de energia tradicionais, como combustíveis fósseis, contribuindo com a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e mitigação das mudanças climáticas. No que concerne à geração de energia limpa, não resta dúvida sobre a sua necessidade e importância no contexto atual.

Analisando a figura 20, é possível detectar que todos os 853 (oitocentos e cinquenta e três) municípios de Minas Gerais existem pelo menos uma unidade de geração de energia solar fotovoltaica na modalidade geração distribuída, sendo um total de 307.962 unidades, gerando 4.052.136,92 kW de energia elétrica, beneficiando 698.258 unidades consumidoras de energia elétrica.

O estudo mostra ainda que o sistema de geração distribuída de energia solar fotovoltaica em Minas Gerais só teve início em 2015 com 298 unidades, com evolução significativa nos anos seguintes, tendo em 2022 mais de 86.000 unidades instaladas. No presente ano já chega a quase 30.000 unidades.

A presente análise evidencia que a geração distribuída de energia solar, especialmente a microgeração distribuída é acessível a grande maioria da população brasileira, possibilitando pequenas unidades nos telhados das residências, às unidades em galpões, industriais e maioria das propriedades rurais, com distribuição de renda, gerando emprego e desenvolvimento regional sustentável.

Figura 20 – Unidades de Geração Distribuída de Energia Solar Instaladas no Estado de Minas Gerais



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

3.4.3 Sistema de microgeração de energia solar da Emater-MG

Para ilustrar a exequibilidade dos empreendimentos de GD, cita-se o caso da unidade referência da usina geração distribuída de energia solar da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG), fundada em 1948. Pioneira na atividade de assistência técnica e extensão rural pública e gratuita no Brasil, a Emater implanta a sua primeira microusina de geração distribuída de energia solar fotovoltaica, para suprir parte do consumo de energia elétrica do prédio sede da empresa, situado à Avenida Raja Gabaglia, 1626, Belo Horizonte-MG.

A usina foi construída com recursos próprios da empresa, por meio de processo licitatório, valor aproximado de R\$ 460.000,00 (quatrocentos e sessenta mil reais), tendo sido construída a obra em 4 (quatro) meses após a liberação da primeira parcela do valor. Após 5 (cinco) meses de concluída, sendo vistoriada para companhia de distribuição de energia elétrica, entrando em funcionamento (conexão à rede) em 03/07/2023, com previsão para gerar em torno de 11,0 MWh mês, o que será analisado e comprovado a seguir.

Figura 21 - Usina de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica da EMATER-MG



Fonte: EMATER-MG, 2023.

O empreendimento está instalado em Ponto dos Volantes/MG, localizado no Vale do Jequitinhonha, região Nordeste do Estado. Conta com capacidade de geração de 75 kWp (kilowatts-hora pico), conectado à rede de distribuição de energia elétrica local. A produção energética é utilizada de forma remota para compensar a energia consumida no prédio sede da empresa,³⁴ conforme pode ser comprovado na tabela que segue.

Na tabela abaixo, é possível constatar que a demanda ativa (consumo) no mês de fevereiro de 2024, foi de 19.740 kWh, e a energia injetada foi 13.520 kWh, o que representa 68,5% do total da energia consumida no prédio da empresa.

Esse projeto é um exemplo notável do potencial das energias renováveis no Brasil, contribuindo tanto para a sustentabilidade quanto para a redução dos custos operacionais, contribuindo com a redução da emissão de CO₂ na atmosfera, além de evitar a derrubada de árvores, transformando em carvão para gerar energia.

³⁴ A sede da EMATER-MG está situada na capital mineira, na Avenida Raja Gabaglia, nº 1.626, no bairro Gutierrez.

Tabela 8 – Demonstrativo de Compensação da Energia Gerada na Usina Solar

DEMONSTRATIVO DE GRANDEZAS FATURADAS									
Cliente: EMPRESA ASSIST TECNICA EXT RURAL DE MG			Unidade: BELO HORIZONTE						
Instalação: 3009022315		Medidor: GMY210000796		Período de Medição: 01/02/2024 a 29/02/2024					
Subgrupo: A4		Local de Medição:			Mês/Ano: 02/2024				
Modulação contratual/Horário de ponta: 17:00 às 20:00				Dias livres: SAB e DOM					
LEITURAS									
Grandezas	HFP/único		HP		HR				
	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual			
kWh		44		24		0			
kWh Injet.	1.873	1.967	152	159	0	0			
kWh Injet.	0	0	0	0	0	0			
UFER	0	0	0	0	0	0			
DMCR		40		18		0			
kWh Injet.		0		0		0			
DEMANDA(kWh)									
Segmento	Produto	Registrado	Acerto Reg.	Data/Hora	Acerto Fat.	Contratado	Faturado ultrapass.	Faturado normal	
HFP/Único	Demanda ativa	92						126	
	Demanda Energia Interrupt.								
	Demanda reativa - UFDR								
	DMCR	84							
HP	Demanda ativa	50							
	Demanda Energia Interrupt.								
	Demanda reativa - UFDR	38							
	DMCR								
HR	Demanda ativa								
	Demanda reativa - UFDR								
	DMCR								
	Demanda injetada								
ENERGIA (kWh)									
Segmento	Produto	Registrado	Acerto reg.	Contratado	Take	Acerto Fat.	Faturado ultrapass.	Faturado normal	
HFP/Único	Energia ativa	19.740						19.740	
	Energia Injetada							13.520	
	Energia reativa - UFER								
HP	Energia ativa	1.470						1.470	
	Energia Injetada								
	Energia reativa - UFER								
HR	Energia ativa								
	Energia Injetada								
	Energia reativa - UFER								
Itens da Fatura									
	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	Tarifa Unit.
Demanda Ativa HFP s/ ICMS	kWh	94	20,13852450	684,70	32,24	0,00	0,00	0,00	19,19000000
Demanda Ativa HFP	kWh	92	24,55917622	2.259,43	87,26	2.259,43	18,00	406,69	19,19000000
Energia Ativa HFP	kWh	8.220	0,52942366	3.293,00	127,18	3.293,00	18,00	592,74	0,41368000
Energia Ativa HP	kWh	1.470	2,56194826	3.766,04	145,45	3.766,04	18,00	677,88	2,00185000
Energia SCEE HFP ISENTA	kWh	13.520	0,16605000	2.244,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16605000
Energia compensada HFP GD I	kWh		0,16605000	40,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16605000
Contrib. Ilum. Pública Municipal									
TOTAL				10.043,62	392,13	9.318,47		1.677,31	

Relatório das Relações de Compensação da Geração Distribuída							
Status	Instalação	Categoria de tarifa	Fonte	Modalidade	Potência	Distribuição(%)	Nome do PN
■	3009022315	A4V			0,000	100,00000	EMPRESA ASSIST TECNICA EXT RURAL DE MG E
■	3015022060	B3	Radiação Solar	Auto c. remoto	75,000	0,00000	EMPRESA ASSIST TECNICA EXT RURAL DE MG E

Fonte: EMATER-MG, 2024.

Os dados apresentados na figura 22, evidenciam os benefícios das fontes renováveis, especialmente a microgeração distribuída de energia solar, tanto para a redução do impacto ambiental quanto para a eficiência energética na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Além de promover economia, projetos como este ajudam na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Figura 22 – Dados da Energia Gerada e Benefícios da Usina da EMATER-MG



Fonte: Dados Extraídos do sistema de monitoramento da Emater-MG

Referindo-se aos dados apresentados na figura acima, é possível constatar que no dia 27/11/2024, foram gerados 543,70 kWh de energia elétrica na usina da Emater-MG, que a mesma, em 15 (quinze) meses gerou 222,16 MWh, uma média mensal de 14,81 MWh mês,

superando as expectativas do projeto. Demonstrando ainda que nos últimos 12 (doze) meses foram gerados 296.495 MWh e o mês de junho foi o período que menos gerou energia.

Considerando o valor de R\$ 0,80 (oitenta centavos) o kW de energia elétrica, a microusina já proporcionou uma economia de R\$ 177.728,00 (cento e setenta e sete mil, setecentos e vinte e oito reais), o que representa o retorno financeiro em três anos e quatro meses, tendo em vista que a garantia do empreendimento é de 25 anos.

Buscando reduzir custos com energia elétrica e contribuir mais com a sustentabilidade ambiental, estando como subsidiária do Pacto Global da ONU, a empresa já projeta implantação de mais duas unidades de microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica para suprir o que ainda demanda o prédio sede da empresa em Belo Horizonte e das demais 32 unidades regionais em todo Estado de Minas Gerais.

A unidade de referência da Emater-MG em ponto dos volantes, além de gerar energia para atender parte da demanda da empresa, está sendo utilizada para capacitações técnicas, visitas e dias de campo para qualificação de extensionistas e familiares dos produtores da região, o que vincula diretamente a geração distribuída de energia solar fotovoltaica, com a ATER Pública, levando oportunidade para o conhecimento e desenvolvimento regional sustentável, conforme será apresentado.

4 ANÁLISE DOS DOIS MODELOS DE GERAÇÃO EM AVALIAÇÃO

Inicialmente será apresentada uma análise geral sobre os dois modelos focando em seus benefícios e depois em suas desvantagens. Posteriormente, a análise é feita focando o objeto de estudo aqui apresentado. Aqui será feito um comparativo entre os dois modelos nos quesitos: energéticos e não-energéticos: A energia solar fotovoltaica é uma das fontes mais promissoras e sustentáveis de energia renovável, oferecendo diversos benefícios substanciais tanto do ponto de vista energético, ambiental e socioeconômico, mas também enfrenta desafios e desvantagens que precisam ser superados para viabilizar sua expansão, em termos de custos iniciais, armazenamento e intermitência.

4.1 Benefícios energéticos

4.1.1 Diversificação da matriz energética

A discussão sobre a utilização da energia fotovoltaica no Brasil é uma forma de diminuir a dependência da hidroeletricidade. A Agência Internacional de Energia (2018) afirma que a geração centralizada apresentaria vantagem frente a geração distribuída. Tal afirmação se baseia no argumento de que seria a maneira mais rápida de incrementar a participação da energia solar na capacidade total de geração elétrica.

Contudo, Farrel (2016) citado por Avelino (2020) discorda com essa linha de argumentação e defende que: “Quando se analisa o desenvolvimento da energia solar na Alemanha entre 2007 e 2011, por exemplo, verifica-se que 75% da capacidade Fotovoltaica adicionada provieram de sistemas com capacidades menores que 500 kW”.

Com essa constatação, o entendimento é de que a velocidade e o incremento da capacidade fotovoltaica não dependem do tamanho de cada planta, pois o que realmente faz a diferença é a necessidade de adoção de políticas eficazes à promoção da geração distribuída, oferecendo condições para que essa modalidade contribua para a diversificação da matriz energética brasileira aos níveis desejados em um curto período de tempo.

Nesse sentido o trabalho aqui apresentado demonstra possibilidades de gerar emprego, renda e desenvolvimento regional sustentável por meio de sistemas de microgeração distribuída de energia solar, atendendo a própria comunidade, para tal necessário se faz de políticas voltadas para o seguimento, focando na agricultura familiar e suas organizações.

4.1.2 Técnico-operacionais

A instalação de usinas de geração centralizada em solo normalmente ocorre em locais com as melhores condições técnicas de irradiação e variabilidade o que proporciona maior eficiência na geração. (Pereira *et al.*, 2017). Ainda assim, a geração distribuída comporta características técnicas que proporcionam confiança e resiliência ao sistema elétrico. A diversificação do portfólio de geração com um maior número de geradores menores, distribuídos dentro da área de um sistema de distribuição, limita riscos de interrupções de fornecimento. (Avelino, 2020, p. 50).

Para Castro e Pereira (2017, p. 21):

Sistemas de geração distribuída fotovoltaica combinados com inversores inteligentes, tecnologias de controle e armazenagem, podem fornecer energia de reserva, diminuir o congestionamento, contribuir para o controle da tensão e voltagem, e auxiliar no ajuste da frequência, garantindo equilíbrio ao sistema.

Outro ponto levantado pelos autores acima e analisado por Avelino (2020) é com relação às perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN). Conforme dados da EPE (2019) e ANEEL (2019), em torno de 19% de toda a eletricidade injetada é perdida e desse montante, 7,5% em média correspondem a perdas técnicas e 50% da perda na rede básica é repassada aos consumidores. Com a geração distribuída esses números sofreriam uma redução significativa de perdas na transmissão e na distribuição, e conseqüentemente otimizariam o aproveitamento da energia e, com isso, beneficiam os custos elétricos.

4.1.3 Econômicos

Comparando a geração distribuída e a centralizada, a última apresenta vantagens decorrentes de sua elevada capacidade produtiva, considerando custos de geração, implantação, custos nivelados da eletricidade e de armazenagem, demandando constantes investimentos.

Já na geração distribuída, agentes privados alocam recursos próprios na geração elétrica, aumentando a disponibilidade de carga na rede. Com isso, muitos dos investimentos em nova capacidade de geração centralizada, e em infraestruturas de transmissão, vão se tornando desnecessários, retardados ou reduzidos.

4.2 Benefícios não energéticos

4.2.1 Ambientais

Como falado ao longo do trabalho, a energia fotovoltaica, seja ela gerada de forma centralizada ou distribuída, oferece benefícios ambientais de grande relevância, a começar pelo fato de não emitirem GEE e outros poluentes danosos ao meio ambiente e à saúde.

A geração centralizada, em virtude de sua capacidade operacional, impacta as emissões em uma escala maior e mais rápida do que a geração distribuída, que no sistema de microgeração praticamente não existe impacto ambiental.

4.2.2 Socioeconômicos

A pesquisa para elaboração do presente estudo mostrou que um dos maiores benefícios socioeconômicos provenientes da geração fotovoltaica é sua capacidade de promover empregabilidade. A energia fotovoltaica é a fonte renovável de eletricidade que mais emprega no mundo, e no Brasil a maioria dos empregos concentram-se nas etapas de construção e instalação. (ABSOLAR, 2024)

O Relatório Alvorada, elaborado pelo Greenpeace, apresenta projeções demonstrando que geração distribuída fotovoltaica é capaz de gerar 989 mil a 3,9 milhões de empregos diretos e indiretos até 2030, somente no segmento residencial, dependendo da capacidade adicionada e das políticas de incentivos adotadas.

Dessa forma, podemos entender que a geração distribuída, nesse quesito, apresenta vantagens sobre a geração centralizada em um país com as dimensões e disparidades socioeconômicas como o Brasil, pois, conforme o mesmo relatório a GC e as infraestruturas de transmissão oferecem menos postos de trabalho, em sua maioria provisórios, e ligados ao período de sua implantação

A EPE (2023) apresenta outro benefício próprio da geração distribuída, que é a capacidade de oferecer ao consumidor uma alternativa ao fornecimento elétrico de concessionária de distribuição. Essa geração para autoconsumo e os mecanismos de compensação que foram tratados aqui na pesquisa, proporcionam ao consumidor que produz energia (prosumidor) um maior conhecimento de suas características de consumo e lhe permite gerenciar seus recursos de forma que melhor lhe atenda.

4.3 Desvantagens e desafios

A geração centralizada apresenta como seu principal ponto fraco a sua dependência dos sistemas de transmissão, pois, como já dito, o percentual de perdas e desperdícios em virtude do transporte de alta tensão por longas distâncias é significativo. Além disso, os sistemas de transmissão são mais suscetíveis a falhas do que sistemas de geração distribuída.

Quanto a geração distribuída, os seus impactos de integração nos sistemas de distribuição ainda não são totalmente conhecidos e mensurados, por isso, sua aplicação pode incorrer em riscos e apresentar desafios.

As grandes fazendas de energia solar, conforme discutido acima, produzem energia limpa, mas nem sempre sustentável, pois, têm aptidão para impactar o meio ambiente de forma negativa, seja na produção e distribuição, provocando desmatamento em grandes áreas para implantação dos complexos e instalação das linhas de distribuição de energia, com remoção de vegetação, solo, extinguindo biomas locais, ou até mesmo nos processos de construção e funcionamento do complexo energético. No entanto, devido aos interesses em jogo, esse modelo é favorecido pela legislação.

Como instrumento facilitador da instalação destes megaempreendimentos em território mineiro, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) editou a Deliberação Normativa (DN) nº 235/2019, que alterou a DN nº 217/2017 que estabelece os critérios de licenciamento ambiental de empreendimentos que fazem uso dos recursos naturais do Estado. A norma modificativa reduziu para “pequeno” o potencial poluidor/degradador das usinas e complexos solares fotovoltaicos nos quesitos geral/ar/água e “médio” no que diz respeito ao solo (COPAM, 2019, 2017)³⁵, o que, em termos classificatórios, estabelece “potencial geral” em “pequeno”, independentemente do porte da estrutura.

Atualmente, Minas Gerais assume a primeira posição no *ranking* de produção de energia fotovoltaica no modelo GC no Brasil, por uma combinação de fatores geográficos, climáticos, econômicos e regulatórios que favorecem o desenvolvimento dessa forma de geração de energia. O estado está localizado em uma região privilegiada em termos de incidência solar, com níveis elevados de radiação solar ao longo do ano e possui um alto potencial técnico para a instalação de grandes usinas solares, principalmente em regiões mais ensolaradas, como o

³⁵ Art. 2º – Estão sujeitos ao licenciamento ambiental no âmbito estadual as atividades e empreendimentos listados conforme critérios de potencial poluidor/degradador, porte e de localização, cujo enquadramento seja definido nas classes 1 a 6. Art. 3º – O potencial poluidor/degradador das atividades e empreendimentos será considerado como pequeno (P), médio (M) ou grande (G), conforme estabelecido na Tabela 1 do Anexo Único desta Deliberação Normativa, por meio das variáveis ambientais de ar, água e solo (COPAM, 2017).

norte de Minas, que se destacam pelo número de horas de insolação e pela constância de dias ensolarados. Regiões como o norte de Minas Gerais, com áreas semiáridas e grande disponibilidade de terras com baixo custo, são particularmente atrativas para projetos de larga escala. Conta ainda com uma infraestrutura de transmissão de energia bem desenvolvida e robusta, que facilita a conexão das usinas solares à rede elétrica nacional. A proximidade com grandes centros consumidores, como São Paulo e Rio de Janeiro, também torna o estado estrategicamente importante para o fornecimento de energia elétrica.

O governo de Minas Gerais tem implementado políticas públicas que incentivam o desenvolvimento de energias renováveis, especialmente a solar. O estado oferece incentivos fiscais, como a redução do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) para equipamentos de geração de energia solar, o que atrai investimentos privados.

Para mais, o estado tem facilitado parcerias público-privadas (PPPs) para o desenvolvimento de projetos de energia solar. Essas parcerias são essenciais para garantir a perspectiva financeira dos empreendimentos, bem como para garantir que os projetos atendam aos critérios de sustentabilidade e eficiência. Na figura 15, é possível constatar o potencial de energia outorgada e que ainda não iniciou a construção, tendo o Estado de Minas Gerais como o maior gerador de energia fotovoltaica na modalidade geração centralizada e com maior potencia outorgada sem ter iniciado a construção das unidades geradoras, o Estado da Bahia, vem na sequência, seguido do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

Figura 15 - Geração Centralizada³⁶: potência instalada (MW) e *status* de usinas fotovoltaicas outorgadas do mercado regulado e livre por Estado



Fonte: ANEEL, 2024; ABSOLAR

³⁶ Os conceitos de produção de energia centralizada e distribuída serão tratados em momento oportuno.

Conforme previsto na legislação mineira (COPAM, 2017), esses empreendimentos serão passíveis de Licenciamento Ambiental Simplificado (LAS), nas modalidades de LAS/Cadastro (mediante prévio cadastro de informações e cuja licença será expedida de forma eletrônica) ou LAS/RAS, com a apresentação de Relatório Ambiental Simplificado³⁷, com prazo de validade de 10 anos. Destaca-se, conforme a legislação, que o RAS é documento hábil a compilar os possíveis impactos ambientais impingidos na localidade, em razão da instalação/operação/ampliação da usina, bem como indicar quais são as medidas de contenção do dano ambiental. Cumpre enfatizar que, para esta modalidade de licenciamento, não há sequer a obrigatoriedade legal de convocação e realização de audiências públicas³⁸, para consulta popular a respeito da instalação do empreendimento.

A partir da implementação da Lei nº 21.972/2016, que dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA), promoveu-se sistemática flexibilização dos critérios para a concessão de licenciamento ambiental no Estado. (MINAS GERAIS, 2016). Anteriormente a sua publicação e das DN's subsequentes, o licenciamento ambiental no Estado estava sujeito à análise conjunta do porte do empreendimento e o seu potencial de impacto ambiental nocivo, como um todo, nos termos da DN nº 74/2004 (COPAM, 2004). Já na nova legislação, a autorização advém da análise conjunta da classe e dos critérios locacionais de enquadramento da usina.

O foco no atendimento às demandas energéticas da indústria, agronegócio e mineração, incentiva a formação de consórcios entre grandes empresas, facilitando as importações e exportações, para aquisição de equipamentos, geração e comercialização direta de energia no mercado livre. Dessa feita, opera-se a constituição de grandes grupos, visando, apenas, o produto/produção e renda, sem prestigiar as comunidades locais.

³⁷ Art. 8º – Constituem modalidades de licenciamento ambiental:[...]

III – Licenciamento Ambiental Simplificado: licenciamento realizado em uma única etapa, mediante o cadastro de informações relativas à atividade ou ao empreendimento junto ao órgão ambiental competente, ou pela apresentação do Relatório Ambiental Simplificado – RAS, contendo a descrição da atividade ou do empreendimento e as respectivas medidas de controle ambiental. [...]

§4º – Na modalidade de Licenciamento Ambiental Simplificado a licença será emitida conforme os seguintes procedimentos:

I – em uma única fase, mediante cadastro de informações pelo empreendedor, com expedição eletrônica da Licença Ambiental Simplificada – LAS, denominada LAS/Cadastro; ou

II – análise, em uma única fase do Relatório Ambiental Simplificado – RAS, com expedição da Licença Ambiental Simplificada – LAS, denominada LAS/RAS. (COPAM, 2017).

³⁸ Art. 1º A Audiência Pública é a reunião pública, aberta e acessível destinada a esclarecer dúvidas e recolher críticas ou sugestões acerca do processo de licenciamento ambiental, expondo aos interessados informações sobre a atividade ou o empreendimento objeto do requerimento de licença e oferecendo-lhes possibilidades concretas de participação na construção das decisões administrativas correspondentes. (COPAM, 2018).

Quando se refere a Minas Gerais, exemplo clássico é o da capital Belo Horizonte e seu entorno. A energia solar produzida pelo modo GC, em grande maioria, visa atender as demandas das mineradoras instaladas no estado.

Como pondera Sara Fialho (2022), em sua dissertação intitulada “A flexibilização da política ambiental no estado de Minas Gerais: uma análise da deliberação normativa COPAM nº. 217/2017 e sua repercussão no licenciamento ambiental de empreendimentos minerários”:

[...] restou evidenciado que o regime de licenciamento ambiental construído à luz das demandas das mineradoras e de outras grandes corporações do setor extrativo (notadamente o mineral) transforma o Estado em um dos maiores produtores de injustiça ambiental, uma vez que os ônus de um processo de licenciamento ambiental relâmpago e que não possibilita a efetiva participação popular (inclusive tendo a realização de audiências públicas tornando-se facultativa) recairão sobre a população, que lidará com a insegurança acerca do rompimento e/ou transbordamento de barragens sejam de rejeitos ou de hidrelétricas, mudanças abruptas em seus modos de vida e suas relações de pertencimento nos territórios em que habitam, os quais passam a ser áreas de gestão corporativa determinada pelo que virá a se concretizar no Estado enquanto uma indústria do licenciamento ambiental. (Fialho, 2022, p.14).

Na verdade, o desmonte do arcabouço legal promovido nos últimos tempos, como consequência da adoção pelo país de uma necropolítica ambiental, com a flexibilização de importantes instrumentos regulatórios e fiscalizatórios, é orientado unicamente pela perspectiva monetária.

Nessa linha de intelecção, o propagandeado “crescimento econômico”, idealizado como elemento central para um suposto “desenvolvimento”, nos moldes eurocêntricos, apto a gerar renda, impostos, empregos e, de grande valia para a pauta de exportações, é discurso utilizado, inclusive, para a legitimação social do extrativo mineral, agronegócio predatório, e concentração de renda, da mesma forma que se aplica na geração centralizada de energia elétrica.

Importante salientar que o PL n. 3729/2004 deixou de fora do âmbito de sua regulação as atividades de natureza minerária dotadas de grande potencial poluidor/degradador, conforme depreende-se da exegese do art. 1º, §3º, que determina que “para licenciamentos de atividades ou de empreendimentos minerários de grande porte e/ou de alto risco, prevalecerão as disposições do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) até que seja promulgada lei específica”, no entanto o texto do PL não define o que seriam grande porte e alto risco, deixando uma margem interpretativa à redação do dispositivo transcrito. (Fialho, 2022, p.14).

A mineração, o agronegócio predatório e a geração solar centralizada envolvem um problema de concentração de terras. Ambos os setores tendem a ser dominados por grandes corporações, o que pode gerar exclusão de pequenos produtores e comunidades tradicionais,

limitando a distribuição equitativa dos benefícios. No entanto, o impacto social da mineração e do agronegócio predatório é mais severo em termos de marginalização e manipulação de terras produtivas.

Constata-se, assim, que estratégias de governança, implementadas nos últimos tempos, estão diretamente atreladas com os interesses econômicos de diminuta parcela da população, em detrimento do bem-estar coletivo, propriamente dito. Apesar dos avanços, a geração distribuída ainda enfrenta desafios, como a necessidade de legislação mais clara, conforme se verá adiante, e garantias de suporte dos serviços de distribuição de energia elétrica. Mesmo assim, a GD vem galgando cada vez mais espaço no cenário energético nacional e se consolidando como forma mais viável para as condições do Brasil, geração de energia elétrica limpa, ambientalmente correta, renovável, sustentável e socialmente justa.

4.4 Caminhos para viabilizar a implantação da energia solar fotovoltaica

A implantação dos sistemas geradores de energia solar fotovoltaica, especialmente as grandes unidades, enfrentam diversos desafios técnicos que precisam ser superados para garantir a eficiência, viabilidade econômica e sustentabilidade dos projetos.

Em primeira análise, podemos considerar a eficiência dos painéis solares. Indiscutivelmente, essa eficiência ainda é limitada, com os melhores painéis comerciais convertendo cerca de 20% a 23% da energia solar em eletricidade. Isso significa que uma grande área é necessária para gerar uma quantidade significativa de energia, o que pode aumentar os custos e a complexidade de implantação. Atualmente, pesquisas estão sendo realizadas para desenvolver painéis de maior eficiência e novas tecnologias, como os painéis de perovskita, que podem melhorar o desempenho sem aumentar substancialmente os custos.

É perceptível que, no atual cenário, a energia gerada por megasusinas solares geralmente está localizada longe dos centros de consumo, exigindo longas linhas de transmissão. As perdas de energia durante a transmissão podem ser significativas, especialmente em distâncias maiores, reduzindo a eficiência global do sistema. Ainda, as variações na produção de energia devido à intermitência do sol podem causar instabilidade na rede, exigindo ajustes na infraestrutura elétrica para lidar com picos e quedas de geração. Um caminho possível para solucionar essa problemática é a construção de redes de transmissão de alta tensão (HVDC, chamada corrente contínua de alta tensão), que podem reduzir as perdas de energia, além do desenvolvimento de redes inteligentes (smart grids) que se adaptem a mudanças rápidas na oferta e na demanda de eletricidade. A adoção de sistemas de gestão de energia baseados em

inteligência artificial e automação pode facilitar o gerenciamento da interconexão entre as diferentes fontes de geração, ajustando rapidamente o fornecimento de energia conforme as variações da geração solar.

Quando grandes áreas de terra são dedicadas à energia solar, em algumas situações, as comunidades podem ser deslocadas ou perder acesso a recursos naturais importantes, como terra para agricultura ou pastoreio, havendo uma competição com outras atividades econômicas, como agricultura, pecuária, turismo e preservação ambiental.

A ocupação de grandes áreas, desertos e áreas agrícolas, resulta na perda de habitats naturais e na degradação de ecossistemas locais, afetando a biodiversidade. Afeta a fauna local, especialmente animais de grande porte ou espécies em risco de extinção, devido à mudança no uso do solo ou na alteração dos recursos naturais.

5 GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E ECOSSISTEMAS COOPERATIVOS TERRITORIALIZADOS (ECTs)

Para que seja possível se pensar em um desenvolvimento socioeconômico regional sob o prisma da sustentabilidade, é preciso se valer de um modelo econômico diverso do tradicional. O desenvolvimento pensado sob a ótica perversa do capitalismo industrial/tecnológico e da globalização, com base na economia de mercado, em cumprimento do projeto neoliberal, promove a pobreza dos povos e a desigualdade social, com concentração de renda em favor de uma minoria, além da degradação ambiental.

Constata-se que sustentabilidade, em suas diversas modalidades, está arraigada e é praticada no desenvolvimento dos projetos com base nas diretrizes da EFC. Vive-se a sustentabilidade: exige-se, para tanto, a quebra do paradigma capitalista industrial/tecnológico, em sua essência, e o soerguimento de um modelo que prestigie o indivíduo, em sua dignidade e necessidades humanas fundamentais, com o propósito de construir o projeto comunitário, do qual o indivíduo é parte fundante, integrante e participante. Tem-se, desse modo, inovação social.

E é nesse movimento que emerge a economia da funcionalidade e da cooperação (EFC) que se refere a práticas e modelos econômicos que promovem a colaboração entre indivíduos, empresas e comunidades, para alcançar objetivos comuns. O que se pretende nesse tópico, com base no amplo conjunto conceitual explorado até então, é apresentar uma estratégia de desenvolvimento do modelo de geração distribuída como instrumento do desenvolvimento sustentável territorial, na forma de Ecossistemas Cooperativos Territorializados (ECTs) fundamentados nos preceitos da EFC e construídos pelos atores sociais de forma colaborativa.

A utilização dos preceitos da EFC se justifica, nos dizeres de Lima *et. al.* (2019), porque seu arcabouço teórico vem sendo construído de maneira empírica. A primeira intervenção se deu no processo de reconversão econômica ocorrido em *Nord Pas-de-Calais*³⁹, após o encerramento das atividades de mineração em 1986, o que causou grande impacto na região, que chegou a registrar índice de desemprego na ordem de 30%. Após a sua recuperação socioeconômica, a região é referência no turismo sustentável, havendo sido, inclusive, reconhecida como patrimônio mundial pela Organização das Nações Unidas para a Educação,

³⁹ Localizada na região de *Hauts-de-France*, no norte da França, o departamento de *Nord Pas-de-Calais* passou por um processo de desindustrialização que culminou com o encerramento das atividades de extração de carvão e de siderurgia, que causou estagnação econômica e consequente depressão social.

a Ciência e a Cultura (UNESCO).⁴⁰ Ao longo deste percurso, pesquisadores, como o economista Christian Du Tertre, que participaram da reconversão regional, sistematizaram o processo, esculpindo os primeiros preceitos da economia da funcionalidade e cooperação. Nesse sentido, nada mais que justo a EFC nas palavras do Du Tertre:

A Economia da Funcionalidade e da Cooperação é um modelo econômico que consiste em conceber e produzir soluções baseadas na integração de bens e de serviços, associada à venda de uma performance de uso e/ou inserida numa dinâmica territorial. A definição e a ênfase de uma performance de uso, ou seja, não vender mais os meios, isto é, bens ou tempo, mas sim um valor servicial, permite a dissociação entre a criação de valor e o volume de meios mobilizados (bens e serviços). A dimensão material da produção pode ser colocada em segundo plano em relação à sua dimensão imaterial. (Du Tertre *et al.*, 2019, p. 9).

A EFC se norteia no desenvolvimento regional sustentável, focando na territorialidade, com fins de reduzir as desigualdades regionais, pelo desenvolvimento de atividades econômicas integradas, organizadas em ecossistemas produtivos cooperativos, prestigiando diferentes formas de produção e promovendo a geração e distribuição de bens e serviços dentro do território. Por esta razão, como enfatiza Lima *et. al.* (2019, p. 4), se desprende da lógica capitalista industrial/tecnológica de acumulação, frustrando o projeto neoliberal cujos objetivos primordiais são o lucro e a concentração de riqueza, independentemente das repercussões para alcançá-los. No modelo econômico servicial adotado pela EFC, o trabalho, para além de sua significação tradicional, em que a força de trabalho é mero fator de produção de bens e serviços, é dotado de uma valoração particular, na medida em que se constitui instrumento de realização pessoal e reconhecimento social. Convém lembrar, nesta acepção, que os bens comunitários imateriais agregam valia, não se excluindo desta máxima o esforço laboral. Neste aspecto, o empenho humano é reconhecido e valorizado e, por conseguinte, o sujeito não deverá se submeter a condições adversas de trabalho, uma vez que sua saúde e bem-estar são importantes para o processo produtivo.

Adicionalmente, no que tange à repaginação da economia de serviços, focada no trabalho humano e proposta pela EFC, Lima *et. al.* (2019, p. 3) sublinha que é necessária a reestruturação da atividade econômica tradicional, sob a égide dos preceitos da nova perspectiva econômica servicial, a saber: (i) diminuição dos bens obtidos pela mercancia

⁴⁰ Especificamente com relação à retomada econômica ocorrida em *Nord Pas-de-Calais*, o termo reconversão tem significação geoestratégica, na medida em que representa a alteração da especialização do território, em razão do declínio das indústrias tradicionais, conforme informado por Mauricio Policarpo e Rita de Cássia Souza (2019, p. 105).

externa; ii) administração participativa e integrada pelos partícipes, inclusive, os consumidores para edificação e fincada na eleição/edificação valorativa que seja funcional para o corpo social; iii) valorização das relações de trabalho envolvidas e; iv) cooperação.

Nessa vertente, ponto crucial se centra na cooperação que deve existir entre as partes da relação de produção, seja de forma horizontal (entre os pares), vertical (entre gestores e executores) e, finalmente, de maneira transversal, quando estabelecida entre consumidores e fornecedores (Lima, *et. al.*, 2019, p. 8).

5.1 A inovação social segundo a EFC

A inovação social é um dos preceitos da economia da funcionalidade e cooperação, na medida em que preconiza a inovação servicial, fundada na valorização do trabalho humano de forma diversa do modelo tradicional, além de destacar a atividade laborativa estruturada sob viés criativo e apta a apresentar soluções alternativas no respeito ao uso de bens materiais.

Nessa conjuntura, para se falar de inovação social, é útil evocar as lições de Ezio Manzini:

[...] O termo inovação social refere-se a mudanças no modo como indivíduos ou comunidades agem para resolver seus problemas ou criar novas oportunidades. Tais inovações são guiadas mais por mudanças de comportamento do que por mudanças tecnológicas ou de mercado, geralmente emergindo através de processos organizacionais “de baixo para cima” em vez daqueles “de cima para baixo”. (Manzini, 2008, p. 61-62)

O autor parte da premissa de que é preciso criatividade para a construção coletiva, soluções singulares para imbróglis persistentes nas comunidades e que impedem o desenvolvimento local. Também faz-necessária a conjugação de conhecimento, habilidades e capacidade de organização local, para que se alcance a inovação social capaz de gerar desenvolvimento regional sustentável e libertador em nível econômico, social, político e cultural. Conforme o autor, a inovação social pode ser alavancada também pelo uso de novas tecnologias (Manzini, 2008, p. 61-62).

A Economia da Funcionalidade e da Cooperação e a inovação social oferecem uma base teórica e prática para fomentar a Geração Distribuída (GD) de energia solar fotovoltaica, promovendo soluções mais eficientes e sustentáveis, além de um impacto socioeconômico positivo, são fundamentais para um modelo de desenvolvimento que seja economicamente acessível, ambientalmente sustentável e socialmente inclusivo. Ao combinar esforços

cooperativos, compartilhamento de recursos e inovações tecnológicas e sociais, a GD de energia solar torna um motor de transformação socioeconômica, especialmente em comunidades e regiões onde o desenvolvimento sustentável é mais necessário.

No semiárido brasileiro, a geração distribuída de energia solar tem o potencial de promover um novo paradigma de desenvolvimento sustentável, desvinculando a economia local de dependência de recursos hídricos escassos e do uso predatório dos biomas da região. A implantação de redes fotovoltaicas inteligentes com gestão por meio de cooperativas e associações pode aumentar a resiliência da região aos efeitos das secas e das mudanças climáticas, revertendo padrões de pobreza de longo prazo.

A Economia da Funcionalidade e da Cooperação, fundamentada em valores como colaboração, solidariedade e benefício mútuo, visa substituir a competitividade desenfreada por práticas econômicas que valorizam a interdependência entre os atores sociais e econômicos. Dentro desse modelo, a GD de energia solar fotovoltaica pode ser amplamente favorecida pela criação de redes cooperativas que impulsionem o desenvolvimento de energia renovável de forma descentralizada e inclusiva.

Comunidades formam cooperativas de geração de energia solar, onde a produção e o uso da energia são distribuídos de forma cooperativa. Isso democratiza o acesso à energia, permitindo que pequenos produtores, agricultores e famílias participem da geração de energia mesmo que individualmente não tenham condições de investir em um sistema próprio.

Os escritores Nivalde de Castro e Guilherme Dantas, no livro *Geração Distribuída: experiências internacionais e análises comparadas*, evidenciam que a integração de tecnologias digitais como a Internet das Coisas (IoT) e sensores inteligentes na infraestrutura de rede existente permite uma comunicação eficiente entre dispositivos, melhorando a gestão e operação das redes. Isso resulta em maior eficiência, redução de custos e uma gama diversificada de aplicações que empoderam os consumidores e desincentivam a criação de cidades inteligentes e sustentáveis.

O avanço das tecnologias *usos finais (Grid Edge)* permitirá que os clientes ocupem o centro do sistema elétrico. Com a sinalização correta de preço e *desenho* de mercado, os clientes poderão produzir sua própria eletricidade, armazená-la, consumi-la, nos momentos mais adequados, e até vendê-la. Na nova realidade energética, o consumidor terá um papel fundamental no equilíbrio do serviço de energia, facilitando a introdução de energia renovável intermitente no sistema. As mudanças comportamentais podem ter o efeito na diminuição das cargas de pico, reduzindo assim a necessidade de usinas caras e poluidoras que tem por objetivo o atendimento dos momentos de pico da rede.

As novas tecnologias transformarão a rede elétrica de um sistema unidirecional para um sistema bidirecional, e o consumidor de um ator passivo para um ator ativo. No entanto, enquanto as mudanças tecnológicas estão ocorrendo rapidamente, as

transformações institucionais e regulatórias estão evoluindo muito mais lentamente. (Castro; Dantas, 2018, p. 7).

A cooperação permite que as comunidades compartilhem os custos de instalação, manutenção e operação de sistemas solares fotovoltaicos, o que reduz o peso financeiro sobre os indivíduos e facilita a adoção em larga escala, inclusive em áreas rurais ou economicamente desfavorecidas. Essa economia de escala é essencial para tornar a GD solar mais acessível.

A Economia da Funcionalidade e da Cooperação também promove o compartilhamento de conhecimentos e tecnologias. Isso é particularmente relevante para a GD de energia solar, já que muitos pequenos produtores e comunidades não podem ter acesso a informações ou habilidades técnicas para a instalação e manutenção de sistemas solares. O conhecimento pode ser compartilhado entre membros de cooperativas, e programas de capacitação podem ser organizados coletivamente, elevando o nível técnico e promovendo a eficiência.

As cooperativas de energia solar também permitem que comunidades inteiras se tornem autossuficientes em termos energéticos, fortalecendo a segurança energética local. Em áreas remotas ou rurais, isso é fundamental para reduzir a dependência de grandes distribuidores de energia e, ao mesmo tempo, garantir que a energia gerada seja aproveitada para o desenvolvimento local.

No contexto da GD de energia solar fotovoltaica, a inovação social pode desempenhar um papel crucial para criar soluções adaptadas às realidades locais, envolvendo as comunidades e facilitando a adoção de práticas mais sustentáveis.

Essa inovação pode levar ao desenvolvimento de modelos de negócio inclusivos, como sistemas de pagamento flexíveis (por exemplo, "*pay-as-you-go*" ou aluguel de painéis solares), que tornam a GD solar acessível a população de baixa renda. Esses modelos permitem que comunidades que, tradicionalmente não tenham acesso a tecnologias de ponta, possam gerar sua própria energia de forma escalável e sustentável.

A inovação também envolve o engajamento direto das comunidades no processo de transição energética. Projetos de GD de energia solar que adotam uma abordagem participativa e colaborativa podem gerar um senso de pertencimento entre os usuários, aumentando a liberdade e o compromisso com a manutenção dos sistemas. Esse engajamento é essencial para o sucesso no longo prazo dos projetos, especialmente em áreas rurais e regiões menos desenvolvidas.

Projetos de GD de energia solar podem priorizar a inclusão de famílias de baixa renda, comunidades tradicionais ou rurais, garantindo que todos tenham acesso à energia limpa e barata, independentemente de sua condição socioeconômica, podendo ser organizada de

maneira a garantir que os benefícios sejam distribuídos equitativamente entre os membros da comunidade, seja por meio de cooperativas ou outros arranjos coletivos. Isso garante que o desenvolvimento sustentável gerado pela energia solar impacte positivamente toda a comunidade, ao invés de beneficiar apenas grandes investidores.

Superada a delimitação conceitual de inovação social, é preciso estabelecer a divergência entre a concepção societal e a de inovação mercadológica. Enquanto a primeira versa sobre o bem-estar comunal e utiliza a partilha do conhecimento como estratégia de aprimoramento da qualidade de vida, a segunda se volta para o lucro empresarial e, portanto, as informações devem ser sigilosas para garantir o sucesso do empreendimento.

5.2 Desenvolvendo Ecossistema Cooperativo Territorializado para implementar a GD

As energias renováveis, principalmente, a microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica, reconsiderada no quadro da EFC, tem o potencial de se tornar instrumento de promoção do desenvolvimento econômico sustentável de cada região. E é esse o ponto de partida conceitual que irá nortear a construção deste capítulo, em que se pretende discutir como o uso da GD pode contribuir para a emancipação das comunidades rurais, cuja produção se dá em diminuta escala.

Ainda que não seja necessário reforçar que a produção de energia fotovoltaica estará em voga nas próximas décadas, amplamente reconhecida como instrumento condutor de desenvolvimento socioeconômico sustentável, é importante ressaltar que, com a prevalência das tendências atuais, o sistema adotado de geração energética será a geração centralizada, utilizada em grandes usinas que, apesar de gerarem energia limpa, abastecem megaempreendimentos, geralmente localizados nas regiões mais abastada do país. O modelo não produz inovação social e, ainda, utiliza os recursos naturais locais. O objetivo é gerar lucros para empresas que, na maioria das vezes, não estão localizadas na região onde se instalou o complexo energético. Rege-se pela lógica do capitalismo industrial-tecnológico, concentrando renda e explorando o meio ambiente de forma irresponsável. Em contrapartida, a GD se mostra mais adequada ao modelo econômico que se pretende desenvolver, considerando os conceitos e as técnicas da EFC, e mais apta a promover inovação social no campo.

O primeiro passo para o desenvolvimento local sustentável é identificar condições habilitantes do processo que, segundo Du Tertre *et al.* (2019, p. 4 e5), se resumem em:

- i) partícipes dispostos ao engajamento e cooperação no projeto e construção conjunta de soluções viáveis do ponto de vista comunal;
- ii) identificação das inovações sociais e a capacidade de ativação dos recursos imateriais locais;
- iii) a construção de soluções imbricadas ao modo de vida da comunidade, pois, a importação de êxitos de realidades distintas é falaciosa, na medida em que pode desconsiderar elementos próprios que fazem parte do percurso comunitário;
- iv) conjugação das ações dos setores públicos, em torno da empreitada comunitária e articulação transversal entre estas esferas e entidades similares e;
- v) trajetória empírica.

Du Tertre (2019, p 5-6) assevera que, mesmo presentes todos os requisitos, para o sucesso deste modelo de desenvolvimento, ainda hão de se atentar para a construção da cooperação entre os partícipes, contando, inclusive, com instrumentos de avaliação, consolidação e intensificação desse sistema colaborativo. Ademais, a insuficiência de recursos financeiros para a manutenção da iniciativa impede ou torna lento seu desenvolvimento, razão pela qual há de se diversificar o modo de obtenção de recursos, financeiros ou não monetários para a consecução da proposta.

Nessa linha de raciocínio, torna-se essencial a elaboração de um plano de ação que contemple os atores que se envolverão no projeto, como se dará a intervenção externa e o engajamento social, bem como os objetivos a serem logrados, além de processo avaliativo da empreitada. Tais dados são obtidos, em visitas técnicas, por diagnóstico fundado em pesquisas em campo e pré-avaliação da viabilidade e aceitação do objeto do intento.

A intervenção externa deve sempre respeitar a governança local e os arranjos coletivos estabelecidos pelos atores territoriais. Qualquer intervenção de fora deve ser transparente e estar alinhada com as necessidades e objetivos da comunidade local. A participação dos atores locais no processo decisório é crucial para evitar a imposição de políticas que possam prejudicar o território.

5.3 Energia solar: fortalecimento da assistência técnica e extensão rural (ATER)

A assistência técnica na extensão rural (ATER), especialmente a pública e gratuita, pode desempenhar um papel fundamental na promoção e implementação da geração distribuída de energia solar em áreas rurais, trazendo uma série de benefícios tanto para as comunidades locais quanto para a sustentabilidade energética.

A EMATER, em 2020, tratou do tema relacionado à extensão rural pública e gratuita em publicação própria, conforme trecho abaixo:

Dessa forma podemos dizer que as tecnologias digitais estão presentes no contexto da extensão rural, favorecendo o processo de construção do conhecimento. Um novo saber pedagógico passa a ser exigido dos extensionistas, como condição para compreender esse “novo lugar” em que as ferramentas digitais assumem na ação educativa e, assim, poder integrá-las ao fazer pedagógico da Ater. Faz-se necessário a construção de conexões, numa perspectiva colaborativa, que viabilize novas formas de ensinar e de aprender condizentes com o modelo da sociedade do conhecimento, o qual se caracteriza pelos princípios da diversidade, da integração e da complexidade. (EMATER, 2020, p. 12).

A ATER tem uma missão central da educação continuada não formal, considerando extensionistas e os produtores rurais protagonistas nas ações transformadoras, em tecnologias e práticas que melhorem sua produtividade e sustentabilidade, na qual o extensionista assume o papel de mediação de processos de mudanças, cabendo ao agricultor o papel de sujeito do seu próprio desenvolvimento (Mexpar 4.0, 2020). No contexto da geração distribuída de energia solar, isso envolve:

- a. capacitação técnica sobre o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, como instalação, operacionalização e realização de manutenção desses sistemas;
- b. sensibilização e conscientização dos benefícios econômicos e ambientais da energia solar, mostrando como ela pode reduzir custos com eletricidade e promover o uso de uma fonte limpa e renovável;
- c. assistência no planejamento e dimensionamento dos sistemas solares, garantindo que as necessidades energéticas das propriedades rurais sejam atendidas de forma eficiente.

Nessa esteira, verifica-se que a intervenção de uma assistência técnica e extensão rural tendo a microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica como fonte complementar de renda na atividade agropecuária, estimulando a sustentabilidade das propriedades rurais, é instrumento de promoção do desenvolvimento regional sustentável. É apta, ainda, a estimular o envolvimento direto da sociedade local, em processos organizacionais por cooperativas, com a finalidade da gestão compartilhada da energia gerada por seus cooperados. A Assistência Técnica e Extensão Rural faz com que a geração distribuída de energia solar seja inovadora de forma eficiente, segura e sustentável. A atuação integrada da assistência técnica no setor solar também ajuda a consolidar a transição energética, promovendo um modelo de desenvolvimento mais sustentável e resiliente.

5.4 O cooperativismo e a produção de energia solar pelo pequeno produtor rural

Em números, se um produtor rural instalasse uma micro usina fotovoltaica de 50 kWp (kilowatts hora-pico), capaz de gerar uma média de 7.500 kWh/mês (kilowatts hora-mês) e comercializasse a R\$ 0,70 (setenta centavos) o kW, geraria uma renda média mensal de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) por família, totalizando R\$60.000,00 (sessenta mil reais) por família/ano. Nessa toada, a energia seria produzida na modalidade microgeração distribuída, por meio de geração compartilhada e instrumentalizada por cooperativas⁴¹ ou associações civis⁴² rurais, nos moldes preconizados no art. 1º, III e X, da Lei 14.300/22.

A tabela 9 apresenta os recursos financeiros necessários para que um produtor rural possa instalar uma usina de microgeração de energia solar com capacidade de gerar 49,28 kWp. Para tanto, o produtor rural necessita de aporte econômico de R\$ 190.407,60 (cento e noventa mil, quatrocentos e sete reais e sessenta centavos).

Em caso de financiamento do valor, considerando a carência de um ano, taxa de juros de 5% (cinco por cento), tempo estimado de dez anos para pagamento, além do custo pago pelo consumidor por kW de energia para a distribuidora no valor de R\$ 1,00 (um real), o produtor receberá, por meio da cooperativa, o valor de R\$ 0,60 (sessenta centavos) por kW de energia gerada. Ressalta-se que nessa quantia já se procedeu o desconto correspondente a 20% (vinte por cento) do valor original, a ser concedido ao consumidor para sua captação e fidelização, além de outros 20% (vinte por cento) destinados à gestão da cooperativa e aplicação no fundo de reserva de capital, valor este que poderá ser distribuído, ao final do ano, por decisão de assembleia geral. Veja-se:

⁴¹ A Constituição Federal, ao tratar da política rural, fez previsão do modelo cooperativo como instrumento de desenvolvimento econômico e social no campo, a saber: “Art. 187. A política agrícola será planejada e executada na forma da lei, com a participação efetiva do setor de produção, envolvendo produtores e trabalhadores rurais, bem como dos setores de comercialização, de armazenamento e de transportes, levando em conta, especialmente: [...] VI - o cooperativismo. Já a sua conceituação ficou a cargo da Lei nº 5.764/1971: “Art. 4º. As cooperativas são sociedades de pessoas, com forma e natureza jurídica próprias, de natureza civil, não sujeitas a falência, constituídas para prestar serviços aos associados (BRASIL, 1971

⁴² As associações civis estão previstas no art. 44 do Código Civil e se diferem das cooperativas em seus objetivos. Enquanto estas últimas visam a promoção econômica de seus membros, as associações civis têm objetivos sociais, culturais, educacionais.

Tabela 9 - Cálculo do valor (financiamento) de produção de energia fotovoltaica por um agricultor em cooperativa, bem como os seus lucros advindos do empreendimento coletivo.

Planilha de Calculo Energia Fotovoltaica												
Ano	Capital	Juros (R\$)	Amortização	Pagamento	KW Pr	KW Co	Valor Consum	Valor Energia	Lucro Ano	R\$ Mês	Lucro Mês	
1	R\$ 199.997,98	R\$ 9.520,39	R\$ 19.992,80	R\$ 29.513,18	62590	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 43.812,68	R\$ 14.299,50	R\$ 1.191,63	R\$ 2.991,63	Juros (%)
2	R\$ 179.936,18	R\$ 8.996,76	R\$ 19.992,80	R\$ 28.989,56	61964	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 43.374,55	R\$ 14.385,00	R\$ 1.198,75	R\$ 2.998,75	9
3	R\$ 159.942,38	R\$ 7.997,12	R\$ 19.992,80	R\$ 27.989,92	61344	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 42.940,81	R\$ 14.960,89	R\$ 1.245,91	R\$ 3.045,91	
4	R\$ 139.949,59	R\$ 6.997,48	R\$ 19.992,80	R\$ 26.990,28	60731	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 42.511,40	R\$ 15.521,12	R\$ 1.293,43	R\$ 3.093,43	Anos
5	R\$ 119.956,79	R\$ 5.997,84	R\$ 19.992,80	R\$ 25.990,64	60123	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 42.086,29	R\$ 16.095,65	R\$ 1.341,30	R\$ 3.141,30	10
6	R\$ 99.963,99	R\$ 4.998,20	R\$ 19.992,80	R\$ 24.991,00	59522	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 41.665,42	R\$ 16.674,42	R\$ 1.389,54	R\$ 3.189,54	
7	R\$ 79.971,19	R\$ 3.998,56	R\$ 19.992,80	R\$ 23.991,36	58927	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 41.248,77	R\$ 17.257,41	R\$ 1.438,12	R\$ 3.238,12	Comercializar (%)
8	R\$ 59.978,39	R\$ 2.998,92	R\$ 19.992,80	R\$ 22.991,72	58338	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 40.836,28	R\$ 17.844,56	R\$ 1.487,05	R\$ 3.287,05	11
9	R\$ 39.985,60	R\$ 1.999,28	R\$ 19.992,80	R\$ 21.992,08	57754	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 40.427,92	R\$ 18.435,84	R\$ 1.536,32	R\$ 3.336,32	
10	R\$ 19.992,80	R\$ 999,54	R\$ 19.992,80	R\$ 20.992,44	57177	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 40.023,54	R\$ 19.031,20	R\$ 1.585,93	R\$ 3.385,93	Desconto (%)
11	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	56605	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 39.623,40	R\$ 39.623,40	R\$ 3.301,95	R\$ 5.101,95	12
12	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	56039	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 39.227,17	R\$ 39.227,17	R\$ 3.268,93	R\$ 5.068,93	
13	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	55478	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 38.834,90	R\$ 38.834,90	R\$ 3.236,24	R\$ 5.036,24	R\$ KW
14	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	54924	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 38.446,55	R\$ 38.446,55	R\$ 3.203,88	R\$ 5.003,88	1,0
15	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	54374	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 38.062,08	R\$ 38.062,08	R\$ 3.171,84	R\$ 4.971,84	
16	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	53831	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 37.681,45	R\$ 37.681,45	R\$ 3.140,12	R\$ 4.940,12	R\$ KW Rural
17	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	53292	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 37.304,65	R\$ 37.304,65	R\$ 3.108,72	R\$ 4.908,72	0,7
18	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	52759	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 36.931,60	R\$ 36.931,60	R\$ 3.077,63	R\$ 4.877,63	
19	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	52232	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 36.562,28	R\$ 36.562,28	R\$ 3.046,86	R\$ 4.846,86	Valor Projeto R
20	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	51710	1200	R\$ 1.800,00	R\$ 36.196,66	R\$ 36.196,66	R\$ 3.016,39	R\$ 4.816,39	R\$ 190.407,6
KWh/Mês		KW	KVA	HP	CV	Watts	KWp	KWh	Placa (Watts)	N Placas	Sol/Hdia	Operadora (R\$)
5913,60		1	1,25	1,34	1,38	1000	1	197,12	440	112	4	R\$ 60,0
KWh/Real/Mês		Carência (Mh)	Potência KWp									
5322,34		12	40,28									

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Além disso, é necessário considerar que o consumo de energia desse produtor gira em torno de 1.200 kW/mês, a um valor de R\$ 0,70 (setenta centavos) kW, em se tratando de propriedade rural. Sendo assim, este ainda economizaria R\$ 1.800,00 (um mil e oitocentos reais) por mês. Nessa conta, também há de se ter em vista a existência do lucro líquido mensal, que o produtor logrará após pagamento das parcelas do financiamento e cujo valor gira em torno de um salário-mínimo. Dessa feita, tem-se que o lucro ultrapassará a quantia de dois salários-mínimos nos dez primeiros anos. Após o pagamento do financiamento, alcançará a importância 3,5 salários-mínimos mensais, que integra o valor de consumo e o do excedente de energia gerado e injetado na rede de distribuição pelo produtor.

A geração de energia solar permite que os agricultores familiares sejam mais autossuficientes em termos energéticos. Exemplificando: podem produzir a própria eletricidade e alimentar equipamentos para bombeamento de água, abastecendo residências no meio rural, sistemas de irrigação, sistemas de refrigeração e agroindustrialização, o que agrega valor à produção, conservação e armazenamento de produtos e evita desperdícios e prejuízos.

Nessa toada, verifica-se que a geração de energia fotovoltaica, especialmente por microgeração distribuída, envolve a produção descentralizada de bens e serviços pois, em sua concepção está a produção de energia para suprir o consumo local. É o excedente que será injetado na rede de distribuição para atender demais finalidades. Ademais, a atividade *per si* já demanda por mão-de-obra na instalação e/ou manutenção de seus sistemas, além de contribuir

para o comércio em razão da necessidade de aquisição de equipamentos, uma vez que é de simples instalação, reclamando por mão-de-obra da própria região.

Nesse modelo de produção energética, os sistemas são de pequeno porte, acessível a grande maioria da sociedade brasileira, podendo ser instalados em residências de famílias de baixa renda, quer seja em programas públicos ou privados, atendendo todas as classes sociais. Além disso, os produtores de energia estão mais próximos dos consumidores e têm maior autonomia para tomada de decisões sobre o negócio, reduzindo os prejuízos, especialmente, nas pequenas propriedades rurais, causados pela escassez e/ou falta de energia elétrica.

A economia servicial aplicada ao desenvolvimento territorial sustentável fomenta um ciclo virtuoso: o reconhecimento das contribuições imateriais (como o conhecimento, as práticas sustentáveis e a inovação) reforça a eficiência e a resiliência das atividades produtivas, promovendo o engajamento real dos atores. Isso não só gera valor econômico, mas também cria uma rede colaborativa para enfrentar os desafios ambientais e sociais, garantindo uma maior sustentabilidade a longo prazo.

Verifica-se, assim, a interconexão entre o modelo ora proposto e os preceitos da EFC, na medida em que impulsiona o desenvolvimento territorial sustentável e compartilhado: há o reconhecimento do trabalho dos partícipes, como preconizado na releitura da economia servicial e que é tido como bem imaterial, essencial para a realização da atividade. Ademais, favorece também a colaboração e compartilhamento entre produtores e consumidores, além da economia de recursos materiais, uma vez que gera energia limpa e sustentável para uso próprio.

A microgeração distribuída incentiva a formação de redes colaborativas, como cooperativas de energia e grupos de interesse comum. O envolvimento real de diversos atores, como consumidores, produtores, associações, cooperativas e instituições públicas e privadas, é um princípio fundamental da EFC.

Dessa forma, a microgeração distribuída de energia solar, ao permitir que comunidades e indivíduos participem diretamente da produção energética, valoriza a contribuição de todos os envolvidos, promovendo uma visão de trabalho como um ato de serviço ao bem comum. Isso inclui o reconhecimento do conhecimento técnico, a capacidade comunitária e de inovação como ativos intangíveis. Em sistemas cooperativos, os riscos são distribuídos entre os membros, tornando-os menos vulneráveis a flutuações econômicas ou ambientais. Por exemplo, em cooperativas agrícolas, diferentes produtores podem cultivar diversas culturas, reduzindo a dependência de um único produto. O foco em práticas cooperativas cria condições ideais para a sustentabilidade pois, ao compartilhar os resultados e benefícios da produção, os participantes

têm maior motivação para adotar práticas que preservam o ambiente e os recursos a longo prazo, evitando a exploração predatória dos insumos.

O desenvolvimento territorial sustentável é um processo que envolve a colaboração entre diferentes atores sociais, econômicos e ambientais para promover uma gestão equilibrada e eficiente dos recursos em uma determinada região. A economia servicial foca na prestação de serviços e na colaboração entre agentes econômicos, onde o bem imaterial — como conhecimento, experiência e inovação — é central para gerar valor e impulsionar o desenvolvimento.

Esse reconhecimento não só valoriza as contribuições de cada agente, mas também integra a dimensão humana e social ao processo produtivo, essencial para a sustentabilidade territorial. Ao enxergar o trabalho colaborativo como um "bem imaterial", a economia servicial incentiva o engajamento ativo de todos os envolvidos, desde agricultores, cooperativas e indústrias, até governos e ONGs. Esse enfoque cria um ambiente de cocriação, onde cada parte tem um papel relevante na realização da atividade, seja no planejamento, execução ou inovação.

O cooperativismo está fundado nos sete princípios de Rochdale (que foi a primeira cooperativa inglesa, datada de 1844), quais sejam: a adesão livre e voluntária, gestão democrática, participação econômica, autonomia e independência, educação, formação e informação, intercooperação e interesse pela comunidade. O seu processo organizacional proporciona a distribuição de renda, o comportamento grupal, como família, ambiente, mão de obra, capital, consumidor, empresa, produto, oferta, demanda, preço, entre outros, trabalhando de baixo para cima, estudando primeiro os fatores pequenos, individuais e coletivos para depois estudar e entender o cenário e os valores agregados, proporcionando tomada de decisão mais clara e assertiva por meio da cooperação entre os envolvidos, buscando alternativas de geração de emprego, renda e desenvolvimento de forma sustentável.

A produção de energia solar fotovoltaica, por meio da cooperação, possibilita a inovação tecnológica focada no desenvolvimento de novas soluções para o gerenciamento eficiente, gestão e compensação de energia renovável dos sistemas de micro e minigeração distribuída.

A cooperação facilita a inovação tecnológica, gestão eficiente, compensação de energia, modelos de negócios inovadores, redução de custos e democratização do acesso à energia, fortalecimento da sustentabilidade no setor de energia solar fotovoltaica de várias maneiras:

↑ Fomento à Inovação Tecnológica

A cooperação facilita a inovação tecnológica no setor de energia solar fotovoltaica de várias maneiras:

↳ **Compartilhamento de conhecimento e expertise:** Ao reunir diferentes participantes, como empresas de tecnologia, universidades, fabricantes de equipamentos solares e consumidores finais – a cooperação cria um espaço para o intercâmbio de ideias, experiências e soluções técnicas. Isso acelera o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, como painéis solares de maior rendimento e sistemas de armazenamento de energia mais eficazes.

Empresas e universidades que colaboram estão frequentemente engajadas em um ambiente competitivo e colaborativo simultaneamente. Parcerias permitem dividir custos de pesquisas e desenvolvimento (P&D), que são geralmente altos em setores como energia solar. A publicação de pesquisas e a troca de conhecimentos técnicos em conferências e feiras impulsionaram o setor globalmente, criando um ciclo de inovação mais acelerado, tornam as soluções mais acessíveis para os usuários finais, investidores, tanto públicos quanto privados, são mais propensos a projetos financeiros que envolvam múltiplos stakeholders, pois isso reduz os riscos e aumenta as chances de sucesso.

↳ **Acesso a recursos coletivos para P&D:** Cooperativas podem investir em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de forma coletiva, ampliando a capacidade de inovação em áreas como armazenamento de energia, otimização de sistemas de geração distribuída e integração com redes inteligentes (*smart grids*).

Políticas governamentais que oferecem subsídios, financiamentos ou programas de P&D para consórcios que incluem universidade, empresas e cooperativas. Esse ambiente de apoio cria ciclo virtuoso, onde inovação e implementação se retroalimentam porque combina expertise, recursos e motivações diversas para resolver problemas complexos de forma integrada.

↳ **Desenvolvimento de soluções tecnológicas personalizadas:** A cooperação permite adaptar tecnologias solares às necessidades locais, como painéis que funcionam em áreas rurais com menor insolação ou sistemas de compensação de energia que atendam pequenos consumidores.

Cooperativas e organizações locais oferecem ambientes de testes reais para novas tecnologias, como comunidades que instalam microrredes solares, permitindo obter

feedback contínuo sobre desempenho e eficiência, ajustando as tecnologias para atender às condições específicas.

A cooperação na produção de energia solar também promove inovações na gestão eficiente da energia gerada:

‡ Gestão Eficiente de Energia

↳ Sistemas de gestão compartilhada: As cooperativas de energia solar podem desenvolver ou adotar plataformas digitais para monitoramento e gestão da geração e consumo de energia. Essas plataformas podem coletar dados em tempo real de diversos produtores de micro e minigeração, permitindo uma gestão mais eficiente e coordenada.

↳ Integração com redes inteligentes (*smart grids*): Através da cooperação, é possível implementar tecnologias que integram a energia solar distribuída às redes elétricas inteligentes. Essas redes podem equilibrar a geração e o consumo de energia de forma automática, otimizando a distribuição e minimizando perdas.

↳ Armazenamento compartilhado de energia: Uma inovação promovida pela cooperação é o desenvolvimento de sistemas coletivos de armazenamento de energia, como baterias comunitárias. Esses sistemas permitem que a energia excedente gerada durante o dia seja armazenada e utilizada à noite ou em períodos de baixa geração, aumentando a eficiência e reduzindo a dependência de outras fontes energéticas.

A compensação de energia é um dos pilares da micro e mini geração distribuída e a cooperação permite a criação de modelos inovadores de compensação:

‡ Compensação de Energia e Modelos de Negócios Inovadores

↳ Criação de redes de créditos energéticos compartilhados: Em sistemas de micro e minigeração distribuída, a energia excedente pode ser injetada na rede elétrica, gerando créditos que são abatidos da conta de luz.

A cooperação permite a criação de redes onde esses créditos podem ser distribuídos entre os membros da cooperativa, garantindo que todos sejam beneficiados de forma justa, mesmo aqueles que não possuem sistemas de geração próprios.

↳ Plataformas de gestão de créditos energéticos: Com o apoio da tecnologia, cooperativas podem desenvolver ou utilizar plataformas que acompanham a geração, distribuição e compensação de créditos energéticos de forma transparente e eficiente, permitindo que os usuários acompanhem seus saldos de energia em tempo real.

↳ Modelos de negócio baseados em economia compartilhada: A inovação cooperativa também estimula o surgimento de novos modelos de negócio, como “fazendas solares” ou “usinas solares comunitárias”, onde vários membros investem em uma única instalação de geração solar e compartilham a energia gerada proporcionalmente, possibilitando que até pessoas que não possam instalar painéis em suas casas se beneficiem da energia gerada.

A cooperação no setor de energia solar fotovoltaica contribui diretamente para a redução de custos e a democratização do acesso à energia renovável:

↳ Redução de Custos e Democratização do Acesso à Energia

↳ Aquisição coletiva de equipamentos: Cooperativas podem realizar compras coletivas de painéis solares, inversores e outros equipamentos, obtendo melhores condições de preço e qualidade. Isso torna o investimento inicial mais acessível, permitindo que mais pessoas ou empresas possam aderir à micro ou minigeração de energia.

↳ Divisão de custos de instalação e manutenção: Em sistemas de geração compartilhada, os custos de instalação, manutenção e operação são diluídos entre os membros da cooperativa, tornando o acesso à energia solar economicamente viável para um número maior de pessoas.

↳ Inovação no financiamento: A cooperação também facilita a criação de novas formas de financiamento, como fundos rotativos ou linhas de crédito comunitárias, que ajudam a financiar os sistemas de geração distribuída com condições mais favoráveis.

↳ Fortalecimento da Sustentabilidade

↳ Descentralização da geração: A micro e minigeração distribuída, baseada em cooperativas, contribui para a descentralização da geração de energia, reduzindo a necessidade de grandes usinas e a dependência de fontes fósseis.

↳ Redução da pegada de carbono: Ao facilitar o acesso e o uso da energia solar, a cooperação ajuda a reduzir a emissão de gases de efeito estufa, promovendo um desenvolvimento territorial mais sustentável.

↳ Engajamento comunitário: A cooperação envolve os diversos atores locais, como consumidores, pequenos produtores e autoridades, no processo de transição energética, promovendo a conscientização ambiental e um compromisso coletivo com o desenvolvimento sustentável.

As cooperativas permitirão que os seus membros sejam condôminos dos sistemas de micro e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica, democratizando o acesso à energia limpa e renovável.

Nessa dinâmica, as redes de colaboração podem promover a educação sobre energias renováveis e sustentabilidade, aumentando a conscientização e engajamento da população, com o compartilhamento de conhecimentos, tecnologia e captação de recursos para tais projetos.

A ONU (Organização das Nações Unidas) tem se posicionado de forma bastante clara a favor de soluções sustentáveis como a energia solar fotovoltaica, que é uma peça-chave no combate às mudanças climáticas e no avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Entre os ODS, destaca-se o objetivo 7, que trata de garantir o acesso confiável, sustentável, moderno e o preço acessível.

Em 2012, a Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o Ano Internacional das Cooperativas (AIC) para reconhecer seu papel essencial na economia global e no desenvolvimento sustentável. Desde então, o Dia Internacional das Cooperativas é comemorado no primeiro sábado de julho de cada ano. Este ano, celebramos este dia com o tema "As Cooperativas Constroem um Futuro Melhor para Todos." Significativamente, também foi decidido declarar 2025 novamente como o Ano. (Beduschi, 2024).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica tem se destacado por sua expansão, principalmente através da micro e minigeração distribuída, onde o excedente de energia gerada pode ser injetado na rede elétrica, gerando créditos que são abatidos da conta de luz.

As cooperativas são atores importantes nesse cenário. Eles podem reunir vários pequenos consumidores em um sistema compartilhado de geração, otimizando o uso de recursos e democratizando o acesso à energia solar. Esse modelo é especialmente eficaz em áreas rurais ou comunidades que não têm acesso fácil a grandes projetos de infraestrutura energética. Além disso, as cooperativas de energia solar ajudam a reduzir os custos iniciais de instalação dos painéis fotovoltaicos e permitem que mais pessoas ou pequenos negócios se beneficiem das vantagens econômicas e ambientais da energia limpa.

5.5 A fonte dos recursos financeiros para instalação das usinas de microgeração de energia solar fotovoltaica e o desmonte do sistema da concentração de renda

Ação ora proposta para viabilizar a gestão financeira dos sistemas de microgeração distribuída de energias fotovoltaica, por meio de cooperativas rurais, é a aquisição pela ANEEL da energia destinada a atender o público beneficiado pelo programa governamental de Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) diretamente da cooperativa rural. Desta feita, a agência passará a remunerar as cooperativas de pequenos produtores de energia fotovoltaica, com recursos CDE destinados ao financiamento do TSEE. Propõe-se que serão atendidos pela

iniciativa, os agricultores cooperados que possuam área rural de até 4 módulos fiscais, especialmente da agricultura familiar, que repassarão o excedente de energia gerado nas pequenas propriedades rurais, e a remuneração pelo serviço se dará em conformidade com as diretrizes do programa e sob a supervisão da cooperativa.

No ano de 2023, a ANNEL repassou para as distribuidoras de energia elétrica do Estado de Minas Gerais, o valor de R\$ 405.069.079,31, advindo dos recursos da CDE, para cobrir os custos com o programa de Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE)⁴³, que se refere ao subsídio de energia concedido pelo governo para as famílias de baixa renda inscritas no Cadastro Único ou que tenha entre seus membros alguém que seja beneficiário do Benefício de Prestação Continuada (BPC). O desconto é concedido de acordo com o consumo mensal de cada família, que varia de 10 a 65%, até o limite de consumo de 220 kWh. (ANEEL, 2024).

Segundo dados do Ministério da Cidadania (MC), no Estado de Minas Gerais, foram atendidas 598.800 famílias, na tarifa social de energia elétrica, proporcionando uma economia média mensal familiar de R\$ 56,37 (cinquenta e seis reais e trinta e sete centavos). Se considerarmos o custo da cesta básica em Belo Horizonte, medido pelo índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA-BH), o valor de R\$ 700,00 (setecentos reais) a tarifa social de energia elétrica representa apenas 8,05% (oito virgula zero cinco por cento) do consumo familiar mensal.

Segundo disposto na Lei nº 10.438 de 2002, famílias de baixa renda beneficiárias do programa que consome até 30 kWh de acordo com a legislação, tem direito a um desconto de 65% (sessenta e cinco por cento) em sua conta de energia elétrica, de 31 kWh a 100 kWh, terá 40% (quarenta por cento) de desconto, de 101 kWh a 220 kWh, será concedido desconto de 10% (dez por cento). (BRASIL, 2002).

Caso este montante total fosse empregado em microusinas de geração distribuída com capacidade de 50 kWp, poderia beneficiar 7.081 (sete mil e oitenta e um) agricultores familiares em todo Estado de Minas Gerais, proporcionando uma renda média familiar mensal em torno de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais), conforme já mencionado anteriormente.

⁴³ A TSEE faz parte de programa governamental que concede os descontos para os consumidores enquadrados na subclasse residencial baixa renda, custeado pelo CDE e está prevista na Lei nº 12.212/2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.583/2011.

Tabela 10 - Valores repassados pela ANEEL às distribuidoras de energia referente ao programa TSEE para o primeiro triênio de 2024

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ▾

Evolução Mensal TSEE - Brasil ▾

2024 ▾

Referência	Número de Unidades Consumidoras			DMR - Diferença Mensal de Receita solicitada (R\$)	Fontes de Custeio da TSEE	
	Residencial Total	Baixa Renda	% Baixa Renda / Residencial		CDE (R\$)	TARIFA (R\$)
Janeiro	79.983.393	17.144.522	21,43	536.324.045,64	536.324.045,64	0,00
Fevereiro	80.042.532	17.051.425	21,30	528.895.480,96	528.895.480,96	0,00
Março	79.680.784	16.877.008	21,18	525.731.373,83	525.731.373,83	0,00
TOTAL BRASIL				1.590.950.900,43	1.590.950.900,43	0,00

Obs. Informações provenientes dos relatórios encaminhados pelas distribuidoras em cumprimento à Resolução Normativa 472, de 2012, podendo variar após o processo de fiscalização.

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

Para o ano de 2024, em seus três primeiros meses, de um total de 81 milhões de unidades consumidoras de energia elétrica em todo país, mais de 17 milhões são consumidores de baixa renda, conforme apresentado na tabela 10, representando um repasse de mais de 500 milhões de reais mensal para a distribuidoras custearem parte do consumo dessas famílias, conforme já detalhado anteriormente. O Estado de Minas Gerais de 8.184.329 (oito milhões, cento e oitenta e quatro mil, trezentos e vinte e nove) unidades consumidoras de energia elétrica, 1.284.394 (um milhão, duzentos e oitenta e quatro mil, trezentos e noventa e quatro) são de baixa renda, o que representa um valor de R\$ 39.823.491,71 (trinta e nove milhões, oitocentos e vinte três mil, quatrocentos e noventa e um reais e setenta e um centavos) desembolsados pela CDE para cobrir os custos com o programa.

Conforme dados da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), o benefício já atende 1,4 milhão de famílias em todo o Estado. Em 2022, foram mais de 600 mil novas famílias cadastradas e a estimativa de acréscimos de 998 mil consumidores que ainda realizaram o cadastro. (CEMIG, 2023).

Tabela 11 - Descontos nas tarifas de energia elétrica concedida aos consumidores residenciais de baixa renda no Brasil

Evolução Mensal TSEE - Brasil 2023							
Referência	Número de Unidades Consumidoras			DMR - Diferença Mensal de Receita solicitada (R\$)	Fontes de Custeio da TSEE		
	Residencial Total	Baixa Renda	% Baixa Renda / Residencial		CDE (R\$)	TARIFA (R\$)	
Janeiro	78.216.003	15.879.768	20,30	439.456.885,52	439.456.885,52	0,00	
Fevereiro	78.248.937	16.113.696	20,59	447.906.845,55	447.906.845,55	0,00	
Março	78.476.690	16.260.773	20,72	461.477.919,57	461.477.919,57	0,00	
Abril	78.578.457	16.482.149	20,97	455.132.196,90	455.132.196,90	0,00	
Mai	78.573.426	16.806.467	21,38	480.727.818,82	480.727.818,82	0,00	
Junho	78.842.474	16.788.650	21,29	479.959.489,89	479.959.489,89	0,00	
Julho	79.045.178	16.975.175	21,47	484.810.878,12	484.810.878,12	0,00	
Agosto	79.090.171	16.628.410	21,02	483.955.768,32	483.955.768,32	0,00	
Setembro	79.571.814	16.659.707	20,95	498.297.489,01	498.297.489,01	0,00	
Outubro	79.568.500	17.236.653	21,66	516.090.663,28	516.090.663,28	0,00	
Novembro	79.735.331	16.991.053	21,30	523.873.570,10	523.873.570,10	0,00	
Dezembro	80.025.767	17.041.908	21,29	530.780.153,92	530.780.153,92	0,00	
TOTAL BRASIL				5.812.469.679,00	5.812.469.679,00	0,00	

Obs. Informações provenientes dos relatórios encaminhados pelas distribuidoras em cumprimento à Resolução Normativa 472, de 2012, podendo variar após o processo de fiscalização.

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024.

De acordo, ainda, com a ANEEL, no ano de 2023, conforme tabela 11, de um total de 79.680.784 unidades consumidoras de energia elétrica, 16.877.008 foram beneficiadas com a tarifa social, representando 21,18% do total do país, o equivalente ao montante de R\$ 525.731.373,83 desembolsados da CDE e repassado às distribuidoras de energia, para arcar com as contas da TSEE. (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024).

Considerando a importância da produção alimentar advinda da agricultura familiar e de pequenos produtores, além da necessidade da promoção de desenvolvimento sustentável, uma solução economicamente viável seria a destinação destes recursos para os trabalhadores rurais, a fim de que estes pudessem gerar a energia necessária para o abastecimento das famílias de baixa renda de Minas Gerais e atendidas pelo programa TSEE.

Uma família de baixa renda que consome em torno de 200 kWh de energia, quando instalado em sua residência um sistema de energia solar que gere o dobro do seu consumo, 400 kWh de energia, o mesmo deixará de pagar a sua conta de energia, ainda terá uma sobra de 200 kWh de energia que poderá ser compensada por meio do sistema cooperativo, onde se considerar o valor de R\$ 0,68 por kWh de energia, além de não pagar pelo consumo este terá um retorno mensal de R\$ 136,00 (cento e trinta e seis reais), se considerar o valor da conta de energia já considerando o destoco, o lucro foi de R\$ 258,00 (duzentos e cinquenta e oito reais) mensal. O valor de um sistema de microgeração distribuída para atender essa família no presente momento, em torno de R\$ 3.200,00 (três mil e duzentos reais).

Quando se faz referência ao agricultor gerar a energia e o próprio governo adquirir essa energia para atender as famílias de baixa renda, aplica-se os parâmetros apresentados na tabela 11 - Cálculo do valor (financiamento) de produção de energia fotovoltaica por um agricultor em cooperativa, bem como os seus lucros advindos do empreendimento coletivo, conforme já citado anteriormente.

Dessa forma, a ANEEL estará adquirindo e incentivando a geração de uma energia limpa e sustentável, gerando emprego, distribuindo renda e contribuindo com o desenvolvimento regional sustentável, especialmente as menos desenvolvidas, e onde se concentra o maior potencial de irradiação solar. Nesse sentido, o necessário processo de colaboração entre os atores envolvidos na empreitada pontual, ou seja, os produtores, geradores e consumidores de energias renováveis, por meio de cooperativa, é a solução mais viável, para cumprir o que preconiza a proposta do presente projeto que é “gerar renda” pelo excedente de energia produzido nas propriedades rurais, buscando garantir ganho permanente para os pequenos produtores rurais e adjacentes.

O TSEE configura-se como política pública essencial para promover a equidade e a inclusão social, assegurando que famílias de baixa renda⁴⁴ tenham acesso a serviço essencial, de forma acessível e sustentável. Para maximizar as utilidades deste programa, é crucial a cooperação entre governo, as distribuidoras de energia e as comunidades beneficiadas, por meio de suas organizações/cooperativas. Todavia, para que esta opção seja legalmente exequível, é preciso fazer sua regulamentação pelos órgãos competentes.

Quanto à distribuição de renda, o objetivo é garantir que os benefícios sejam compartilhados de forma justa e equitativa. Isso propicia a redução das desigualdades sociais e pobreza, além de criar oportunidades, nos diversos segmentos sociais, de obtenção de ganhos advindos do desenvolvimento econômico alçado pela produção energética.

Implica, além disso, na utilização de recursos naturais sem descontrole, com vistas a evitar o esgotamento destes bens. A GD de energia fotovoltaica em pequena escala, por conseguinte, se configura como produção de energia limpa, não carecendo de desmatamento

⁴⁴ Como pessoas e famílias de baixa renda, aptas a acessar o benefício da TSSE, consideram-se aquelas que, segundo o art. 2º da Lei 12.212/2010: estão inscritas no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), com renda familiar mensal per capita menor ou igual a meio salário mínimo nacional; idosos com 65 (sessenta e cinco) anos ou mais ou pessoas com deficiência quem recebe o Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social (BPC); portador de renda mensal de até três salários-mínimos, portador de doença ou deficiência cujo tratamento, procedimento médico ou terapêutico requeira o uso continuado de aparelhos, equipamentos ou instrumentos que, para o seu funcionamento, demandem consumo de energia elétrica. Ademais, os quilombolas e indígenas que atenderem tais requisitos têm desconto de 100% até o limite de consumo de 50 kWh/mês. (Brasil, 2010).

ou remoção de terras para instalação dos artefatos necessários para a sua geração, já que pode ser implementada em pequenas localidades, no telhado de residências e quintais.

A implementação de tecnologias em microgeração distribuída de energia solar tem, ainda, o condão de melhorar a infraestrutura local e proporcionar um futuro mais próspero e sustentável para a comunidade, incentivando as famílias e os jovens a permanecerem e prosperarem no meio rural, já que a garantia de uma renda permanente tem influência direta na permanência das famílias no campo e a sucessão no meio rural.

Esse modelo de geração de energia permite que propriedades rurais gerem sua própria eletricidade, garantindo a eletrificação de áreas isoladas, por meio de painéis solares, promovendo o acesso a uma série de serviços essenciais como iluminação, comunicação e internet, além dos benefícios tanto econômicos quanto ambientais, permitindo o uso de tecnologias como irrigação inteligente, que melhora a produtividade agrícola, evitando o desperdício de água, sem a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura energética.

A conectividade à internet, em particular, pode abrir portas para o aprendizado à distância, novas oportunidades de mercado e o acesso a informações sobre práticas agrícolas mais eficientes, tornando o meio rural mais integrado com as tecnologias do futuro. Jovens das comunidades, ao aprenderem e se capacitarem nessas áreas de energia solar fotovoltaica, podem se tornar empreendedores ou profissionais especializados, evitando a migração para as cidades em busca de emprego.

A microgeração distribuída, de acordo com o apresentado no presente trabalho, cria um ecossistema de desenvolvimento integrado, que abrange: Economia circular, educação e inovação tecnológica, agroindústria sustentável, conectividade social e digital, sistemas resilientes de saúde e educação, governança local participativa e cultura baseada em sustentabilidade e solidariedade.

[...] a adoção de uma Economia Circular requer a mudança de valores e princípios, com a implantação das práticas sustentáveis, em toda a cadeia de suprimentos. Portanto, a adoção deste modelo depende não só da empresa, mas também, dos fornecedores, clientes, sociedade e poder público. A Economia Circular não irá alcançar o seu objetivo, se ocorrer de forma isolada. (Vier *et al.*, 2021, p. 42).

A geração distribuída de energia solar fotovoltaica é um catalisador para o desenvolvimento de um ecossistema complexo e interconectado que inclui inovação tecnológica, novos modelos de negócios, desenvolvimento social e humano, impactos ambientais positivos e avanços em políticas públicas. Esse ecossistema não apenas promove

uma transição energética sustentável, mas também cria oportunidades de desenvolvimento econômico, social e ambiental para uma sociedade mais inclusiva e resiliente.

A fabricação, instalação e manutenção de painéis solares e baterias criam uma necessidade crescente de reciclagem desses equipamentos ao final de sua vida útil. Isso abre oportunidades para empresas especializadas em reciclar materiais como silício, vidro e metais dos painéis solares.

O objetivo é garantir bem-estar humano de forma duradoura, sendo benefícios oriundos da atividade compartilhados de forma justa e equitativa. Isso propicia a redução das desigualdades sociais e pobreza, além de criar oportunidades, nos diversos segmentos sociais, de obtenção de ganhos advindos do desenvolvimento econômico alçado pela produção energética. Visa, em última análise, garantir um modelo de desenvolvimento que atenda às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras.

6 CONCLUSÃO

Nesta dissertação, foi possível através da pesquisa bibliográfica e do estudo de caso apresentado a identificação de aspectos, características e principais pontos da energia solar fotovoltaica centralizada e distribuída no território nacional e com maior aprofundamento no estado de Minas Gerais e na viabilidade de se desenvolver a implantação de usinas de microgeração de energia solar fotovoltaica.

Ao longo do estudo analisou-se a falência do modelo energético atual e a necessidade de se expandir a matriz energética, os modelos de geração de energia fotovoltaica, seus benefícios, desvantagens e desafios a serem enfrentados para viabilizar a sua utilização de forma mais ampla.

Na Introdução foram feitos alguns questionamentos que norteariam o desenvolvimento da pesquisa. Assim, perguntou-se seria possível trabalhar o sol como fonte geradora de emprego e renda? Com a proposta apresentada para a produção de energia solar pelo pequeno produtor rural e o cooperativismo, entendeu-se que apesar das dificuldades encontradas elas não são intransponíveis. Existe a necessidade de ajustes que demandam o envolvimento governamental, político e das comunidades envolvidas. A simples proposta de uma melhoria na condição de vida através de uma nova forma de produção de energia não é suficiente para que a mudança ocorra e seja permanente.

Contudo, é importante frisar que é um caminho não só para a geração de energia limpa como, também, para reduzir o êxodo rural que tem se visto nos últimos anos. Manter os jovens no campo nos dias atuais é um desafio que necessita ser vencido de uma maneira que envolva também ações voltadas para o mundo moderno, como o uso da energia solar.

A outra pergunta era se poderia ser fonte complementar às demais atividades já existentes ou isolada como sistema independente? Infelizmente, não houve um tempo hábil durante o desenvolvimento da pesquisa para se analisar com maior profundidade essa questão. Assim, a proposta que aqui se faz é que seja ela tema para futuras pesquisas a serem desenvolvidas.

Dando prosseguimento, questionou-se se a produção seria apenas para consumo com excedente na rede ou implantação de usinas para gerar renda com a remuneração pelo compartilhamento de energia? Esse era o cerne da pesquisa e ao longo dos anos, como demonstrado no estudo, foram feitas tentativas de implantação de micro usinas nas áreas rurais e seus dados sendo colhidos e analisados.

Porém, é fato que não se aprofundou nas análises dos casos de geração distribuída organizados pelos próprios atores, ficando restrito quase que ao objeto do estudo de caso. Mas esse lapso, apesar de afetar os resultados em uma análise macro não tira o mérito do que se apreendeu no decorrer da pesquisa: é viável e sim pode ser uma fonte de geração de renda para o pequeno produtor de energia.

Por fim, dentro das questões propostas tinha-se como problema norteador analisar a possibilidade de produzir energia solar fotovoltaica para consumo e a remuneração pelo compartilhamento do excedente gerado nas pequenas unidades de geração distribuída.

Tal questionamento foi respondido no capítulo que tratou dos ecossistemas cooperativos territorializados, quando se afirma que uma família de baixa renda ao gerar sua energia solar com um sistema instalado em sua residência é capaz de suprir a sua demanda e ainda gerar o dobro de energia, sendo que esse excedente poderá ser compensado por meio do sistema cooperativo.

Também se analisou a viabilidade para que o agricultor gere e o governo adquira essa energia para atender as famílias de baixa renda, como forma de incentivo para a produção de energia limpa e sustentável, com geração de emprego e distribuição de renda onde se concentra o maior potencial de irradiação solar.

A geração distribuída tem potencial para aliviar a carga do Estado no investimento para ampliação da capacidade de geração de energia elétrica, possibilitando que agricultores familiares e pequenos produtores rurais, se tornem geradores e credores do sistema elétrico nacional. Além disso, a GD é uma alternativa benéfica ao meio ambiente de geração de energia elétrica como demonstrado em capítulos anteriores. Com o cenário atual de aumento no consumo de energia elétrica, a instalação de micro usinas de geração distribuída é mais do que bem-vinda para desonerar o sistema de geração centralizada e por consequência aumentar a robustez do sistema nacional interligado.

Esta pesquisa tentou cercar os principais pontos referentes a geração de energia solar fotovoltaica e os seus modelos, focando na geração distribuída. Entretanto, deve-se ter registrado que não se avançou nos estudos para implementação dos sistemas de GD e, com isso, não se pode afirmar com exatidão as dificuldades encontradas na construção das relações entre os atores, ficando sua compreensão um tanto quanto superficial. Mas, contudo, esse ponto falho não compromete os resultados que foram analisados e apresentados no estudo. Apenas, serve como uma proposta para que pesquisas nesse sentido sejam elaboradas.

A energia solar é amplamente reconhecida por seus benefícios ambientais, o que ficou evidente nesse estudo que os sistemas de geração distribuída de energia solar fotovoltaica, especialmente a microgeração, comparado ao sistema de geração centralizada, em se tratando dos interesse e relações ambientais e desenvolvimento regional sustentável a geração distribuída é o sistema mais recomendado, inclusive em relação às outras fontes geradoras, e por ser uma fonte renovável de energia, mas, como qualquer outra tecnologia, ela não é isenta de desafios e limitações. A autocrítica sobre a energia solar, envolve refletir sobre suas questões, tanto no que diz respeito à sua implementação quanto ao seu impacto a longo prazo, especialmente quando se trata de grandes usinas, geração centralizada de energia solar.

Apesar dos avanços tecnológicos e do seu grande potencial para contribuir com a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável, é importante refletir criticamente sobre os seus desafios. A intermitência, os impactos ambientais na produção, provocados pelas megausinas de energia solar, descarte dos painéis, o uso de grandes áreas de terras, quando se refere a geração centralizada e os custos iniciais continuam a ser questões relevantes.

A microgeração distribuída de energia solar fotovoltaica, precisa ser parte de uma solução mais ampla, que combine diversas fontes de energias renováveis e estratégias para minimizar seus impactos, quando se refere a intermitência da geração de energia por meio da fonte solar, além de promover a equidade no acesso e benefícios para a comunidades locais.

Ambos os modelos têm papéis complementares no avanço da transição energética. A geração distribuída promove descentralização, engajamento, independência e sustentabilidade local, enquanto a geração centralizada, formato amplamente polarizado no Brasil, intensifica desigualdades e impactos ambientais.

O presente trabalho conclui que a geração distribuída de energia solar fotovoltaica, especialmente a microgeração, é uma oportunidade promissora para pequenos produtores rurais gerarem renda. Seja por redução de custos, remuneração pela energia excedente gerada ou exploração de novos modelos produtivos, transformando-os em “produtores de energia”. Essa alternativa permite diversificar a economia local de forma sustentável, garantindo maior estabilidade financeira e promovendo o uso de energia limpa.

Nesse sentido, a pesquisa avançou ao identificar a micro e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica como uma alternativa viável para pequenos produtores rurais diversificarem sua renda e promoverem o desenvolvimento regional sustentável. No entanto, reconhece-se que há desafios significativos que ainda impedem o pleno desenvolvimento do modelo de geração distribuída no Brasil. Entre eles, destacam-se barreiras regulatórias, a dificuldade de acesso a financiamento por parte dos agentes financeiros aos pequenos

produtores rurais, a ausência de infraestrutura adequada em áreas remotas e a falta de políticas públicas que garantam a inclusão de comunidades de baixa renda.

Ademais, ausência de uma análise mais aprofundada sobre as dificuldades enfrentadas por iniciativas já existentes, especialmente no que diz respeito ao impacto de legislações recentes e à adaptação tecnológica em contextos rurais se apresentou como limitação do presente estudo. Para superar essas limitações, sugere-se a realização de estudos de caso que considerem diferentes realidades regionais e avaliem os impactos sociais e econômicos em maior detalhe.

Além disso, é necessário fortalecer a articulação entre governo, cooperativas e sociedade civil, não apenas para ampliar o acesso às tecnologias, mas também para promover uma conscientização mais profunda sobre os benefícios da energia solar. Melhorias no modelo GD incluem a simplificação de processos regulatórios, a criação de incentivos fiscais mais robustos e a implementação de programas de capacitação técnica voltados para pequenos produtores rurais.

Para isso, é crucial combinar incentivos governamentais, acesso a financiamentos, e assistência técnica. Além de gerar renda, essa prática fortalece a sustentabilidade econômica e ambiental no campo, promovendo uma transição energética inclusiva. Compreende-se, portanto, que a energia solar fotovoltaica vem se firmando como importante dispositivo de fomento e desenvolvimento regional sustentável. Para melhorar as condições da microgeração de energia fotovoltaica, é necessário atuar em diversos aspectos, incluindo políticas públicas, infraestrutura, financiamento e conscientização.

É fundamental combinar políticas públicas consistentes, econômicas, investimentos em infraestrutura e conscientização popular. A abordagem deve ser integrada, envolvendo governo, empresas, cooperativas e a sociedade civil, para que os benefícios da energia solar sejam acessíveis a uma parcela maior da população, promovendo uma transição energética inclusiva e sustentável. Ainda que seja necessário alterar a legislação na perspectiva de possibilitar por meio de organizações, sua implementação é, para todos os efeitos, benéfica à sociedade. Quer que seja a partir da formação de cooperativas ou de associações de pequenos produtores rurais, de forma que possam comercializar a sua energia, tendo a própria distribuidora como um dos principais clientes, adquirindo a energia gerada por meio desses processos organizacionais, incentivando cooperativas e associações e permitindo a instalação coletiva de sistemas solares, especialmente em comunidades de baixa renda.

Disponibilizar recursos para comunidades de baixa renda instalar sistemas fotovoltaicos, criando fundos ou programas em parceria com instituições financeiras é

primordial, promovendo a inclusão social e energético, especialmente para os pequenos produtores rurais e suas organizações.

Para além dos benefícios supracitados, a micro e minigeração distribuída de energia solar têm um papel central para o desenvolvimento regional sustentável. Elas proporcionam benefícios econômicos, sociais e ambientais de forma descentralizada, empoderando comunidades locais e diminuindo desigualdades. Ao utilizar uma fonte de energia limpa e renovável, essas formas de geração trazidas para o crescimento econômico inclusivo, a criação de empregos, a modernização de infraestruturas e a redução dos impactos ambientais, sendo pilares fundamentais para a transição para um futuro mais sustentável.

Proprietários de sistemas de micro e minigeração podem reduzir seus gastos com energia e, em alguns casos, por meio do sistema cooperativo criado para esta finalidade, ser remunerado pelo excedente de energia injetado na rede de distribuição, gerando uma nova fonte de renda. Regiões menos desenvolvidas, onde o acesso à energia é limitado ou caro, podem se beneficiar significativamente da instalação de sistemas de geração solar distribuída. Em muitos casos, áreas rurais e comunidades remotas enfrentam maiores dificuldades de acesso à rede elétrica convencional. A energia solar, com sistemas de microgeração, oferece uma solução viável e mais acessível para eletrificação de áreas distantes, evitando as desigualdades regionais e sociais.

Com a adoção da micro e minigeração, regiões podem desenvolver infraestruturas tecnológicas e energéticas locais. Isso inclui não apenas o aumento da oferta de energia limpa, mas também a modernização da rede elétrica, que passa a ser mais eficiente e preparada para integrar fontes distribuídas de energia. Esse processo de modernização pode atrair novos investimentos e negócios, incentivando o desenvolvimento de polos industriais e comerciais.

A geração distribuída solar aumenta a segurança energética das regiões ao diversificar a matriz energética e diminuir a vulnerabilidade a oscilações de preços de energia ou interferências inadequadas, como as interferências eletromagnéticas por erro de instalação de sistemas. Com sistemas locais de geração de energia, as regiões se tornam menos dependentes de fatores externos, como mudanças climáticas ou crises não contendo combustíveis fósseis, tornando-se mais resilientes no longo prazo.

A adoção desse tipo de sistema de energia solar estimula a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e do uso de fontes renováveis, influenciando positivamente o comportamento das comunidades em relação ao uso racional de recursos naturais e ao cuidado com o meio ambiente. A geração distribuída ajuda, ainda, a melhorar a resiliência do sistema elétrico.

Em caso de falhas na rede elétrica, os sistemas de energia solar podem continuar fornecendo eletricidade, o que é, particularmente, importante em áreas propensas a interrupções de energia devido a desastres naturais ou outros eventos. Em muitos lugares, os proprietários de sistemas de micro e minigeração distribuída podem compartilhar o excesso de eletricidade gerado com outros consumidores, contribuindo para uma economia de energia local e comunitária.

Além de economizar dinheiro com contas de energia, a instalação de sistemas solares de micro e minigeração distribuída pode aumentar o valor das propriedades e melhorar o retorno sobre o investimento, pois ajuda a aliviar a demanda na rede elétrica, reduz a necessidade de construir megasusinas de geração centralizada adicionais e infraestrutura de transmissão.

A aplicação deste projeto possibilitará que todos, tanto geradores, quanto consumidores de energia renovável possam participar ativamente, onde os geradores passam o excedente gerado para a gestão compartilhada de cooperativa que, por sua vez, faz a gestão e distribuição para consumo dos cooperados que necessitam de energia, passando a um valor reduzido para o cooperado interessado em adquirir a energia, sem que venha a causar prejuízos aos cooperados geradores. Estes passarão a economizar com a conta de energia, uma vez que gera para o consumo próprio e passa a receber uma remuneração justa pela locação de equipamentos de geração de energia para a cooperativa.

O produtor/gerador de energia, receberá um preço justo, atribuído ao valor por kW de energia gerada e pela locação de equipamentos de geração de energia para a cooperativa. O consumidor terá uma energia limpa e sustentável a preço mais atraente, gerado na própria região, promovendo o desenvolvimento local, fortalecendo a cooperação entre as famílias nas diversas regiões do estado e do país.

O debate sobre a microgeração e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil está longe de ser conclusivo. Ao contrário, ele representa o início de uma grande discussão que abrange não só as políticas energéticas, mas também questões sociais, econômicas, ambientais e de governança. Isso se dá porque o cenário brasileiro de energia e desenvolvimento sustentável está em constante transformação, moldado por uma série de fatores interconectados que abrangem economia, tecnologia, meio ambiente e justiça social. Esse diálogo é fundamental para que o Brasil consiga integrar a microgeração de forma eficiente e justa, ao mesmo tempo em que fortalece a sua política ambiental e contribui para um futuro mais sustentável. O desenvolvimento local sustentável, nesse sentido, deve ser visto como um processo contínuo, sempre aberto à inovação, à participação social e à adaptação frente aos desafios futuros.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz elétrica brasileira**. Power BI. Dashboard de análise de dados, Brasília, 2024. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Diário Oficial da União, ANEEL, Brasília, DF, 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 25 jun. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. ANEEL, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sobre bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias/sobre-bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 24 jun. 2024.

ALTVATER, E. O Capitalismo Fóssil e seu Ambiente Social e Natural. **Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, Goiânia, Brasil, v. 3, n. 1, p. 143–164, 2017. DOI: 10.18224/baru.v3i1.5838. Disponível em: <https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/baru/article/view/5838>. Acesso em: 21 nov. 2024.

AMORIM, Margarete C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**. ano 15. Edição especial. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>. Acesso em 20 nov. 2024.

ARAGÃO, Adalberto; CONTINI, Elisio. **O agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf>>. Acesso em 28 jul. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Infográfico sobre o mercado de energia solar fotovoltaica**. ABSOLAR, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 21 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **O que é energia solar fotovoltaica?** ABSOLAR, [20--]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

AVELINO, Lara Pugliesi. **Energia solar fotovoltaica centralizada e distribuída: o caso do Brasil**. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/129418/2/422862.pdf>. Acesso em 12 nov. 2023.

BARTH, T. D. The idea of a green new deal in a Quintuple Helix Model of knowledge, know-how and innovation. **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, 1(2), 1–14. Disponível em: < <https://ideas.repec.org/a/igg/jesd0/v2y2011i1p1-14.html>>. Acesso em 23 jul. 2024.

BRASIL. Constituição da República Federação do Brasil de 1988. Planalto. Brasília, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.google.com/search?q=constitui%C3%A7%C3%A3o+federal&rlz=1C1CHZN_pt. Acesso em 04 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 5.764, de 16 de dezembro de 1971**. Define a Política Nacional de Cooperativismo, institui o regime jurídico das sociedades cooperativas, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [1971]. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5764.htm >. Acesso em: 25 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2002]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110438.htm>. Acesso em: 25 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nºs 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM >. Acesso em: 24 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.512, de 14 de outubro de 2011**. Institui o Programa de Apoio à Conservação Ambiental e o Programa de Fomento às Atividades Produtivas Rurais; altera as Leis nºs 10.696, de 2 de julho de 2003, 10.836, de 9 de janeiro de 2004, e 11.326, de 24 de julho de 2006. Brasília, DF: Presidência da República, [2011]. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112512.htm>. Acesso em: 24 jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2022]. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm >. Acesso em: 22 jun. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Brasília, 2024. **Perguntas frequentes: micro e minigeração distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/micro-e-minigeracao-distribuida#:~:text=A%20microgera%C3%A7%C3%A3o%20distribu%C3%ADa%20%C3>

%A9%20uma,de%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20el%C3%A9trica. Acesso em: 25 jun. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Minerais são protagonistas na construção de placas solares**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/minerais-sao-protagonistas-na-construcao-de-placas-solares>>. Acesso em 21 jun. 2024.

CARAYANNIS, E. G; ALEXANDER, J. M. **Global and local knowledge: glocal transatlantic public-private partnerships for research and technological development**. Houndmills. Londres: Palgrave MacMillan, 2006.

CARAYANNIS, E. G; CAMPBELL, D. F. J. Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and how do knowledge, innovation and the environment relate to each other? A proposed framework for a trans-disciplinary analysis of sustainable development and social ecology. **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, 1(1), 41–69. Disponível em:<<http://www.igi-global.com/bookstore/article.aspx?titleid=41959>>. Acesso em 26 jul. 2024.

CARAYANNIS, E. G; CAMPBELL, D. F. J. Open innovation diplomacy and a 21st century fractal research, education and innovation (FREIE) ecosystem: building on the Quadruple and Quintuple Helix innovation concepts and the “Mode 3” knowledge production system. **Journal of the Knowledge Economy**, 2(3), 327–372. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/d11r223321305579/>>. Acesso em: 24 jul. 2025.

CARAYANNIS, E. G; VON ZEDTWITZ, M. Architecting gloCal (global –local), real-virtual incubator networks (G-RVINs) as catalysts and accelerators of entrepreneurship in transitioning and developing economies. **Technovation**, 25, 95–110. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166497203000725>>. Acesso em 23 jul. 2024.

CARVALHO, P.; MESQUITA, P.; ROCIO, M. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDES Setorial**, v. 40, p. 205– 234, 2014.

CASARIN, Ricardo. **O que é cobrado na conta de luz?** Conheça os componentes da tarifa de energia. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/consumidor/o-que-e-cobrado-na-conta-de-luz-conheca-os-componentes-da-tarifa-de-energia>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

CASARIN, Ricardo. **Energia solar vale a pena em 2024?** Confira valores e o retorno de investimento. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/energia-solar-vale-a-pena-em-2024>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

CASTELLS, Manuel. **Sociedade em rede: do conhecimento à ação política**. Tradução de Roneide Venâncio Majer. v. I, 6. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1999, 770p.

CASTRO, César N. de; PEREIRA, Caroline N. Distribuição espacial da produção agrícola brasileira: uma análise a partir dos dados do Censo Agropecuário 2006. **Texto para Discussão n 2343**. IPEA, Rio de Janeiro, 2017, p. 7-41. Disponível em:

https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2343.pdf. Acesso em: 2 jul. 2024.

CASTRO, Nivalde; DANTAS, Guilherme. **Geração distribuída: experiências internacionais e análises comparadas**. Rio de Janeiro: Publit, 2018. Disponível em: https://agora.ie.ufrj.br/pdf/Nivalde_de_Castro/4.2018_Geracao_Distribuida_Experiencias_Internacionais_e_Analises_Comparadas.pdf. Acesso em 17 nov. 2024.

CHARBONNIER, Pierre. **Abundância e liberdade**. Uma história ambiental das ideias políticas. São Paulo: Boitempo, 2021.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Tradução de Celso Mauro Paciornik. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Cerca de 1 milhão de clientes da Cemig ainda podem aderir à tarifa social e ter desconto de até 65% na conta de energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/release/cerca-de-1-milhao-de-clientes-da-cemig-ainda-podem-aderir-a-tarifa-social-e-ter-desconto-de-ate-65-na-conta-de-energia-eletrica/#:~:text=A%20Cemig%20est%C3%A1%20ampliando%20o,iniziativa%20em%20todo%20o%20estado>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRABALHADORES NA AGRICULTURA - CONTAG. **Anuário da Agricultura Familiar 2023**, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://ww2.contag.org.br/documentos/pdf/17916-696048-anua%CC%81rio-agricultura-2023-web-revisado.pdf>. CONTAG. Disponível em: Acesso em: 20 jul. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, dos empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análises de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 09 set. 2004. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37095>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Normativa nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 08 dez. 2017. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação Normativa nº 225, de 25 de julho de 2018. Dispõe sobre a convocação e a realização de audiências públicas no âmbito dos processos de licenciamento ambiental estadual. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 01 ago. 2018. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=46218>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Normativa nº 235, de 25 de setembro de 2019. Altera o anexo único da Deliberação Normativa nº 217, de 6 de dezembro de 2017. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 28 set. 2017. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49551>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015. Dispõe sobre a isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida por meio da rede de distribuição aos Estados que menciona. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 abr. 2015. Disponível em: http://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15. Acesso em: 24 jun. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA - CONFAZ. Convênio ICMS nº 157, de 10 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a adesão dos Estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo ao Convênio ICMS 16/15, que dispõe sobre a concessão de isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida por meio da rede de distribuição, nos termos que especifica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 dez. 2015. Seção 1, p. 48. Disponível em: http://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv157_15. Acesso em: 24 jun. 2024.

DANTAS, Stefano G.; POMPERMAYER, Fabiano M. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. **Texto para discussão nº 2388**. IPEA, Rio de Janeiro, 2018, p. 1-34. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf. Acesso em: 28 jun. 2024

DESENVOLVIMENTO. *In*: MICHAELIS: **Moderno dicionário da língua portuguesa online**. [São Paulo, SP: Editora Melhoramentos, 2024]. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/desenvolvimento/>. Acesso em: 18 jun. 2024.

DU TERTRE, C.; VUIDEL, P.; PINET, C. Desenvolvimento sustentável dos territórios: a via da economia da funcionalidade e da cooperação. **Revista Horizontes Interdisciplinares da Gestão**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 1-27, 2019.

ECOASSIST. **Como funciona o descarte de painéis solares e quando fazer?** Disponível em: <<https://ecoassist.com.br/descarte-de-paineis-solares-entenda-como-funciona/#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20divulgados,reciclagem%20desses%20materiais%20%C3%A9%20complexa.>>. Acesso em 25 jul. 2024.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (EMATER). **Metodologia participativa de extensão rural**. Mexpar 4.0. Belo Horizonte, Emater (MG), 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos>>. Acesso em 18 jul. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo.**

Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo> >. Acesso em 18 jul. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Plano nacional de energia 2030.** EPE,

Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Relat%C3%B3rio%20final%20PNE%202030.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Balanco energético nacional - BEN 2023.** EPE, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Matriz energética e elétrica.** EPE, Rio

de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 jun. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Mudanças climáticas e transição energética.** EPE, Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_SEGURANCA-EnERGETICA_FINAL.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

ESTEVA, G. The Hour of Autonomy. **Latin American and Caribbean Ethnic Studies**, Londres, v. 10, 2015. p. 134–145.

FERREIRA, Igor; BRITTO, Vinícius. **Em 2021, Brasil tinha 13,2 milhões de microempresendedores individuais (MEIs).** Disponível em:<

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/38044-em-2021-brasil-tinha-13-2-milhoes-de-microempresendedores-individuais-meis>>. Acesso em: 19 jul. 2024.

FIALHO, Sara. **A flexibilização da política ambiental no estado de Minas Gerais: uma análise da Deliberação Normativa Copam nº. 217/2017 e sua repercussão no licenciamento ambiental de empreendimentos minerários.** 2022. Dissertação. (Mestrado em Extensão Rural). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2022.

FREITAS, Alair. A economia do bem viver: uma reflexão para a sociedade pós-pandemia.

NAU Social. v. 12, n. 22, p. 633-649. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/ns.v12i22.37814>. Acesso em 20 nov.2024.

GONZALEZ, Mariana Pedrosa. **O mito do alto custo: uma comparação entre a Energia Solar Fotovoltaica e a Energia Nuclear.** 2010. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2014/04/gonzalez.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

GREENPEACE. **Alvorada**: como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil. Disponível em: https://storage.googleapis.com/planet4-brasil-stateless/2018/07/Relatorio_Alvorada_Greenpeace_Brasil.pdf. Acesso em 08 nov.2024.

HOBBSAWM, Eric. **A era das revoluções**: 1789-1848. Tradução de Maria Yedda Linhares. 19. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2015.

HOBBSAWM, Eric. **Mundos do trabalho**: novos estudos sobre história operária. 6ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 2015.

HUBACK, V. *et al.* Mudanças climáticas e os impactos sobre o setor de energia elétrica: uma revisão da bibliografia. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Estratégico. **Anais [...]**, 10., 2016, Gramado, Rio Grande do Sul. Anais... CBPE: Gramado, 2016. Disponível em: <https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/07_xcbpe0244.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2024.

HUN, Robert. Uma agenda colaborativa de segurança alimentar mundial. Disponível em: <https://www.embrapa.br/olhares-para-2030/artigo/-/asset_publisher/SNN1QE9zUPS2/content/roberto-hun?inheritRedirect=true>. Acesso em 18 jul. 2024.

IMORI, Denise; GUILHOTO, Joaquim. **Eficiência técnica das agropecuárias familiar e patronal – diferenças regionais no Brasil**. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2402820>. Acesso em 23 jul. 2024.

INÁCIO, Raoni de O. *et al.* Desenvolvimento regional sustentável: abordagens para um novo paradigma. **Desenvolvimento em questão**, ano 11, n. 24, set./dez. 2013, p. 6-40.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **Adições de capacidade de eletricidade renovável por tecnologia e segmento, 2016-2028**. IEA, 2024, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-capacity-additions-by-technology-e-segmento-2016-2028>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). **Navegador de dados de estatísticas de energia**. IEA, 2023, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

INSTITUTO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **É da sua conta**. Disponível em: <<https://idec.org.br/edasaconta#:~:text=Pensando%20nisso%2C%20criamos%20a%20campanha,bem%20informado%20sobre%20seus%20direitos.>> Acesso em 29 jul. 2024.

IRENA. **Energia renovável e empregos** - Revisão anual 2020 Agência Internacional de Energia Renovável, Abu Dhabi. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/Key_Findings_Jobs_Review_2020_PT.pdf?la=en&hash=AFF67A19AD9C477A47FCFEC4AC3F37E60E421C01. Acesso em 19 nov. 2024.

KPMG (Inglaterra). **Net Zero Readiness Report 2023**. KPMG, 2024, Londres. Disponível em

https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/br/pdf/2024/01/NetZero_Readiness_Report_2023_Brasil.pdf. Acesso em: 19 jun. 2024.

LAGO, André Aranha Corrêa do. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo**: o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas. Brasília: FUNAG, 2006, 274p.

LIMA, F. P. A. *et al.* **Ecossistemas cooperativos de produção e inovação servicial**: economia da funcionalidade e da cooperação (EFC) e desenvolvimento territorial. In: 18º Seminário de Diamantina sobre a Economia Mineira, 2019, Diamantina. A Crise da mineração e as perspectivas econômicas, sociais e ambientais de Minas Gerais e Brasil. Belo Horizonte: CEDEPLAR, p. 1-15, 2019.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade**: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Editora E-papers, 2008.

MINAS GERAIS. **Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016**. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. Belo Horizonte, MG: Governo do Estado, [2016]. Disponível em:

<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=40095>. Acesso em: 26 jun. 2024.

ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas Brasil. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. ONU BRASIL, (2015). Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs.2015> >. Acesso em: 29 jun. 2024.

ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas Brasil. **FAO**: se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/68525-fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisar%C3%A1-de-60-mais-alimentos-e-40>>. Acesso em 18 jun. 2024.

ONU BRASIL. Organização das Nações Unidas Brasil. **População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022**. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/search?key=popula%C3%A7%C3%A3o%20mundial%20em%202030&page=0> >. Acesso em 18 jun. 2024.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L., RÜTHER, R.; ... SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar** (2a ed.) São José dos Campos, Brasil: INPE, 2017.

PESQUISA quer diminuir colisões de aves com painéis solares. **Fotovolt**. Disponível em: <<https://www.arandanet.com.br/revista/fotovolt/noticia/856-Pesquisa-quer-diminuir-colisoes-de-aves-com-paineis-solares.html>>. Acesso em 23 jun. 2024.

POLICARPO, Mauricio A.; SOUZA, Rita de Cássia M. de. As estratégias da logística contemporânea como instrumento de ordenamento territorial na reconversão em Nord e Pas-de-Calais (França). **CONFINS**, n. 40, 2019.

PORTAL SOLAR. **Energia heliotérmica**: entenda como funciona. Portal Solar, [2014], São Paulo. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-heliotermica-entenda-como-funciona>>. Acesso em: 28 jun. 2024.

PORTAL SOLAR. **Energia solar: como funciona? Entenda em 5 minutos.** Portal Solar, [2014], São Paulo. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-funciona-entenda-em-5-minutos>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

REIS, Pedro Gabriel. **Quanto mais painéis solares maior o desperdício afirma cientistas.** Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/paineis-solares-desperdicio/>>. Acesso em 17 jun. 2024.

RÊGO, G.M.; HOEFLICH, V.A. **Contribuição da pesquisa florestal para um ecossistema em extinção:** floresta atlântica do nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 80p.

SANTOS, Antônio Bispo dos. **A terra dá, a terra quer.** São Paulo: Ubu Editora / Piseagrama, 2023.

SASSI, Christian Reichmann. **Proposta de política de assistência técnica agrícola:** um desafio a técnico e agricultores. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/exatas/article/view/991/3234>>. Acesso em: 23 ago. 2024.

SILVA, Flávio José Rocha da. O conceito de desenvolvimento no pensamento de Arturo Escobar. **Pegada: Revista de Educação, Cultura e Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 170-181, dez. 2016. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/download/4671/3585/16572>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.). **Energia renovável:** hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Efeito fotovoltaico.** Porto Alegre [20--?]. Disponível em: http://penta3.ufrgs.br/fisica/energia/Energia_solar/efeito_fotovoltaico.html. Acesso em: 18 dez. 2024.

VALE. **Vale inicia geração de energia renovável do Sol do Cerrado.** Vale, 2022. Disponível em: <<https://vale.com/pt/w/vale-inicia-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-renov%C3%A1vel-do-sol-do-cerrado#:~:text=O%20empreendimento%20%C3%A9%20um%20dos,consumida%20pela%20Vale%20no%20Brasil>>. Acesso em: 2 jul. 2024.