

# Sistemas Agrivoltaicos no Brasil

## Estudo de potencial e viabilidade técnico-econômicos

*Versão 2.0*



## Informações Legais

### Editor:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
SCN Quadra 1, Bloco C, Sala 1501, Ed. Brasília Trade Center, 70711-902, Brasília-DF, Brazil  
Telefone: +55 61 2101-2170  
E-mail: ger-bra-ep@giz.de  
Website: www.energypartnership.com.br/

### Autores:

Kathlen Schneider, Engenheira Civil, Mestra.  
Laís Vidotto, Engenheira Sanitarista e Ambiental  
Amanda Mendes Ferreira Gomes, Engenheira Eletricista, Mestra.  
Isadora Pauli Custódio, Arquiteta e Urbanista, Mestra, PhD  
Victoria Maschio Chaga  
Rodrigo da Silva Gomes  
Ramom Morato, Engenheiro Agrônomo  
Ricardo Rüther, Engenheiro Metalúrgico, PhD  
Lucas Nascimento, Engenheiro Elétricista, PhD

### Conceito & design:

Gustavo Costa

### Créditos das imagens

Os direitos autorais das respectivas imagens são fornecidos diretamente em cada uma das imagens

### Última atualização:

Maior/2026

### Publicação:

Junho/2026

As contribuições de conteúdo da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), bem como a obra completa, estão sujeitas às respectivas leis de direitos autorais. As contribuições de terceiros estão devidamente marcadas. A reprodução, uso posterior ou distribuição, bem como qualquer outro uso não previsto na legislação de direitos autorais, requer o consentimento por escrito da GIZ. A reprodução parcial desta obra é permitida apenas com a devida citação da fonte.

Este estudo foi elaborado pela GIZ em nome do Ministério Federal da Economia e Energia (BMWE), no âmbito da Parceria Energética Brasil-Alemanha. As conclusões e opiniões expressas são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição do parceiro ou das partes interessadas das Parcerias Climáticas e Energéticas da Alemanha.

Todos os direitos reservados.

### Instituições Parceiras



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



### Organização Implementadora



# Índice

1. Introdução .....	10
2. Tecnologia agrivoltaica: conceito, história e aplicações.....	12
2.1 Conceito e breve histórico.....	12
2.2 Aplicações e tecnologias .....	14
2.3 Modelos de negócios.....	16
3. Estado da arte para sistemas agrivoltaicos em todo o mundo .....	19
3.1 Alemanha.....	20
3.1.1 DIN SPEC 91434 – Definições e categorização .....	20
3.1.2 DIN SPEC 91434 – Proposta agrícola .....	21
3.1.3 DIN SPEC 91434 – Pré-requisitos técnicos e de planejamento para sistemas agrivoltaicos .....	21
3.1.4 DIN SPEC 91434 – Efeitos práticos da norma na Alemanha.....	22
3.1.5 Exemplo de sistema agrivoltaico na Alemanha .....	22
3.2 Itália.....	23
3.2.1 Diretrizes italianas – Definições .....	24
3.2.2 Diretrizes italianas – Categorização.....	24
3.2.3 Exemplo de sistema agrivoltaico na Itália .....	25
3.3 Croácia .....	25
3.4 França .....	25
3.5 China .....	27
3.6 Estados Unidos .....	28
3.7 Coreia do Sul.....	32
3.8 Austrália.....	34
3.9 Espanha.....	34
3.10 Japão .....	35
3.11 Chile.....	36
3.12 Índia.....	37
3.13 Brasil.....	38
3.13.1 Considerações sobre o contexto nacional e internacional regulatório.....	40

4. Sistemas agrivoltaicos no Brasil .....	44
4.1 Sistemas existentes.....	44
4.1.1 Ecolume .....	44
4.1.2 Aldeia Pankará.....	44
4.1.3 UFAL.....	46
4.1.4 Agri Solar Farm .....	47
4.1.5 CCampo.....	47
4.1.6 Cemig, da EPAMIG e CPQD .....	48
4.1.7 Fotovoltaica UFSC e Repsol Brasil.....	48
4.1.8 Beevolt e Introdução de Ovelhas – EDP Brasil .....	49
4.1.9 Vênus Energia + UFCG.....	50
4.1.10 Sistema Agrovoltaico – AgriPV Brasil.....	50
4.1.11 SUNfarming.....	51
4.1.12 Sistema Agrivoltaico de Produção Pecuária .....	52
4.1.13 Considerações sobre os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil.....	52
4.2 Potencial de diferentes produtos agrícolas para sistemas agrivoltaicos no Brasil.....	54
4.2.1 Aspectos socioeconômicos.....	54
4.2.3 Caso da região Norte e da região de Matopiba.....	56
4.2.4 Caso da região Nordeste.....	57
4.2.5 SISOL .....	57
4.2.6 Aspectos do sistema agropecuário.....	58
4.2.7 Agricultura e pecuária.....	58
4.2.8 Disponibilidade de Água e Irrigação .....	61
4.2.9 Aspectos dos sistemas FV fotovoltaicos.....	61
4.3 Modelos de negócios e oportunidades de financiamento para sistemas agrivoltaicos no Brasil.....	63
4.3.1 Possíveis modelos de negócios no contexto brasileiro .....	63
4.3.2 Oportunidades de financiamento existentes para energia solar em terras agrícolas.....	64
4.4 Benefícios e desvantagens dos sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro .....	71
4.4.1 Análise SWOT.....	72
4.4.2 Benefícios .....	73

4.4.3 Desafios .....	73
5. Contexto do estudo de caso .....	74
5.1 Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI) .....	74
5.2 Iniciativas: CSA Manaus e Cesta Verde .....	75
5.3 Projeto de sistema agrivoltaico .....	76
5.4 Análise econômica.....	81
5.4.1 Custos de energia elétrica das famílias e da cozinha industrial.....	81
5.4.2 Potência e produção de energia dos sistemas agrivoltaicos propostos.....	82
5.4.3 CAPEX dos sistemas propostos.....	83
5.4.4 OPEX dos sistemas propostos .....	84
5.4.5 Cenários potenciais de perda de produtividade agrícola e economia de energia elétrica associados ao sistema agrivoltaico.....	84
5.4.6 Indicadores econômicos: VPL, TIR e Período de Payback Descontado .....	85
5.5 Recomendações sobre operação e manutenção.....	85
5.5.1 Diretrizes de manutenção do sistema FV.....	85
5.5.2 Identificação de problemas e tipos de manutenção .....	85
5.6 Conclusões .....	87
6. Conclusões e recomendações sobre o sistema agrivoltaico no contexto brasileiro .....	88
Referências.....	90

# Lista de Figuras

Figura 1 - Primeiros modelos agrivoltaicos. © Goetzberger e Zastrow (a), A. Nagashima (b) .....	12
Figura 2 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em nachtwey, Alemanha.....	13
Figura 3 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em nachtwey (2), Alemanha .....	13
Figura 4 - Um agricultor realizando a colheita de arroz com um sistema agrivoltaico logo acima da plantação de arroz na vila de Gidong, Coreia do Sul.....	14
Figura 5 - Tipos de sistemas agrivoltaicos .....	15
Figura 6 - Projeto conceitual de um sistema de captação da água da chuva com cisterna de armazenamento .....	16
Figura 7 - Módulos FV bifaciais que servem como cercado para o gado .....	16
Figura 8 - Sistema fotovoltaico vertical associado a estufas .....	16
Figura 9 - Local de pesquisa de sistemas agrivoltaicos com módulos FV monofaciais, translúcidos e bifaciais.....	16
Figura 10 - Custos típicos de instalação de sistemas FV comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos .....	17
Figura 11 - Visão geral das políticas que viabilizam os agrivoltaicos nos Estados-Membros europeus.....	19
Figura 12 - Representação da Categoria 1 .....	20
Figura 13 - Representação da Categoria 2.....	21
Figura 14 - Projeto Heggelbach construído em 2016.....	22
Figura 15 - O uso combinado da terra para o sistema agrivoltaico e o cultivo de batata aumentou, para 186%, a eficiência no uso da terra no local de teste de Heggelbach .....	23
Figura 16 - Sistema agrivoltaico Tützpätz.....	23
Figura 17 - Sistema agrivoltaico com cidras na fazenda da família Lancellotta.....	25
Figura 18 - Sistema agrivoltaico da Sun'R na França .....	26
Figura 19 - Projeto agrivoltaico no vinhedo do Domaine de Nidolères (Pirenéus Orientais).....	27
Figura 20 - Os maiores sistemas agrivoltaicos existentes, com plantação de goji berries na China.....	28
Figura 21 - Os 5 C's para o sucesso de um projeto agrivoltaico .....	29
Figura 22 - Fazenda agrivoltaica para atrair espécies polinizadoras, tais como abelhas, mamangavas e borboletas .....	31
Figura 23 - Colheita abaixo do sistema agrivoltaico no Jack's Solar Garden .....	31
Figura 24 - Uma agricultora trabalha na colheita no Jack's Solar Garden.....	32
Figura 25 - Projeto agrivoltaico da Grafton Solar .....	32
Figura 26 - Áreas rurais com sistema FV agrícola promovidas pela Q CELLS no vilarejo de Gwandang, em Namhae.....	33

Figura 27 – Informações sobre a estrutura agrivoltaica para esse experimento (A) e foto do cultivo em crescimento sob o módulo FV (B).....	33
Figura 28 – Ovelhas desfrutam da sombra dos módulos FV no sistema da Gatton Solar Farm, na Universidade de Queensland (créditos da foto: Sarah Haskmann).....	34
Figura 29 – Primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão .....	36
Figura 30 – Projetos Piloto no Chile .....	37
Figura 31 – Percentagem da população com carência de acesso à eletricidade por unidade federativa (2022).....	38
Figura 32 – Sistema agrivoltaico proposto no projeto Ecolume.....	44
Figura 33 – Sistema agrivoltaico e montagem do sistema aquapônico abaixo dos módulos.....	44
Figura 34 – Representantes da aldeia Pankará e do Centro Cultural Brasil-Alemanha na área do projeto .....	45
Figura 35 – Plantação de melão no sistema agrivoltaico.....	45
Figura 36 – Vista aérea do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da UFAL .....	46
Figura 37 – Sistema agrivoltaico com sete estruturas de módulos FV .....	46
Figura 38 – Área em que o sistema foi instalado, com a plantação de cana-de-açúcar.....	46
Figura 39 – Um dos sistemas piloto da Agri Solar Farm.....	47
Figura 40 – Membros da CCampo, OCB e Fotovoltaica/UFSC na frente do sistema agrivoltaico em construção e cooperados realizando o plantio na área de controle próxima à central .....	48
Figura 41 – Vista aérea sistema agrivoltaico Fotovoltaica/UFSC e Repsol.....	49
Figura 42 – Sistema agrivoltaico Fotovoltaica/UFSC e Repsol.....	49
Figura 43 – Ovelhas na Usina Pereira Barreto da EDP Brasil.....	50
Figura 44 – Agri-PV System .....	51
Figura 45 – Sistema com soja (esquerda) e sistema com braquiárias (direita).....	51
Figura 46 – Sistema da SUNfarming.....	52
Figura 47 – Sistema agrivoltaico de Produção Pecuária .....	52
Figura 48 – Percentual de estabelecimentos classificados como agricultura familiar em relação ao número total de estabelecimentos, por municípios - 2017 .....	55
Figura 49 – Delimitação proposta para a região do Matopiba .....	56
Figura 50 – Pesquisa do sistema agrivoltaico da Universidade de Purdue sobre plantações de soja e milho .....	59
Figura 51 – Níveis de Irradiância Solar por região .....	62
Figura 52 – Potencial de geração FV em rendimento energético anual (kWh/kWp.ano).....	63
Figura 53 – Local do estudo de caso – Associação APOI .....	74
Figura 54 – Produção de safras das famílias da APOI.....	75

Figura 55 – Mulher agricultora da Associação APOI.....	75
Figura 56 – Modelo operacional da APOI.....	76
Figura 57 – Local do sistema agrivoltaico elevado.....	77
Figura 58 – Localização da casa de vegetação agrivoltaica.....	77
Figura 59 – Casa de vegetação agrivoltaica.....	78
Figura 60 – Projeto de sistema agrivoltaico elevado.....	78
Figura 61 – Gráfico de consumo de energia e produção de energia por mês.....	82
Figura 62 – Custos típicos de instalação de sistemas FV comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos.....	83
Figura 63 – Exemplo de módulos FV sujos e módulos limpos.....	86
Figura 64 – Módulos FV bifaciais instalados verticalmente para aplicações como cercas.....	88

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Configurações de diferentes modelos de negócios agrivoltaicos.....	17
Tabela 2 – Resumo das estruturas regulatórias internacionais.....	41
Tabela 3 – Tabela de resumo dos projetos agrivoltaicos identificados no Brasil.....	53
Tabela 4 – Condições da linha PRONAF Bioeconomia para financiamento de tecnologias de energia renovável.....	65
Tabela 5 – Condições da linha PRONAF Agroindústria .....	66
Tabela 6 – Condições da linha de crédito do PRONAMP .....	66
Tabela 7 – Condições de financiamento do INOVAGRO.....	67
Tabela 8 – Financiamento das condições do PROIRRIGA.....	67
Tabela 9 – Condições de financiamento do PRODECOOP.....	68
Tabela 10 – Condições de financiamento do FNE SOL para produtores rurais .....	69
Tabela 11 – Condições de financiamento da FNO Rural Verde para projetos de energia renovável .....	70
Tabela 12 – Condições de financiamento da FCO Rural para projetos de energia renovável .....	70
Tabela 13 – Condições de financiamento do BNDES FINAME Baixo Carbono.....	71
Tabela 14 – Análise SWOT da tecnologia agrivoltaica no Brasil.....	72
Tabela 15 – Características do módulo FV.....	77
Tabela 16 – Características do sistema .....	77
Tabela 17 – Análise de sombreamento .....	79
Tabela 18 – Produção de energia esperada.....	81
Tabela 19 – Rendimento Diário Simulado .....	81
Tabela 20 – Consumo médio de energia das quatro famílias .....	81
Tabela 21 – Consumo médio de energia da cozinha industrial.....	82
Tabela 22 – Consumo médio de energia da cozinha industrial .....	83
Tabela 23 – Custo estimado de sistemas agrivoltaicos elevados .....	84
Tabela 24 – CAPEX das diferentes configurações de sistema FV propostas.....	84
Tabela 25 – Cenários de perda de produtividade e economia de energia.....	85
Tabela 26 – VPL, TIR e período de payback descontado.....	85

# 1. Introdução

**O Brasil é um território continental que apresenta uma riqueza ambiental, sendo composto por exuberantes e diversas fauna e flora, abrigando mais de 5 milhões de km<sup>2</sup> de floresta amazônica e muitos outros biomas locais, tais como o Cerrado, o Pantanal, a Caatinga e a Mata Atlântica. A diversidade e a riqueza mencionadas são refletidas na cultura e na identidade brasileiras, representando a incontestável promessa de pesquisas futuras sobre a exploração da conservação da biodiversidade para o bem de todos.**

Por outro lado, o Brasil também é uma das sociedades mais desiguais e excludentes, com uma estrutura rural centrada na indústria de agronegócios de larga escala e padrões difusos de urbanização, que resultam em muitos brasileiros vivendo sem usufruir dos direitos de acesso adequado a recursos, à infraestrutura e a serviços comuns [1]. Nesse contexto, para muitos de seus habitantes, o Brasil é um lugar de insegurança alimentar e de pobreza energética, fenômenos que afetam mais intensamente populações rurais e grupos marginalizados que vivem em comunidades vulneráveis.

Apesar de ser um dos maiores produtores de alimentos do mundo, tendo a agricultura de grande escala como a base de sua economia, o Brasil esteve recentemente no Mapa da Fome da ONU [2], do qual saiu na metade de 2025 [3]. Segundo pesquisa realizada em 2024 aproximadamente 19 milhões de domicílios brasileiros enfrentam algum nível de insegurança alimentar, com os mais graves níveis afetando população nas regiões Norte e Nordeste e as áreas rurais [4].

Um aspecto relevante do contexto brasileiro é que as monoculturas e a indústria do agronegócio estão entre os principais impulsionadores do desmatamento da Amazônia e do aumento do uso de agrotóxicos no Brasil. Desde 2019, o uso disseminado de agrotóxicos no Brasil está crescendo em um ritmo acelerado [5]. Além disso, é possível observar que o atual modelo de agronegócio brasileiro não leva em consideração a riqueza e a biodiversidade do País.

Outro desafio enfrentado pelas áreas rurais brasileiras e pelos grupos vulneráveis é o acesso precário a serviços confiáveis e sustentáveis de energia. A energia é um componente essencial de todos os sistemas sociais econômicos, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento sustentável global. A falta de acesso a serviços de energia e a qualidade precária desses mesmos serviços são fatores que levam a processos de exclusão social e impedem o desenvolvimento de comunidades com essas características [6]. Apesar de o Brasil apresentar excelentes recursos de radiação solar [7], a pobreza energética ainda está presente no contexto nacional, e afeta principalmente comunidades isoladas em áreas rurais e áreas urbanas densamente povoadas, marcadas principalmente, pela pobreza e pela pouca infraestrutura [6].

Através da plataforma do Observatório Brasileiro de Pobreza Energética (OBEPE), lançada em 2025, é possível obter números de pobreza energética conforme diferentes fontes e indicadores. Com base nas informações da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2018 do IBGE, 19,8% dos lares brasileiros encontram-se em situação de pobreza energética, de acordo com o indicador que considera todos os domicílios cujo consumo de energia elétrica (em kWh) é classificado como insuficiente, ou seja, inferior à metade da mediana nacional de consumo por domicílio [8]. Entre os resultados observados, destaca-se que os cinco estados com os maiores percentuais de pobreza energética neste quesito concentram-se predominantemente nas regiões Nordeste e Norte do país, evidenciando novamente fortes desigualdades regionais no acesso adequado à energia elétrica.

A tecnologia solar fotovoltaica (FV) é considerada uma das principais soluções para combater as mudanças climáticas, e tem crescido significativamente na última década. De acordo com o relatório *Snapshot of Global PV Markets 2025* emitido pela Agência Internacional de Energia (IEA), a capacidade instalada FV chegou a quase 2,2 TW até o fim de 2024 [9]. Apesar de ser uma fonte renovável e de baixo impacto ambiental, quando comparada a energia eólica e combustíveis fósseis, usinas solares demandam uma área considerável, o que torna desafiadora a busca por locais adequados para grandes instalações FV [10]. Para abordar essa problemática, uma solução envolve integrar sistemas FV em várias áreas de atividades humanas, incluindo edifícios (BIPV, do inglês *Building-Integrated Photovoltaics*), lagos (usina FV flutuante) e uso de terras para fins de agricultura (sistema agrivoltaico) [10].

Nesse contexto, o uso combinado de terras para agricultura e geração de energia solar tem o potencial para se tornar uma poderosa ferramenta de superação dos desafios mencionados acima. Sistemas agrivoltaicos geram energia renovável sem desviar as áreas de terras destinadas à produção de alimentos [11]. Essa tecnologia também possui o promissor potencial de se tornar uma ferramenta resiliente para enfrentamento das mudanças climáticas. Os sistemas agrivoltaicos podem oferecer proteção ao solo contra radiação solar excessiva, calor e seca [12]. Assim, sistemas agrivoltaicos podem trazer benefícios para as

atividades de pastagem ao criarem um microclima de resfriamento e proporcionando abrigo do sol, do vento e de predadores para a pecuária.

Este relatório tem como objetivo apresentar informações detalhadas sobre a tecnologia agrivoltaica, incluindo aplicações ao longo da história, evoluções regulatórias ao redor do mundo, bem como as diferentes aplicações em nível global. Também inclui uma visão geral específica do País, apresentando os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil, o potencial da tecnologia considerando a diversidade regional do País, os potenciais benefícios e desvantagens e as recomendações para o desenvolvimento da tecnologia no contexto brasileiro.

## 2. Tecnologia agrivoltaica: conceito, história e aplicações

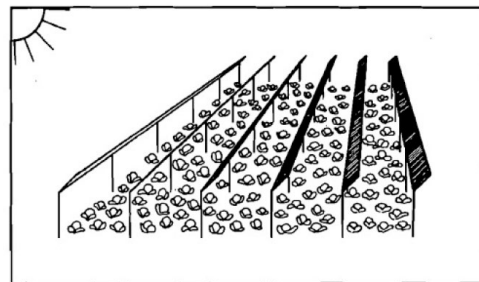
Este capítulo abordará uma visão geral dos sistemas agrivoltaicos, incluindo aplicações históricas e atuais em nível global. Além disso, conterá uma explicação das diferentes configurações dos sistemas agrivoltaicos, bem como os vários projetos e tecnologias de componentes que estão atualmente no mercado.

### 2.1 Conceito e breve histórico

Um sistema agrivoltaico pode ser definido como uma tecnologia que visa o uso simultâneo de terrenos para a agricultura e a geração de energia FV [13]. O sistema agrivoltaico pode aumentar a eficiência do uso da terra, apresentar estruturas de suporte adaptadas e pode ser implementado em associação a várias safras. O sistema agrivoltaico está em rápida ascensão, mas definições e projetos padrão ainda estão ausentes em muitos estados e países. Os sistemas podem ser chamados de diversas formas, tais como “uso combinado”, “co-localização”, “Agri-PV”, “Agro-PV”, “agrivoltaico”, “agri-solar”, “energia solar compartilhada” ou “energia solar amigável a espécies polinizadoras”, dependendo da região e das aplicações específicas ao redor do mundo [14]. No presente documento, o termo “agrivoltaico” foi selecionado devido ao seu uso disseminado e por ser utilizado nas principais referências utilizadas para o estudo, tais como a publicação “*Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*” pelo Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) na Alemanha [12].

A tecnologia agrivoltaica foi mencionada academicamente pela primeira vez em 1981, pelo professor Adolf Goetzberger, o fundador do Fraunhofer ISE, e seu colega Armin Zastrow, em uma publicação na revista *Solar Energy* [13]. O artigo intitulado “*On the coexistence of solar energy conversion and plant cultivation*” (sobre a coexistência da conversão de energia solar e o cultivo de plantas) serviu como o passo inicial para a criação do conceito de sistemas agrivoltaicos. No entanto, esse conceito permaneceu por muitos anos esquecido, até o primeiro sistema ter sido criado em 2004, construído no Japão por Akira Nagashima, que se referiu ao modelo como “energia solar compartilhada” [15]. Ambos os modelos agrivoltaicos mencionados são mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Primeiros modelos agrivoltaicos. © Goetzberger e Zastrow (a), A. Nagashima (b)



(a) Conceitualização elaborada por Goetzberger e Zastrow (1981)



(b) Primeiro modelo desenvolvido por Akira Nagashima no Japão (2004)

Fonte: [15]

Desde então, sistemas agrivoltaicos têm crescido rapidamente na Europa, na Ásia e nos Estados Unidos [10]. Esses sistemas existem em várias escalas, de pequenas configurações para agricultura familiar até instalações em larga escala.

Dentro do contexto internacional, há um potencial significativo para sistemas agrivoltaicos de pequena escala, os quais podem proporcionar benefícios sociais notáveis às famílias envolvidas. Países como o Japão, a Itália e a Coreia do Sul, nos quais a disponibilidade de terras é limitada, considerando a proporção com as suas populações, já estão investindo em sistemas agrivoltaicos para diversificar as fontes de renda no setor agropecuário [10].

A Alemanha é um dos países pioneiros no desenvolvimento da tecnologia agrivoltaica (Figura 2 e Figura 3). Em termos de pesquisa, o país hospeda vários projetos que fornecem dados para o aperfeiçoamento contínuo da tecnologia. Além disso, a Alemanha se destaca na criação de diretrizes técnicas para sistemas agrivoltaicos. O *Fraunhofer ISE* e a Universidade de *Hohenheim* realizaram uma colaboração com o Instituto Alemão para Normatização (DIN) e outros parceiros para desenvolver o padrão DIN SPEC 91434 [16]. Publicado em maio de 2021, este documento intitulado “*Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use*” [Sistemas agrifotovoltaicos - requisitos para uso inicial na agricultura] visa estabelecer um método de testes para sistemas agrivoltaicos. Ele tem como objetivo fornecer procedimentos padronizados de medição agrivoltaica para relatórios e documentação para órgãos legislativos, financeiros e autoridades de aprovação, bem como para estágios pós-teste e certificação por especialistas e organizações de certificação.

**Figura 2 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em *nachtwey*, Alemanha**



Fonte: [10]

**Figura 3 - Sistema agrivoltaico com frutas orgânicas em *nachtwey* (2), Alemanha**



Fonte: [10]

Considerando o contexto de mudanças climáticas, o crescimento populacional e o aumento da demanda por energia elétrica, é esperado que a tecnologia FV continue a se expandir e obter cada vez mais protagonismo na matriz energética global. No entanto, há também uma necessidade crescente de produção de alimentos, levando à competição por terra e espaço, especialmente em áreas densamente povoadas. Como os sistemas FV convencionais podem ocupar áreas significativas de terra, a tecnologia agrivoltaica emerge como uma alternativa crucial para o uso eficiente da terra [15].

O uso combinado de terras para a produção de alimentos e a geração de energia pode oferecer várias vantagens para ambas as finalidades, indo além da maior eficiência de uso do solo [8], tais como:

- Os sistemas agrivoltaicos podem reduzir a necessidade de irrigação devido à redução de evapotranspiração, além de também haver a possibilidade de coleta de água da chuva para fins de irrigação;
- A presença de estruturas de instalação FV pode atuar como ser um apoio para instalação de proteção ou escudo para as safras, reduzindo o impacto da erosão eólica ou presença de insetos e animais;
- Redução do uso de agrotóxicos e antifúngicos devido a uma proteção mais aprimorada das plantas;
- Fornecimento de sombra ou proteção para intempéries;
- Alguns sistemas agrivoltaicos utilizam a tecnologia do rastreadores / *trackers* para otimizar a disponibilidade de luz para as safras, o que pode aprimorar as condições para crescimento das plantas;
- Sistemas agrivoltaicos podem gerar um melhor resfriamento de módulos FV, o que pode resultar em aumento da eficiência de geração de energia;
- O desenho e a configuração de sistemas agrivoltaicos podem aprimorar a eficiência dos módulos bifaciais, que têm a capacidade de gerar energia por ambos os lados.

Além dos benefícios técnicos que podem resultar em um grande aumento na geração de energia e na produção de alimentos, a tecnologia agrivoltaica também pode gerar vantagens sociais e econômicas aos agricultores. Esses sistemas fornecem maior autonomia energética para a agricultura familiar (Figura 4) e oferecem o potencial de diversificação de renda por meio da venda de excedentes de energia (ou geração de créditos e seu compartilhamento). No Japão e na Coreia do Sul, por exemplo, a implementação de projetos agrivoltaicos tem sido direcionada por um foco em benefícios sociais para agricultores e comunidades rurais. No Japão, a tecnologia foi introduzida para o enfrentamento dos desafios do declínio populacional em áreas rurais e da redução de renda advinda de cenários do agropecuário, especialmente após a catástrofe de *Fukushima*, que resultou na contaminação de safras agrícolas [17].

**Figura 4 - Um agricultor realizando a colheita de arroz com um sistema agrivoltaico logo acima da plantação de arroz na vila de Gidong, Coreia do Sul**



Fonte: [18]

No caso dos países mencionados acima, por meio da integração do uso combinado de energia FV, agricultores podem gerar rendas alternativas da venda de energia FV, ao mesmo tempo em que preservam as terras cultivadas abaixo das instalações agrivoltaicas para um possível uso futuro para fins agropecuários. Tanto o Japão quanto a Coreia do Sul têm criado regulamentos para incentivar a participação local, assegurando, assim, uma distribuição descentralizada e igualitária de projetos agrivoltaicos [17]. Na Coreia do Sul, por exemplo, o governo planejava instalar, até 2030, 100.000 sistemas agrivoltaicos em fazendas, para assim proporcionar uma segurança de aposentadoria para agricultores; será fornecido a eles uma renda mensal de aproximadamente 1.000 dólares dos EUA graças às vendas de energia elétrica [10]. O foco do Japão e da Coreia do Sul em projetos de menor escala beneficia os agricultores e as comunidades locais, fomentando a resiliência econômica e o uso sustentável das terras [17].

Para assegurar os benefícios da adoção da tecnologia agrivoltaica, é essencial que todas as etapas do planejamento, do projeto e da instalação dos sistemas sejam realizados adequadamente. No Brasil, a tecnologia ainda está na fase piloto de implementação e, nos próximos anos, será crucial realizar mais estudos sobre a adequação da tecnologia em relação às condições climáticas e às safras locais. Além disso, esses estudos e insights obtidos com projetos pilotos são fundamentais para o desenvolvimento de estruturas de diretrizes e/ou regulamentos nacionais que direcionarão o desenvolvimento de sistemas agrivoltaicos.

Em diversos países foi observado um declínio na credibilidade dos sistemas agrivoltaicos devido a existência de projetos que obtiveram subsídios / incentivos porém a produção agrícola foi deixada de lado. Por exemplo, de acordo com o relatório do

*Fraunhofer ISE* [19], não foram definidos critérios claros para os sistemas agrivoltaicos na primeira rodada de licitações na França, e a participação da produção agrícola acabou sendo muito baixa ou mesmo não existente em alguns projetos. Esse resultado resultou em certa resistência com relação aos sistemas agrivoltaicos no país, especialmente dentro do setor agropecuário. Conseqüentemente, em 2021, normas para a instalação desses sistemas foram desenvolvidas e publicadas pela Agência de Gestão de Energia e do Meio Ambiente da França (ADEME) [20] e nos anos seguintes a estruturação nacional evoluiu consideravelmente.

Outro desafio enfrentado para a implementação da tecnologia é a falta de profissionais qualificados para planejar e instalar projetos no mercado brasileiro. A tecnologia ainda é nova para empresas voltadas à energia FV e até mesmo instituições de ensino, com oportunidades limitadas de cursos disponíveis para profissionais do setor de energia. Além disso, apenas ter conhecimento sobre sistemas FV não é suficiente para o desenvolvimento de um projeto agrivoltaico bem-sucedido. Conforme indicado em guias técnicos, tais como “*Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use*” (DIN SPEC 91434) da Alemanha e “*Guidelines for The Design, Construction, and Operation of Agrovoltaic Plants*” [21] da Itália, a presença de equipes multidisciplinares é crucial para o planejamento, a manutenção e o monitoramento desses sistemas.

## 2.2 Aplicações e tecnologias

De acordo com *Macknick* [14], sistemas agrivoltaicos podem ser categorizados em duas configurações principais: (1) sistemas elevados com produção de safras embaixo de módulos FV e (2) sistemas inferiores com a safra crescendo entre fileiras de módulos FV. Portanto, os sistemas

agrivoltaicos também proporcionam versatilidade, com opções que vão desde configurações mais baixas, permitindo o cultivo da safra entre fileiras de módulos, até estruturas mais altas, acima de 5 metros de altura, o que permite a passagem de maquinário agrícola abaixo dos módulos FV. Essas estruturas podem ser fixas ou equipadas com sistemas de rastreamento de eixo único ou duplo para otimizar a geração de energia.

Em termos de aplicações (Figura 5), as categorias principais incluem [14]:

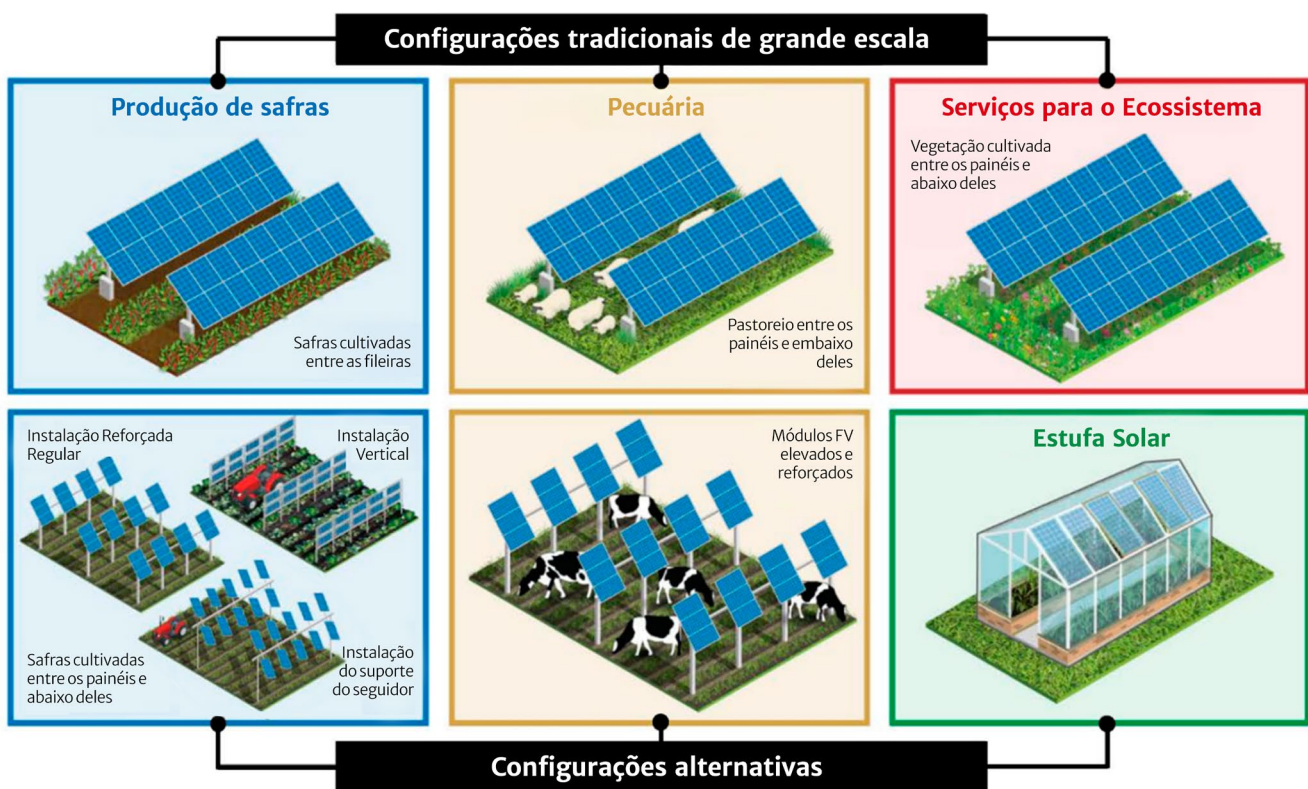
(1) Produção de safras e alimentos: cultivo abaixo ou entre fileiras de módulos FV;

(2) Produção pecuária: pastagem abaixo ou nas proximidades dos sistemas, proporcionando conforto térmico através de sombreamento;

(3) Fornecimento de serviços ecossistêmicos por meio do manejo da vegetação: criando habitats para espécies polinizadoras, formação do solo, manutenção da biodiversidade e sequestro de carbono;

(4) Estufas solares: módulos FV instalados acima de estufas, utilizando a estrutura da estufa para a instalação do módulo e oferecendo sombreamento parcial.

Figura 5 - Tipos de sistemas agrivoltaicos



Fonte: [14]

Além disso, algumas configurações são projetadas para aplicações específicas, tais como os módulos verticais bifaciais ou estruturas distribuídas de forma a facilitar a coleta da água da chuva (Figura 6). Os sistemas verticais são mais econômicos em comparação com o sistema agrivoltaico elevado, devido à subestrutura mais baixa, mas também oferecem menos opções de gerenciamento da iluminação. Uma vantagem dos sistemas interespaciais verticais poderia ser uma redução na velocidade do vento, o que tem um efeito positivo na redução da evaporação das safras [10]. O sistema agrivoltaico vertical pode substituir cercas para a agropecuária e proteger as áreas de pastagem (Figura 7).

Outra aplicação interessante do sistema agrivoltaico vertical é a associação com estufas, o que aumenta o albedo da estufa, para assim aumentar a produção de energia elétrica (Figura 8). Esse projeto piloto foi instalado em uma fazenda no Colorado, EUA, o projeto e a simulação foram desenvolvidos pela empresa Sandbox Solar, com seu *software SPADE Agrivoltaic*<sup>1</sup>. Os períodos de pico para a geração de energia do projeto ocorrem entre às 9 e às 14 horas, com uma geração maior de energia em horários nos quais a geração solar é geralmente mais baixa [22].

1 <https://spadesolar.com/>

**Figura 6 - Projeto conceitual de um sistema de captação da água da chuva com cisterna de armazenamento**



Fonte: [10]

**Figura 7 - Módulos FV bifaciais que servem como cercado para o gado**



Fonte: [132]

**Figura 8 - Sistema fotovoltaico vertical associado a estufas**



Fonte: [133]

Outra aplicação experimental se refere aos módulos FV móveis. Em abril de 2022, um consórcio holandês constituído por Npk Design, L'orèl Consultancy e LTO Noord anunciou a criação de um sistema agrivoltaico móvel chamado de *H2arvester*. Esse sistema compreende 168 módulos FV e um sistema de irrigação, com capacidade de fornecimento de água para as áreas circunvizinhas. As tecnologias de módulos FV possuem uma ampla faixa de opções de uso. Determinadas tecnologias, em particular aquelas com transparência ou *backsheet* transparente, oferecem vantagens por permitir mais luz através do módulo FV

(Figura 9), o que pode beneficiar significativamente o cultivo agrícola. Além disso, módulos FV bifaciais podem utilizar valores de albedo aumentados [10].

**Figura 9 - Local de pesquisa de sistemas agrivoltaicos com módulos FV monofaciais, translúcidos e bifaciais**



Fonte: [14]

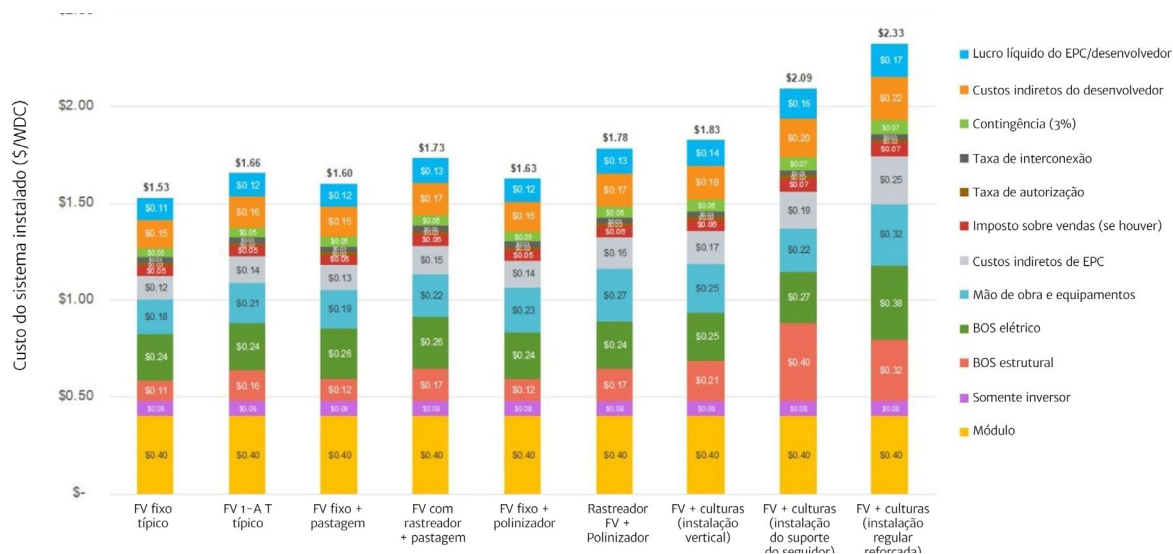
Os modelos especializados de módulos FV foram especificamente desenvolvidos para aplicações agrivoltaicas, como módulos com maior espaçamento entre as células. Essa adaptabilidade em aplicações e tecnologias inovadoras contribui para o crescimento e a implementação contínuas das tecnologias agrivoltaicas em todo o mundo.

### 2.3 Modelos de negócios

Sistemas agrivoltaicos podem exigir altos custos, em comparação com sistemas FV convencionais. De acordo com o Relatório do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), “*Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for Ground-Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops*”, os custos de sistemas agrivoltaicos reforçados elevados podem ser até 52% maiores do que os de um sistema FV fixo convencional (Figura 10) [23].

Os sistemas agrivoltaicos podem ser totalmente financiados pelos próprios agricultores, que também são beneficiários do sistema, mas outras partes interessadas também podem se envolver com o modelo de negócios, com quatro áreas principais abordadas: (1) propriedade da terra; (2) gestão de terras agrícolas; (3) propriedade/ investimento do sistema FV e (4) operação do sistema FV [10].

**Figura 10 - Custos típicos de instalação de sistemas FV comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos**



Fonte: [23]

Além de quatro áreas diferentes, também há quatro principais modelos de negócio [10].

- **Caso base:** a primeira seria a mais simples, na qual todas as quatro áreas poderiam ser de responsabilidade do mesmo ator, geralmente uma fazenda. Uma vantagem é o fato de que os custos de planejamento do projeto e a complexidade das negociações de contrato são menores;
- **Terra de propriedade externa:** nesse modelo de negócios, a terra é arrendada de uma parte interessada externa e as outras três áreas ficam sob a responsabilidade da fazenda. Essa situação exigiria um contrato de arrendamento da terra de longo prazo, como no caso de projetos FV instalados no solo;
- **Investimento externo para sistemas FV:** para grandes sistemas FV, um investimento externo para os sistemas FV é mais comum do que para sistemas pequenos. Esse

modelo de negócios tem o potencial para economias de escala e otimização, graças à maior divisão de trabalho;

- **Responsabilidades compartilhadas:** Nesse modelo, há uma mistura de players envolvidos no sistema agrivoltaico. A propriedade da terra, a propriedade do sistema FV e a operação da fazenda e do sistema FV são de responsabilidade de diferentes partes, o que pode aumentar a complexidade do projeto. Este modelo também pode atuar associado a cooperativas para investirem coletivamente.

Dessa forma, os sistemas podem ser financiados com fundos próprios e ser de propriedade individual, ou podem ser operados parcialmente com arrendamento da terra para a instalação do sistema por um investidor terceiro, por exemplo. As diferentes configurações dos modelos de negócios para sistemas agrivoltaicos, com os diferentes atores e funções, são exibidas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Configurações de diferentes modelos de negócios agrivoltaicos**

Modelo de negócios	Função			
	Fornecimento de terras	Gerenciamento agrícola	Fornecimento do sistema FV	Operação do sistema FV
1. Caso base	Fazenda			
2. Terra de propriedade externa	Proprietários de terras	Fazenda		
3. Investimento externo para sistemas fotovoltaicos	Fazenda		Investidores	Fazenda
4. Apenas cultivo e operação	Proprietários de terras	Fazenda	Investidores	Fazenda
5. Apenas cultivo	Proprietários de terras	Fazenda	Investidores	Operadores FV

Fonte: Adaptado pelos autores de [10]

Na prática do mercado internacional, as configurações de propriedade e operação descritas acima têm se consolidado em abordagens específicas que mitigam os altos custos iniciais (CAPEX) e os riscos técnicos para os produtores rurais. Destacam-se os seguintes modelos práticos (com base em [24] e [25]):

- **Modelo de Operação Própria (Propriedade do Agricultor):** O agricultor ou a fazenda investe no sistema e o gerencia integralmente, utilizando a eletricidade para autoconsumo ou vendendo-a para a rede (quando possível). Embora maximize o controle e os lucros, exige um alto capital inicial e capacidade de obtenção de crédito por parte do produtor.
- **Modelo de Arrendamento (Propriedade do Desenvolvedor):** Um investidor ou empresa de energia arrenda a terra agrícola para instalar e operar o sistema agrivoltaico. O agricultor mantém o controle sobre o cultivo agrícola e recebe pagamentos fixos pelo arrendamento do espaço aéreo ou do solo, o que garante uma fonte de renda estável e reduz a sua exposição a riscos financeiros e flutuações de mercado.
- **Modelo Comunitário e Organizações de Produtores (Cooperativas):** Agricultores unem suas terras e recursos para formar uma organização coletiva que gerenciará o projeto agrivoltaico. Esse modelo divide os riscos financeiros e responsabilidades operacionais, permitindo que pequenos e médios agricultores acessem a tecnologia por meio de economias de escala. Um exemplo de sucesso de arranjo comunitário ocorre na Mongólia Interior (China), onde projetos de pastoreio

agrivoltaico combinam investimentos do governo e de pastores locais, e a cooperativa da vila arrenda a terra para a empresa operadora, gerando dividendos (retornos anuais) diretamente para os produtores que atuam como acionistas do projeto [26].

Além disso, há diversos outros projetos desenvolvidos por meio de modelos de cooperativa, nos quais tanto o investimento quanto os benefícios da geração de energia poderão ser compartilhados entre os agricultores que participam da iniciativa. Dentre os exemplos existentes tem-se:

- A Comunidade solar park, em Aasen, na Alemanha, construída com módulos verticais em parceria com a cooperativa de energia *Solverde Bürgerkraftwerke Energiegenossenschaft*, em 2020 [10];
- A *Gidong Village Power Plant*, na Coreia do Sul, que tem parceria com uma cooperativa social de moradores locais para “energia solar compartilhada”, composta em sua maioria por idosos que não podem mais trabalhar no campo [18];
- O projeto *Enerjisa’s* em parceria com a cooperativa agrícola *Komşuköy*, na Turquia, que é o primeiro projeto piloto agrivoltaico do país [27];
- O projeto de Cooperativa Agrícola CCampo, em Santarém - PA, Brasil. Esse projeto em escala piloto foi conduzido com o apoio da German Cooperative and Raifleisen Confederation (DGRV), do Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB) e do Laboratório de Pesquisa em Energia Solar na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 3. Estado da arte para sistemas agrivoltaicos em todo o mundo

A tecnologia agrivoltaica cresceu consideravelmente na última década e se beneficiou de programas de apoio governamental ao redor do mundo. Em 2012, o Japão lançou o primeiro esquema de apoio a sistemas agrivoltaicos, seguido de outros países, como China, Coreia do Sul, França e Alemanha [10]. Políticas, regulamentos e diretrizes técnicas relacionadas a esses sistemas são de grande importância para promover o desenvolvimento sustentável do setor.

Essa seção reúne informações sobre o contexto de regulações e diretrizes técnicas relacionadas aos sistemas agrivoltaicos em diversos países. Esse conteúdo ajudará a construir a estrutura de melhores práticas internacionais, que poderá apoiar a criação de um cenário nacional para a tecnologia.

Em outubro de 2025 foi lançado o relatório “Agrisolar Policy Map” da SolarPower Europe, que oferece um panorama abrangente das políticas nos 18 Estados-Membros, revelando o status do ambiente regulatório na Europa [28]. O levantamento indica uma rápida evolução, mas ainda fragmentada, do contexto europeu. Embora 10 dos países avaliados permitam a instalação de sistemas agrivoltaicos sob as atuais regulações de uso da terra, apenas cinco estabeleceram uma definição legal clara para a tecnologia, com a Espanha atualmente em processo de implementação. Isso demonstra que, de forma geral, enquanto muitos países iniciam novas políticas para promover a implantação

agrisolar, a harmonização de definições e processos de licenciamento ainda é um desafio a ser superado para garantir segurança jurídica aos desenvolvedores e agricultores.

Além das questões de zoneamento, o relatório destaca uma diversidade nos mecanismos de incentivo e requisitos técnicos. Enquanto quatro países já garantem a elegibilidade para pagamentos diretos da *Common Agricultural Policy* (CAP)<sup>2</sup> e três introduziram esquemas de suporte de energia dedicados, como leilões específicos, ainda há lacunas, especialmente no que tange a critérios ambientais e sociais, que permanecem ausentes na regulação da maioria dos países avaliados. A Tabela 11 a seguir resume o status atual dessas regulações nos diferentes países, cobrindo desde definições legais e permissões de uso da terra até requisitos técnicos, como a taxa de cobertura do solo (GCR), e esquemas de suporte financeiro.

Figura 11 – Visão geral das políticas que viabilizam os agrivoltaicos nos Estados-Membros europeus

		Bélgica	República Tcheca	Croácia	Dinamarca	França	Finlândia	Alemanha	Grécia	Hungria	Irlanda	Itália	Letônia	Países Baixos	Polónia	Portugal	Eslovênia	Espanha	Suécia
<b>Definição legal</b>	Definição legal clara para sistemas agrivoltaicos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Agrivoltaicos são permitidos dentro das regulações de uso da terra e zoneamento	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<b>Uso da terra, zoneamento e permissão</b>	Processo de autorização simplificado para agrivoltaicos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Requisitos claros para avaliação de impactos ambientais para agrivoltaicos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<b>Esquemas de suporte / incentivos</b>	Agrivoltaicos são elegíveis para os pagamentos diretos CAP para agricultores	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Agrivoltaicos estão inclusos em programas de incentivo energético ( <i>feed-in-tariff</i> , leilões, etc)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<b>Requisitos técnicos</b>	Regras claras de taxa de cobertura do solo / Ground Coverage Ratio (GCR)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Requisitos claros de altura e espaçamento	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

■ Sim    
 ■ Não    
 ■ Em andamento    
 ■ Sob certas circunstâncias    
 ■ Desconhecido

Fonte: [28]

2 A Common Agricultural Policy é a política da União Europeia que fornece suporte financeiro ao setor agrícola. Seu principal mecanismo consiste em pagamentos diretos aos agricultores, que têm o objetivo fundamental de estabilizar a renda desses produtores. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/the-common-agricultural-policy-explained>

### 3.1 Alemanha

A Alemanha é um país que se destaca por for seus avanços em tecnologia agrivoltaica. De acordo com o relatório “Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition” pela Fraunhofer ISE [25], foi estimado que existem pelo menos 14 GWp de agrivoltaicos instalados em todo o mundo, e que a Alemanha sozinha possui potencial de aproximadamente 1,7 GWp, considerando sistemas com configuração para cultivo abaixo dos módulos FV na Alemanha.

O governo alemão possui metas ambiciosas para a expansão da energia solar, projetando atingir 215 GWp até 2030 e entre 300 a 450 GWp até 2045. Para atingir esse objetivo, o agrivoltaico é uma peça-chave, uma vez que evita a redução de áreas destinadas a atividades agrícolas. Para impulsionar o setor, a Lei de Energias Renováveis de 2023 (EEG, do Alemão *Erneuerbare-Energien-Gesetz*) consolidou o suporte financeiro, introduzindo segmentos de licitação específicos e um “bônus tecnológico” para sistemas elevados (com altura livre superior a 2,1 m). Este bônus foi fixado inicialmente em 1,2 centavos de euro por kWh para licitações em 2023, com reduções graduais previstas para os anos seguintes. No âmbito dos subsídios agrícolas, a regulamentação (GAPDZV) assegura que áreas com sistemas agrivoltaicos continuem elegíveis para 85% dos pagamentos diretos da Política Agrícola Comum (PAC/CAP), desde que a perda de terra utilizável não exceda 15% da área total do projeto, conforme os critérios da norma DIN SPEC 91434.

O cenário regulatório avançou significativamente para incorporar o agrivoltaico no enquadramento legal. Projetos que cumprem requisitos específicos agora podem ser classificados como “privilegiados” sob o Código de Construção Federal (BauGB), facilitando o licenciamento em áreas externas fora dos planos de desenvolvimento urbano. A base técnica para essas políticas é a norma DIN SPEC 91434 (“*Agri-photovoltaic systems – Requirements for primary agricultural use*”), publicada em 2021. Este documento não apenas estabelece métodos de teste e padronização para medições, mas serve como referência oficial para órgãos legislativos e financiadores determinarem a elegibilidade para subsídios e a classificação dos sistemas (Categoria I para elevados e Categoria II para instalação no solo). O objetivo central permanece a redução de riscos técnicos e a garantia de que a produção agrícola continue sendo a atividade principal da área.

#### 3.1.1 DIN SPEC 91434 – Definições e categorização

A definição de sistemas agrivoltaicos apresentada nas diretrizes é destacada abaixo:

- **Sistema FV/agrivoltaico agrícola:** uso combinado da mesma área de terra para, primeiramente, a produção agrícola e, em segundo plano, a geração de energia elétrica por meio de um sistema FV.

Os sistemas são divididos em duas categorias principais:

- **Categoria I:** sistemas agrivoltaicos com instalação elevada: cultivo abaixo do sistema agrivoltaico;
- **Categoria II:** sistemas agrivoltaicos com instalação no solo: cultivo entre as fileiras do sistema agrivoltaico.

Com base nas especificações de terras agrícolas elegíveis, os sistemas agrivoltaicos em ambas as categorias podem ser ainda divididos em quatro categorias de uso: (A) culturas permanentes e perenes, (B) culturas anuais e perenes, (C) pastos permanentes para corte e (D) pasto permanente.

O documento enfatiza a importância de manter a safra em boas condições, seguindo as regras de “*cross-compliance*” da União Europeia e respectivas normas nacionais. Além disso, explicações mais detalhadas sobre as atividades agrícolas em áreas agrivoltaicas devem ser documentadas em uma proposta de cultivo agrícola, que deverá ser preparada na fase de planejamento anterior à construção do sistema agrivoltaico. Desvios das categorias acima (por exemplo, uma combinação de duas categorias) são possíveis, mas ainda assim devem atender aos requisitos da proposta de cultivo agrícola.

Para ser classificado como Categoria I, o sistema deve atender a determinadas especificações técnicas, principalmente ter uma altura mínima de 2,1 m (entre o solo e a parte inferior do módulo FV), conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Representação da Categoria 1

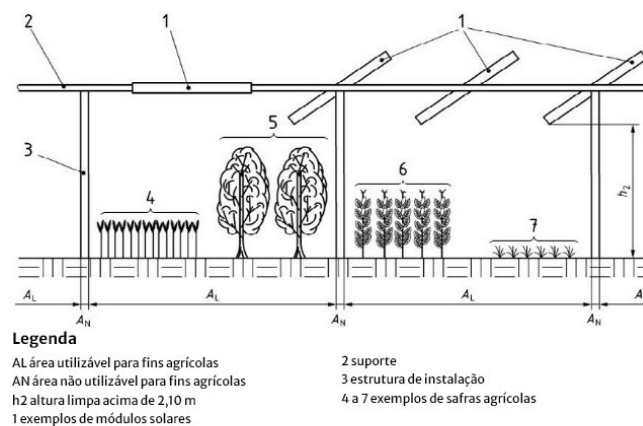
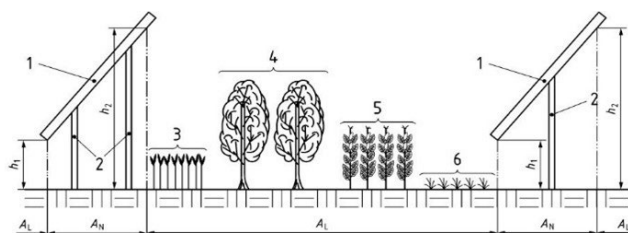


Figura 1 - Representação da categoria 1

Fonte: [16]

Por outro lado, a Categoria II é dividida em duas variantes: variante 1, com módulos fixos em um ângulo específico (com a altura da parte inferior do módulo abaixo de 2,1 m), e variante 2, com módulos montados verticalmente ou de forma ajustável (com rastreamento), no qual a altura mínima geralmente é inferior a 2,1 m. A área abaixo dos módulos deve ser considerada terra não utilizável para fins agrícolas (chamada de área An na Figura 13).

Figura 13 - Representação da Categoria 2

**Legenda**

AL área utilizável para fins agrícolas  
 AN área não utilizável para fins agrícolas  
 h1 altura limpa abaixo de 2,10 m  
 h2 altura limpa acima de 2,10 m

1 exemplos de módulos solares  
 2 estrutura de instalação  
 3 a 6 exemplos de safras agrícolas

Figura 3 - Representação da categoria II, variante 1

Fonte: [16]

**3.1.2 DIN SPEC 91434 - Proposta agrícola**

O uso da terra e a produção agrícola planejados devem ser definidos em uma proposta de cultivo agrícola para os próximos três anos, ou em ciclo de rotação de safras. As possibilidades de cultivo para a área devem ser adaptadas às safras existentes e adequadamente listadas na proposta de cultivo agrícola.

A proposta de cultivo agrícola é preparada de forma conjunta pelo usuário da terra (agricultor, arrendatário) e pelo contratado de EPC (instalador do sistema FV), e deve ser anexada à documentação do projeto. A proposta deverá incluir informações detalhadas sobre os seguintes pontos:

- **Instalação:** a instalação do sistema FV em ambas as categorias devem ocorrer de forma distribuída dentro da área do projeto, para assim preservar seu uso agrícola anterior;
- **Perda de terra:** a perda de terra aráveis devido a estruturas deve ser evitada, não excedendo 10% na Categoria I e 15% na Categoria II;
- **Trabalhabilidade de cultivo:** a trabalhabilidade da área de cultivo deve ser assegurada;
- **Disponibilidade e homogeneidade da luz:** a maximização da homogeneidade e da disponibilidade da luz é essencial para assegurar o crescimento das plantas. Esses aspectos devem ser verificados e adaptados às necessidades específicas dos produtos agrícolas, uma vez que a produção agrícola é a prioridade e deve ser assegurada;
- **Disponibilidade de água:** A disponibilidade e a distribuição uniforme de água deverão ser asseguradas para o cultivo. Para que isso seja assegurado, um sistema de irrigação poderá ser utilizado, ou um projeto com avaliação individual relacionada à demanda de água da safra pode ser demonstrado sob as condições climáticas usuais locais;
- **Erosão do solo:** o projeto do sistema deve minimizar os efeitos da erosão do solo causada pelo escoamento de água nos módulos. Um sistema de coleta ou distribuição de água da chuva pode ser implementado;

- **Instalação e desinstalação sem resíduos:** o sistema agrivoltaico, especialmente suas fundações e âncoras, devem ser adequados para desinstalação, para que assim a terra possa voltar à sua usabilidade original após o sistema ser desinstalado;

- **Cálculo de eficiência econômica:** um conceito economicamente viável para uso agrícola, do ponto de vista do agricultor, deverá ser apresentado como parte da proposta de cultivo agrícola;

- **Eficiência no uso da terra:** o rendimento da safra na área total do projeto após a construção do sistema agrivoltaico deve ser de no mínimo 66% do rendimento de referência. A redução do rendimento da safra agrícola é decorrente da perda de terras aráveis como consequência da superestrutura/subestrutura do sistema FV e da disponibilidade reduzida de água, entre outros fatores. O rendimento de referência deve ser determinado usando a média de rendimento dos últimos três anos, se o agricultor já estivesse realizando o cultivo antes da instalação do sistema FV. Caso contrário, rendimentos de referência de publicações relevantes dos últimos três anos poderão ser utilizados. A estimativa de redução de rendimento na área disponível, que não deve exceder um terço, deverá ter os fatores listados abaixo considerados, e poderá ser realizada por profissionais qualificados.

**3.1.3 DIN SPEC 91434 - Pré-requisitos técnicos e de planejamento para sistemas agrivoltaicos**

Para desenvolver um projeto agrivoltaico, de acordo com o DIN SPEC 91434 [16], há diversas decisões e pré-requisitos técnicos que devem ser considerados, tais como:

- **Disponibilidade e homogeneidade da luz:** a verificação deverá abranger todos os componentes do sistema que influenciam a disponibilidade da luz. Para simplificar o cálculo, materiais em vidro e encapsulamento entre células FV poderão ser considerados um espaço livre de células com 100% de transparência;
- **Requisitos para estruturas de suporte e estabilidade:** estruturas na Alemanha deverão ser projetadas de acordo com os conceitos de segurança dos Eurocódigos;
- **Requisitos para a tecnologia FV:** várias tecnologias FV poderão ser utilizadas em sistemas agrivoltaicos, mas certos aspectos precisarão ser considerados e adaptados para assegurar a distribuição e a homogeneidade da luz para cultivo;
- **Requisitos de instalação:** na Categoria I, uma distância vertical de 2,1 m entre o topo das safras e a base inferior do sistema FV deverá ser mantida. Além disso, a área não arável não deverá exceder 10% da área total. Na Categoria II (sistemas no nível do solo), o tamanho e a altura dos sistemas deverão ser adaptados ao cultivo específico, e a área não arável não deverá exceder 15% da área total;

- **Outros requisitos de planejamento para a instalação:** o espaçamento entre as fileiras do módulo não é especificado, mas deve cumprir os requisitos previamente listados. Precauções contra danos de maquinário agrícola, tais como a proteção de estruturas de módulos, devem ser incluídas no planejamento;
- **Requisitos de instalação, operação e manutenção:** a continuidade do cultivo ao longo do período do projeto deverá ser assegurada, juntamente com a qualidade do solo após a construção e a desinstalação do sistema FV. A conformidade com os requisitos de construção, ocupação da área e segurança é essencial. A manutenção do sistema deverá seguir os regulamentos de sistemas FV e deverá ser evitado o trabalho abaixo do sistema durante intempéries. É recomendada a inspeção periódica para verificação de sujeira nos módulos FV, e a limpeza deverá ser realizada apenas se necessário, com cuidado para evitar qualquer impacto negativo nas safras quando agentes de limpeza forem utilizados.

### 3.1.4 DIN SPEC 91434 – Efeitos práticos da norma na Alemanha

A norma DIN SPEC 91434 se reflete no cenário alemão na forma como instituições de pesquisa aplicada, consultorias técnicas e órgãos reguladores possuem uma referência comum para avaliação de conformidade de projetos agrivoltaicos. Relatórios técnicos recentes indicam que a norma vem sendo empregada como base para análises integradas que consideram requisitos agrônômicos, energéticos e jurídicos, especialmente em projetos de maior escala ou com soluções estruturais não convencionais, conferindo maior segurança jurídica e previsibilidade institucional ao setor.

Dessa forma, a DIN SPEC 91434 se consolidou como um filtro regulatório objetivo, padronizando a elegibilidade para os incentivos da EEG e do *Solarpaket 1* ao reduzir a subjetividade administrativa nos processos de licenciamento. Além de condicionar o acesso a leilões específicos e bônus tecnológicos, a norma passou a estruturar o planejamento energético e territorial, fundamentando as estimativas de potencial técnico e socioespacial da agrivoltaica no país [29].

### 3.1.5 Exemplo de sistema agrivoltaico na Alemanha

Centros de pesquisa agrivoltaica existem na Alemanha desde 2013 [10], e muitos deles foram de grande relevância para o desenvolvimento da tecnologia em nível mundial. O *Fraunhofer ISE*, por exemplo, oferece serviços abrangentes de P&D para a indústria, os quais abrangem estratégia, desenvolvimento de projetos, engenharia, compras e monitoramento de operações.

A *BayWa r.e.*, ou seja, uma subsidiária da *BayWa* e acionista majoritária da *T&G*, foi uma das primeiras adotantes nesse campo e ativamente busca fazendas interessadas em

co-investimento em sistemas agrivoltaicos [30]. Outras empresas alemãs no mercado agrivoltaico são a *SUNfarming*, que promove sistemas horizontais elevados adequados para cultivo de frutas, legumes e verduras, ervas, flores e safras especiais, como vinho e amoras; e a *Next2Sun*, especialista em sistemas agrivoltaicos bifaciais verticais [30].

Um bom exemplo de um centro de pesquisa agrivoltaica na Alemanha é o da fazenda *Hofgemeinschaft Heggelbach*, próxima do Lago Constance, na Alemanha, em 2016 (Figura 14), como parte do projeto APV-RESOLA. Foram cultivadas safras de teste, incluindo trigo de inverno, batatas, aipo e grama. Para assegurar a exposição consistente à luz solar para as safras, módulos FV bifaciais de vidro duplo foram instalados com uma altura em relação ao solo de cinco metros, voltados para o sudoeste, e com maiores distâncias entre as linhas. O projeto permite a utilização de grandes maquinários, tais como colheitadeiras combinadas, sem limitações significativas. As fileiras são espaçadas em 9,5 metros de distância, com a fileira tendo uma largura de 3,4 metros. A capacidade instalada desse sistema de teste é suficiente para alimentar 62 casas com quatro habitantes dentro por ano. No entanto, devido ao aumento das distâncias entre fileiras, a capacidade instalada por hectare (ha) é aproximadamente 25% mais baixa em comparação com sistemas FV convencionais instalados no solo [10].

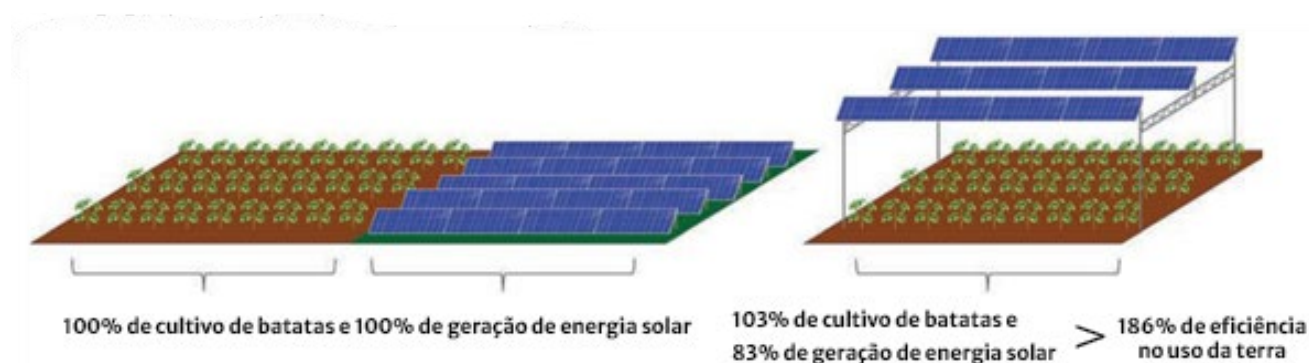
Os resultados do projeto revelaram que a eficiência do uso da terra aumentou para 160% no primeiro ano do projeto (2017), confirmando a viabilidade prática do sistema agrivoltaico. Safras cultivadas abaixo dos módulos FV tiveram um rendimento acima de 80% em comparação com as áreas de referência sem módulos FV, o que os tornam comercialmente viáveis. Durante o verão de 2018, houve extremas ondas de calor e os rendimentos de safras ultrapassaram os resultados do ano anterior de forma significativa. A sombra parcial fornecida pelos módulos FV melhorou o rendimento da safra, ao mesmo tempo em que a abundante radiação solar impulsionou a geração de energia FV [10]. Isso levou a uma melhoria de 86% na eficiência no uso da terra durante o teste de safra da batata, conforme mostrado na Figura 15.

Figura 14 - Projeto *Heggelbach* construído em 2016



Fonte: [30]

**Figura 15 - O uso combinado da terra para o sistema agrivoltaico e o cultivo de batata aumentou, para 186%, a eficiência no uso da terra no local de teste de Heggelbach**



Fonte: [12]

Recentemente, a Alemanha inaugurou o seu maior projeto agrivoltaico em *Tützpätz* (Figura 16), marcando um avanço na escala da tecnologia no país [31]. O sistema possui uma capacidade instalada de 76 MWp distribuída em uma área total de 93 ha, o parque FV combina a geração de energia livre de subsídios estatais com atividades de agricultura e pecuária. O projeto, desenvolvido pela Vattenfall, utiliza sistemas de

rastreamento para permitir a passagem de maquinário agrícola e integra galinheiros móveis para criação de aves sob os módulos FV. A viabilidade econômica do empreendimento foi assegurada por meio de um contrato de compra de energia (PPA) de longo prazo com uma subsidiária da *Deutsche Telekom*.

**Figura 16 - Sistema agrivoltaico *Tützpätz***



Fonte: [31]

### 3.2 Itália

A Itália é um país que viu nos agrivoltaicos uma estratégia para melhoria de problemas no campo. Nas últimas três décadas, o país sofreu com a escassez crônica de água em suas regiões central e sul, além de um abandono de 10 a 14% das terras agrícolas desde 1990 [32]. A primeira usina agrivoltaica na Itália, a qual foi um dos projetos pioneiros na Europa, foi instalada em 2002. Ela tem uma capacidade total de 1 MW e está localizado em Apulia. Houve uma expansão gradual de sistemas agrivoltaicos no país, que foram reconhecidos como uma estratégia para atingir os objetivos de descarbonização do país. No país, mais de 1,5 bilhões de euros foram alocados para apoiar o desenvolvimento da tecnologia no meio rural [33].

Em março de 2022, novas diretrizes nacionais para sistemas agrivoltaicos<sup>9</sup> foram lançadas na Itália. Essas diretrizes foram desenvolvidas pelo Ministério de Transição Ecológica, em coordenação com organizações como o Conselho de Pesquisa Agrícola e de Análise Agrícola Econômica (CREA), Gestor de Serviços de Energia (GSE), Agência Nacional para Novas Tecnologias, Energia e Desenvolvimento Econômico Sustentável (ENEA) e Pesquisa de Sistemas de Energia (RSE).

No que tange aos modelos de negócios e incentivos, projetos agrivoltaicos na Itália podem ser elegíveis para os pagamentos diretos da Política Agrícola Comum (PAC) sob certas condições [28]. Além disso, a legislação estabelece vínculos fortes com o produtor rural: empresas ou associações agrícolas devem utilizar suas próprias terras

para os projetos mantendo a agricultura como atividade principal, seja individualmente ou em parceria com empresas de energia. Um ponto crucial é que, para acessar os fundos de incentivo do Plano Nacional de Recuperação e Resiliência (PNRR), os agricultores devem obrigatoriamente ser coproprietários dos projetos propostos. Apesar dos avanços, o cenário enfrentou recentes debates. O ‘Decreto Agricultura’ de 2024 gerou incertezas no setor, pois não está totalmente claro se instalações não elevadas correm o risco de serem banidas sob as novas diretrizes, refletindo uma preferência nacional e regional que geralmente desencoraja sistemas entre fileiras em favor de estruturas elevadas ou verticais [28].

### 3.2.1 Diretrizes italianas – Definições

As diretrizes, intituladas “*Guidelines for The Design, Construction and Operation of Agrivoltaic Plants*”, têm como objetivo esclarecer as características e os requisitos mínimos para que um sistema FV seja considerado um “sistema agrivoltaico”. No geral, dois tipos de sistemas são distinguidos: (1) sistemas agrivoltaicos que asseguram uma interação mínima entre a produção de energia e a produção agrícola e (2) sistemas agrivoltaicos avançados que atendem aos requisitos adicionais e são elegíveis para incentivos estatais pagos por meio de tarifas de energia elétrica, de acordo com o Decreto Legislativo de 3 de março de 2011, nº 2810.

As diretrizes são baseadas na Lei italiana Nº 108, de 29 de julho de 2011, na qual os sistemas agrivoltaicos são definidos como aqueles sistemas que adotam soluções integradoras inovadoras com instalação de módulo elevado a partir do solo, também proporcionando a rotação dos próprios módulos, se for necessário, de modo a não comprometer a continuidade das atividades agrícolas e de pastoreio, permitindo a aplicação de ferramentas digitais e agricultura de precisão. Além disso, o regulamento alemão DIN SPEC 91434 “*Agrivoltaic Systems – Requirements for Primary Agricultural Use*” foi considerado nas diretrizes italianas. Algumas definições presentes nas diretrizes estão listadas abaixo:

- **Sistema Agrivoltaico:** refere-se a um sistema FV que adota soluções com o objetivo de preservar a continuidade das atividades agropecuárias existentes no local de instalação;
- **Sistema Agrivoltaico Avançado:** refere-se a um sistema FV que adota soluções com o objetivo de preservar a continuidade das atividades agropecuárias no local de instalação. Esse sistema, seguindo as disposições do Artigo 65 – Decreto Nº 1 de 24 de janeiro de 2012, conforme emenda e suplementação:
  - Adotam soluções integradoras inovadoras com instalação de módulo elevado a partir do solo, também proporcionando a rotação dos próprios módulos, se for necessário, de modo a não comprometer a continuidade das atividades de cultivo agrícola e

de pastoreio, permitindo também a aplicação de ferramentas digitais e agricultura de precisão”; e

- Pretendem realizar a implementação simultânea de sistemas de monitoramento para verificar o impacto da instalação FV em safras, economia de água, produtividade agrícola para diferentes tipos de safras, continuidade das atividades da fazenda, recuperação da fertilidade do solo, microclima e resiliência a mudanças climáticas.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, as instalações agrivoltaicas podem adotar três configurações principais: elevadas, verticais e entre fileiras de módulos FV. No entanto, regulações em nível nacional e regional tendem a desencorajar os sistemas entre fileiras [28].

### 3.2.2 Diretrizes italianas – Categorização

As diretrizes consideram cinco tipos de requisitos (A, B, C, D e E) para sistemas agrivoltaicos. Para a qualificação como um sistema agrivoltaico “básico”, requisitos A, B e (possivelmente) D.2 devem ser atendidos.

- **Requisito A.1:** refere-se à área e estipula que 70% desta deveria ser alocada para cultivo agrícola, cultivo de flores ou pastagem de gado;
- **Requisito A.2:** define a porcentagem máxima da área do módulo, que não deve exceder 40%;
- **Requisito B.1:** está relacionado ao rendimento de produtividade agrícola/pecuária em €/ha ou €/unidade de animais adultos. Esse requisito envolve a comparação do rendimento do sistema FV com os rendimentos dos anos anteriores na área. Se não houve produção antes da instalação do sistema FV, o rendimento será comparado com o de áreas produtivas próximas ou com o de uma área de controle. Além disso, esse requisito está relacionado à manutenção de safras/produção existentes, assegurando que o sistema FV não influencie mudanças nas safras produzidas;
- **Requisito B.2:** especifica que a produtividade (rendimento) do sistema de geração FV deverá ser de no mínimo 60% do rendimento do sistema padrão de referência em GWh/ha/ano;
- **Requisito C:** tem como foco soluções inovadoras integradas ao sistema agrivoltaico para otimizar o desempenho de geração FV e a produtividade agrícola. Ele estabelece os seguintes critérios:
  - A altura mínima do módulo é projetada para permitir a continuação das atividades produtivas existentes OU (2) não foi projetada para manter a produção agrícola OU (3) os módulos estão posicionados verticalmente. Nos casos 1 e 3, o sistema seria considerado um sistema agrivoltaico avançado.

- Para serem classificados como ‘sistemas agrivoltaicos avançados’, os projetos devem respeitar uma altura mínima de 2,1 metros para o cultivo de safras e de 1,3 metros para atividades de pecuária/produção animal
- **Requisito D:** estabelece regras para sistemas com monitoramento de impactos sobre safras, economia de água, produtividade e continuidade das atividades nas fazendas envolvidas. Os valores médios de desempenho deverão ser mantidos ao longo da vida útil da central. O monitoramento é essencial para avaliar diversos aspectos e assegurar a continuidade da produção agrícola associada;
- **Requisito D.1:** monitoramento de economia de água;
- **Requisito D.2:** monitoramento da continuidade da produção agrícola;
- **Requisito E:** o sistema permite a verificação da recuperação da fertilidade do solo, o microclima e a resiliência às mudanças climáticas.

### 3.2.3 Exemplo de sistema agrivoltaico na Itália

**Figura 17 - Sistema agrivoltaico com cidras na fazenda da família Lancellotta**



Fonte: [35]

Projetos em larga escala estão presentes na Itália e a empresa *Cero Generation*, do Reino Unido, tem uma importante participação no mercado. A empresa obteve financiamento para uma instalação agrivoltaica de 70 MW na Província italiana de Latina e outra de 48 MW na província de Viterbo, na região de Lazio [34].

Um exemplo de sistema agrivoltaico implementado com sucesso na Itália envolveu o uso de módulos FV para fornecer sombra para limoeiros e cidreiras (Figura 17), mitigando os impactos do calor extremo e assegurando a preservação dessas safras. Os resultados demonstraram que o sistema agrivoltaico ajudou a reduzir a temperatura abaixo dos módulos FV, evitando danos potenciais nos frutos e mantendo as condições originais de crescimento

das árvores. Além disso, a produção combinada de energia elétrica a partir de módulos FV e safras de frutas foi observada como sendo mais lucrativa do que as práticas tradicionais de monocultura. Essa implementação do sistema agrivoltaico ilustra seu potencial para proteger safras, aumentar a produtividade agrícola e contribuir para a produção de energia renovável [35].

### 3.3 Croácia

A Croácia tem adotado recentemente um enquadramento legal para sistemas agrivoltaicos, marcando um passo significativo em direção ao desenvolvimento da tecnologia no país. Os novos regulamentos permitem que os agricultores instalem sistemas FV em terras agrícolas, combinando efetivamente a geração de energia elétrica com as atividades agrícolas. Esse enquadramento legal tem como objetivo promover a adoção de sistemas agrivoltaicos e facilitar o desenvolvimento sustentável de ambos os setores [36].

De acordo com os novos regulamentos agrivoltaicos, os agricultores podem se beneficiar de subsídios e incentivos para instalar centrais agrivoltaicas. Agrotóxicos são agora permitidos em vários tipos de terras, tais como terras agrícolas, lotes não utilizados e áreas com plantações permanentes, como vinhedos e oliveiras. Essas novas regras concedem a todo agricultor a oportunidade de instalar sistemas agrivoltaicos em suas terras. É esperado, com esse movimento, o aumento da segurança energética, a redução das emissões de gases de efeito estufa e o aumento da produtividade agrícola por meio da otimização do uso da terra. A Croácia pretende atingir suas metas de energia renovável e promover um setor agrícola mais resiliente [36].

Um projeto piloto foi desenvolvido em 2016 no país, na cidade de Mecini, região da Eslavônia. O sistema possui uma capacidade instalada de 500 kW e uma diversidade de legumes e verduras é produzida abaixo da estrutura agrivoltaica, que é de responsabilidade da Universidade de Osijek [37].

### 3.4 França

A evolução dos agrivoltaicos na França reflete a transição de um mercado inicialmente experimental para um dos ambientes normativos mais estruturados da Europa. O desenvolvimento da tecnologia começou a ganhar força ao longo da década de 2010, impulsionado por metas ambiciosas de expansão de energias renováveis e pela crescente busca de desenvolvedores por terras para a instalação de usinas FV [38]. A partir de 2017, o governo francês passou a fomentar o setor de forma pioneira por meio de leilões públicos dedicados [38]. Contudo, a ausência de critérios técnicos e de definições claras nessa fase inicial permitiu o desenvolvimento de projetos com graus variados de compromisso com a produtividade agrícola, muitas vezes utilizando a agricultura apenas como “álibi” ou fachada para a aprovação de projetos energéticos, o que gerou forte

resistência de sindicatos agrícolas, associações ambientais e da sociedade civil [25], [38]. Foi justamente para conter essas distorções, proteger os agricultores da especulação fundiária e garantir a soberania alimentar que o país iniciou um forte processo de institucionalização, marcado pela criação de referenciais técnicos, selos de qualidade independentes (como o da AFNOR) e pela promulgação da lei nacional de 2023, que redefiniu o setor.

A França passou recentemente por uma transformação profunda na regulação do setor agrivoltaico, consolidando-se como uma das nações com as políticas mais detalhadas e rigorosas da Europa. A Lei de Aceleração da Produção de Energias Renováveis (Lei APER), aprovada em março de 2023, e seus subsequentes decretos de aplicação expedidos em abril e julho de 2024, estabeleceram uma definição legal clara: a atividade agrícola deve permanecer a vocação principal da terra, enquanto a geração de energia assume um papel secundário [28], [39]. Para ser classificado como agrivoltaico, o projeto deve, obrigatoriamente, fornecer pelo menos um de quatro serviços diretos à atividade agropecuária: melhoria do potencial e impacto agrônomico, adaptação às mudanças climáticas, proteção contra intempéries ou melhoria do bem-estar animal.

O novo arcabouço normativo francês define critérios técnicos estritos para proteger a produção de alimentos e evitar a especulação fundiária. A Taxa de Cobertura do Solo (GCR) pelos módulos é limitada a um máximo de 40% (regra estipulada para projetos acima de 10 MW), e a perda de área agrícola explorável não pode ultrapassar a margem de 10% da superfície total. Além disso, a regulação exige que a produtividade agrícola seja mantida em pelo menos 90% do rendimento de referência [40]. Para garantir o cumprimento dessa meta, projetos que empregam tecnologias inovadoras devem implementar uma “zona de controle” (ou zona testemunha) adjacente, cultivada sob as mesmas condições pedoclimáticas, para a comparação de safras. A ADEME mantém uma lista oficial de “tecnologias comprovadas”, e

apenas os sistemas que utilizam essas tecnologias validadas ficam isentos da obrigação da zona de controle, passando por auditorias a cada cinco anos. A busca pela qualidade técnica também fomentou a criação de certificações independentes, como o selo “Projeto Agrivoltaico” da AFNOR, que atesta projetos que superaram os requisitos mínimos estatais de proteção agrônômica [39].

O fomento ao setor ocorre principalmente por meio de leilões específicos organizados pela Comissão de Regulação de Energia (CRE). O mecanismo francês de leilões aloca cerca de 600 MW periodicamente, segmentando os projetos em duas categorias principais: sistemas elevados (com altura superior a 4 metros e capacidade abaixo de 10 MW) e sistemas de entre fileiras (altura inferior a 4 metros e capacidade acima de 10 MW) [28]. Hoje, existem pelo menos 200 projetos agrivoltaicos no país com mais de 1000 projetos nos estágios de planejamento [41].

Apesar deste robusto sistema de incentivo e controle, o aumento acentuado de projetos tem gerado conflitos e contestações em âmbito local, especialmente com a oposição de ONGs ambientais e sindicatos rurais preocupados com a descaracterização da paisagem e o “*green grabbing*” (a apropriação de terras disfarçada de transição ecológica). Na região da Occitânia, por exemplo, um levantamento apontou que 22 de 74 projetos enfrentavam algum tipo de contestação social, frequentemente envolvendo alegações de “agricultura de fachada”. Para mitigar esses riscos e assegurar o compromisso social, a legislação impõe vínculos formais rigorosos: os desenvolvedores de energia são proibidos de romper arrendamentos rurais, devem prever modelos de partilha de valor financeiro com os proprietários e operadores e, caso o agricultor abandone o projeto, a empresa de energia tem um prazo de 18 meses para encontrar um substituto, garantindo assim a perenidade da produção de alimentos [28].

**Figura 18 - Sistema agrivoltaico da Sun'R na França**



Em termos de estudos de caso na França, um exemplo de projeto agrivoltaico na França é o dos vinhedos do Domaine de Nidolères (Figura 19). Os vinhedos cobrem 32 hectares e há um projeto da SunAgri por 4,5 ha de extensão da terra. A região sofreu com os efeitos das mudanças climáticas nos últimos anos, tais como o aumento das temperaturas,

maturação precoce das uvas e um aumento da necessidade de água, o que combina com os benefícios dos sistemas agrivoltaicos. Os resultados do sistema incluem melhoria das propriedades organolépticas da produção e uma redução de 20% no consumo de água [42].

Figura 19 - Projeto agrivoltaico no vinhedo do Domaine de Nidolères (Pirenéus Orientais)



Fonte: [135]

### 3.5 China

A China se destaca em termos de capacidade instalada em agrivoltaicos, liderando o mercado. Segundo relatório do *World Resources Institute* (2025) foram avaliados mais de 31 GW em 513 projetos reportados publicamente [26]. Além deste relatório, um recente mapeamento geoespacial de alta resolução identificou 1.678 projetos em operação na China até o final de 2022, somando uma capacidade instalada de 134,55 GW [43]. As três tipologias predominantes no mercado chinês são os sistemas consorciados com plantações, a integração com a pesca e aqüicultura (aquavoltaics) e os sistemas integrados em estufas.

O apoio do governo desempenhou um papel significativo na promoção do desenvolvimento do sistema agrivoltaico no país, abrindo as portas para os processos de licenciamento e financiamento. Esse suporte tem como origem a crescente necessidade tanto de energia quanto de segurança alimentar. A China importa grandes quantidades de legumes, verduras e frutas, e a independência desses fornecedores é considerada uma prioridade pelo governo.

Apesar dos números absolutos liderarem o cenário global, o desenvolvimento da tecnologia no país seguiu uma trajetória descrita como um ciclo de “emergência, boom e declínio” devido a fatores políticos e regulatórios [26],

[44]. O boom ocorreu entre 2017 e 2023, período em que políticas federais permitiram o arrendamento de terras agrícolas comuns para instalações FV. Contudo, na prática, estudos recentes demonstraram que a vasta maioria desses megaprojetos corporativos foi construída com taxas de cobertura do solo superiores a 50%, prejudicando fortemente o cultivo e desviando-se do princípio fundamental de “uso duplo da terra” (onde a produção de alimentos e energia devem coexistir de forma equilibrada). Esse avanço agressivo das empresas de energia gerou conflitos sociais severos e disputas por áreas férteis com os pequenos agricultores [26], [44].

Diante do risco direto à soberania alimentar e do uso de projetos como “fachada” ecológica (*green grabbing*), o governo central chinês aplicou intervenções rigorosas. A partir de 2023, os órgãos estatais implementaram novas regulamentações proibindo a instalação de novos projetos FV em terras agrícolas comuns e nas chamadas “terras permanentes básicas”, o que causou uma suspensão e um declínio acentuado do modelo tradicional de agrivoltaico em áreas rurais produtivas [44].

Com o fechamento do acesso às terras agricultáveis convencionais, o futuro do setor agrivoltaico na China volta-se agora para modelos de recuperação ecológica e combate à desertificação em áreas marginais [44]. Um

exemplo pioneiro e bem-sucedido dessa abordagem já existe: o país abriga a maior instalação agrivoltaica do mundo, localizada nas bordas do Deserto de Gobi (Figura 20). Este megaempreendimento conta com 700 MWp de capacidade (e planos de expansão do *Baofeng Group* para até 1 GW) [45]. A área, anteriormente desertificada, teve o solo recuperado inicialmente com o plantio de alfafa e, hoje, os módulos FV protegem plantações de *goji berries*, consolidando a tendência de que os próximos passos do setor chinês estarão intrinsecamente ligados à restauração ambiental de desertos no oeste do país [12], [44].

**Figura 20 - Os maiores sistemas agrivoltaicos existentes, com plantação de *goji berries* na China**



Fonte: [45]

O apoio do governo desempenhou um papel significativo na promoção do desenvolvimento do sistema agrivoltaico no país, abrindo as portas para os processos de licenciamento e financiamento. Esse suporte tem como origem a crescente necessidade tanto de energia quanto de segurança alimentar. A China importa grandes quantidades de legumes, verduras e frutas, e a independência desses fornecedores é considerada uma prioridade pelo governo.

### 3.6 Estados Unidos

Atualmente, os locais em que há sistemas agrivoltaicos nos Estados Unidos possuem uma parte significativa deles associada à pastagem de ovelhas e/ou ao habitat de espécies polinizadoras. Inicialmente, os sistemas eram limitados a lotes para testes e agora há pelo menos cinco locais com sistemas agrivoltaicos comerciais em operação, situados nos estados de *Colorado*, de *Massachusetts* e do *Maine* [46]. Uma revisão encomendada pelo *Virginia Department of Energy* compila práticas, políticas e programas de agrivoltaica nos Estados Unidos em níveis federal e estadual até 2024, buscando identificar tendências e esforços recentes de integração entre agricultura e energia FV [47]. No panorama de políticas públicas, observa-se que a agrivoltaica é mais frequentemente estruturada no nível estadual do que no nível federal, e pode ser organizada em quatro arquétipos de políticas: scorecards voltados a práticas “*pollinator-friendly*”, leis de avaliação

tributária por “*use value*”, programas de financiamento à pesquisa e programas do tipo *feed-in tariff* [48].

O setor agrivoltaico nos EUA está recebendo investimentos de diversas organizações. O Departamento de Energia (DOE) está fornecendo US\$ 15 milhões em financiamento de pesquisa para explorar a viabilidade de sistemas agrivoltaicos para agricultores, a indústria de energia solar e comunidades. No âmbito federal, medidas como a *Bipartisan Infrastructure Law* (2021) e a *Inflation Reduction Act* (2022) ampliaram recursos para o *Department of Energy* (DOE) e favoreceram o ambiente de desenvolvimento, junto a incentivos como o *Investment Tax Credit* (ITC) e o REAP do USDA, além de iniciativas de P&D do DOE (*Solar Energy Technologies Office*, *FARMS* e *InSPIRE*) e do USDA/NIFA. Alguns estados estão encorajando a instalação de projetos agrivoltaicos por meio de incentivos e iniciativas de pesquisa. *Massachusetts*, por exemplo, tem implementado uma Tarifa “*Feed-In*” de US\$ 0,06/kWh para projetos agrivoltaicos em seu programa *Solar Massachusetts Renewable Target* (SMART). Também se destacam programas e incentivos como o ASTGU em *Massachusetts* e o *Dual-Use Pilot Program* em *New Jersey*, além de ações no *Colorado*, incluindo isenções de imposto predial, financiamento de pesquisa e programas-piloto [47].

Em *New Jersey*, um programa piloto agrivoltaico de até 200 MW em áreas rurais não preservadas foi autorizado, juntamente com o financiamento de um sistema de P&D na *Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station*. O *Colorado* também está investindo em pesquisas agrivoltaicas [46]. Na *Virgínia*, o *Permit-by-Rule* do DEQ prevê redução de exigências de mitigação quando há práticas como pastejo manejado e cultivo em projetos que impactam terras agrícolas com alto potencial produtivo [47].

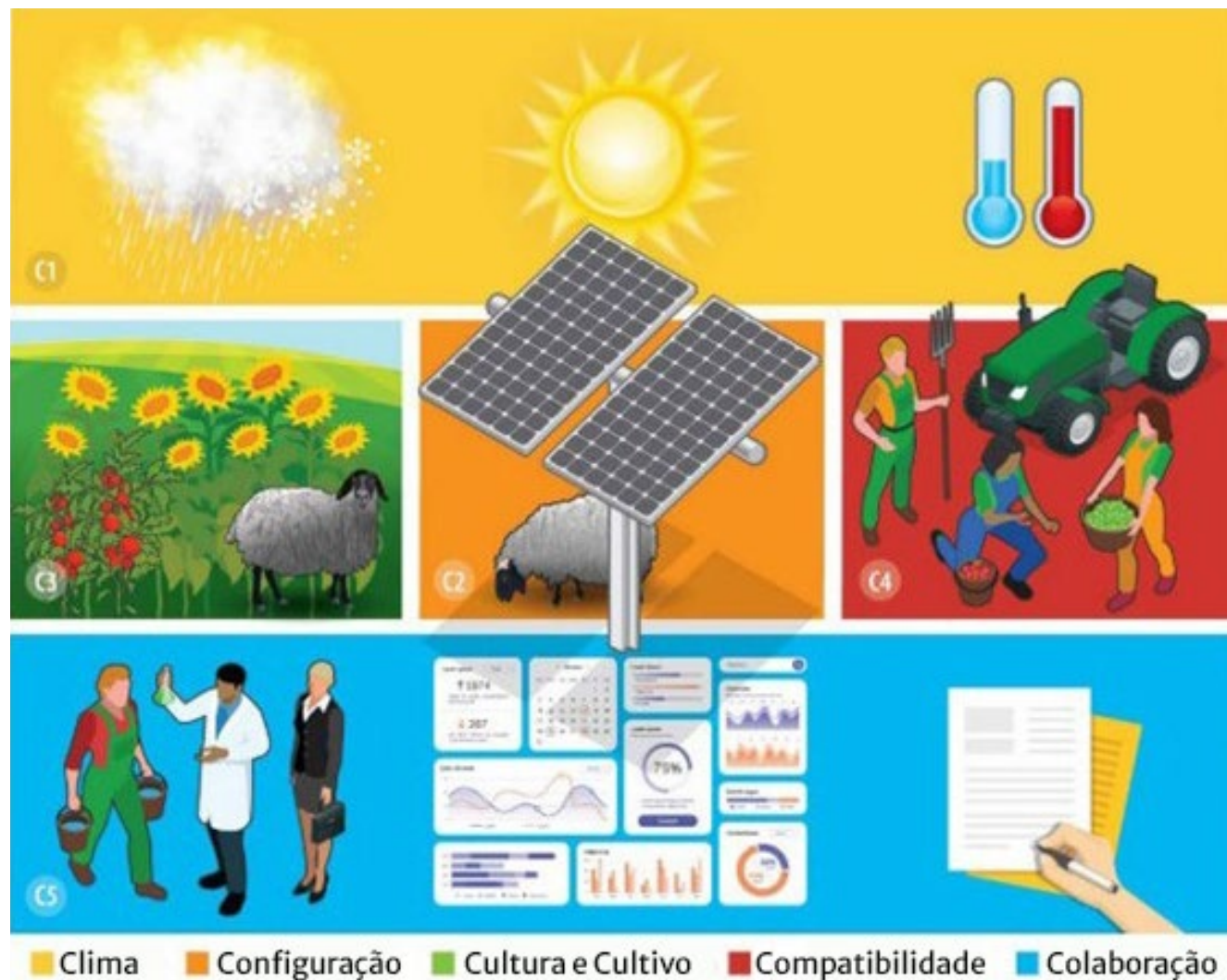
Além disso, o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos EUA está colaborando com o Departamento de Agricultura em pesquisas de base para avaliar o valor econômico, as compensações e os impactos ecológicos dos projetos agrivoltaicos. Já o DOE está fornecendo financiamento para o desenvolvimento de novas tecnologias que poderiam facilitar a implementação de sistemas agrivoltaicos e reduzir os custos associados [46]. De modo geral, as iniciativas tendem a depender de incentivos financeiros (diante de custos iniciais maiores) e de projetos-piloto/demonstração para testar desenhos, desempenho de culturas e práticas de manejo antes de uma expansão em maior escala [47].

O projeto de pesquisa do DOE intitulado “*Innovative Solar Practices Integrated with Rural Economies and Ecosystems*” (InSPIRE) tem fornecido suporte para iniciativas de pesquisas voltadas para sistemas agrivoltaicos desde 2015. O projeto analisou oportunidades e compensações em mais de 25 locais em todo o país, abrangendo produção agrícola, habitat de espécies polinizadoras, serviços para o ecossistema e produção pecuária. Os resultados

dos projetos piloto que fizeram parte do projeto InSPIRE serviram como contribuição para o documento publicado em agosto de 2022, pelo NREL, intitulado “*The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States Lessons from*

*the InSPIRE Research Study*” [14]. Os 5 C’s do documento são Clima, Configuração, Culturas e Cultivo, Compatibilidade e Colaboração, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Os 5 C’s para o sucesso de um projeto agrivoltaico



Fonte: [14]

Mais detalhes sobre o que cada C representa estão delineados abaixo, conforme descrito no relatório *InSPIRE*:

- **Clima, Solo e Condições Ambientais (C1):** as condições ambientais e os fatores do local específico que estão além do controle do proprietário de energia solar, dos operadores de energia FV, dos profissionais de sistemas agrivoltaicos e dos pesquisadores.
- **Configurações, Tecnologias de Energia Solar e Projetos (C2):** a escolha da tecnologia de energia FV, o layout do local e outras infraestruturas que podem afetar a disponibilidade de luz e a geração de energia;
- **Escolha da Safra e Métodos de Cultivo, Projetos para Sementes e a Vegetação e Abordagens de Manejo (C3):** os métodos, a vegetação e as abordagens agrícolas utilizados para atividades agrivoltaicas e pesquisa;

- **Compatibilidade e Flexibilidade (C4):** a compatibilidade do projeto e da configuração da tecnologia de energia solar com as necessidades competitivas dos proprietários de energia solar, operadores de energia solar, profissionais agrícolas e pesquisadores;
- **Colaboração e Parcerias (C5):** entendimentos e acordos firmados entre as partes interessadas e os setores para apoiar instalações e pesquisas em sistemas agrivoltaicos, incluindo a participação da comunidade, o licenciamento e os acordos legais.

De acordo com o conhecimento obtido dos locais de pesquisa, uma altura de 1,8 m para o módulo aparenta ser a altura viável mínima para o plantio de legumes e verduras abaixo dos módulos, considerando padrões de sombreamento e interação com agricultores. No entanto, os agricultores preferem uma altura de 2,4 m ou mais. Os

pesquisadores do projeto estão avaliando o microclima, as características do solo, o sombreamento e as interações com trabalhadores em sistemas com ambas as alturas, em dois locais nos Estados Unidos.

O espaçamento dos módulos, bem como o espaçamento entre as fileiras dos módulos, e diferentes tecnologias FV, com ou sem espaçamento de células, estão sendo estudados por universidades americanas como parte do projeto InSPIRE, que juntamente com os resultados de seus projetos piloto, contribuirão para o desenvolvimento de diretrizes para a tecnologia.

O programa *Clean Energy to Communities* (C2C), do U.S. Department of Energy, oferece apoio técnico e recursos para que comunidades e produtores rurais possam planejar e implementar projetos de energia limpa, incluindo agrivoltaicos [49]. No âmbito do Agrivoltaics 101, o C2C disponibiliza materiais introdutórios, conexões com especialistas e orientações práticas que ajudam governos locais, cooperativas e agricultores a compreender aspectos regulatórios, técnicos e financeiros desses sistemas. A iniciativa busca reduzir barreiras de informação e acelerar a adoção de soluções que integrem geração solar e produção agrícola, promovendo desenvolvimento econômico local e maior resiliência energética.

Dentre os documentos do C2C, um denominado *Agrivoltaics Pathway* funciona como um guia estruturado para o planejamento e a implementação de projetos agrivoltaicos em propriedades rurais [50]. Ele organiza o processo em duas grandes fases: planejamento e implementação. Na fase de planejamento, destaca a importância de avaliação da propriedade (farm assessment), estudo de viabilidade FV, seleção de culturas ou rebanhos compatíveis, definição de tecnologia e equipamentos, planejamento financeiro e análise de regulações e licenças. Já na fase de implementação, enfatiza diretrizes para instalação e integração do sistema, monitoramento e manutenção, avaliação de impactos ambientais e sustentabilidade, engajamento comunitário e melhoria contínua. O guia reforça que cada local possui condições específicas e que a adaptação às características agrícolas, climáticas e regulatórias é fundamental para o sucesso de longo prazo do projeto.

Também se ressalta que a incorporação de ações e ajustes tende a ser mais simples quando ocorre nas fases iniciais do desenvolvimento do projeto, em vez de mais tarde. Destacam-se, entre os recursos indicados, o “*Farmer’s Guide to Going Solar*” do DOE, a calculadora financeira de alto nível do InSPIRE, a base DSIRE de incentivos estaduais, guias regulatórios locais (por exemplo, para *Illinois* e *Colorado*) e recursos do NREL sobre prazos de licenciamento/inspeções/interconexão [48].

Além dessas iniciativas, o Departamento de Energia, por meio do *Solar Energy Technologies Office* (SETO), estruturou o programa de financiamento *Foundational Agrivoltaic Research*

*for Megawatt Scale* (FARMS), que pesquisa como os sistemas agrivoltaicos podem criar novas oportunidades econômicas para agricultores, comunidades rurais e a indústria solar [51]. [51]. Nesse contexto, agrivoltaico é definido como produção agrícola como cultivo, pastoreio e habitat de polinizadores que ocorre sob e/ou entre fileiras de módulos FV.

O FARMS disponibilizou US\$ 8 milhões (anunciado em 5 de maio de 2022), com seis projetos selecionados em 8 de dezembro de 2022. De forma geral, os projetos avaliam impactos de diferentes configurações agrivoltaicas na produção agrícola e na geração de energia, exploram como integrar a prática a fazendas solares existentes e desenvolvem recursos para reduzir barreiras de entrada, em parceria com serviços de extensão agrícola para apoiar a capacitação de agricultores.

Como meta, o SETO busca viabilizar mais de 1 MW de sistemas agrivoltaicos voltados ao cultivo e mais de 10 MW voltados a pastoreio ou polinizadores, reforçando a coexistência da agricultura e da energia solar como estratégia para reduzir conflitos de uso do solo e ampliar benefícios econômicos, inclusive para comunidades subatendidas em áreas agrícolas.

Entre os projetos apoiados, destacam-se: a *Iowa State University*, com um sistema de 1,35 MW para testar diferentes alturas e configurações (com e sem rastreamento) associadas a horticultura e apicultura; a *Ohio State University*, com ensaios de pecuária e feno em uma usina solar de 180 MW já em operação, sem alterações de projeto; e a *Rutgers University*, com testes em dois locais, analisando 11 culturas, práticas de pastoreio e percepções comunitárias, além de uma rede de extensão para disseminação regional. Complementam a seleção o *Solar and Storage Industries Institute*, focado em mapear barreiras e produzir guias para o setor; a *University of Alaska Fairbanks*, que estuda adoção e impactos econômicos em um sistema de 8,5 MW; e a *University of Arizona*, com ensaios de cultivo em parcelas dentro de um sistema agrivoltaico de 121 MW para avaliar desempenho de culturas e uso de água em região árida, articulando visitas técnicas e a produção de diretrizes para agricultores do oeste dos EUA.

Em paralelo a essas iniciativas, a *American Farmland Trust* (AFT) alerta que a expansão da energia solar nos EUA pode aumentar a pressão sobre terras agrícolas e de pecuária [52]. Na modelagem *Farms Under Threat 2040*, a AFT estima que, sem políticas específicas, 83% do novo desenvolvimento no setor solar ocorrerá nessas áreas, com quase metade sobre as terras mais produtivas, o que reforça preocupações sobre conversão de áreas agrícolas, especialmente em projetos de grande escala.

Nesse contexto, sistemas agrivoltaicos são apresentados como uma alternativa por integrarem produção agrícola aos sistemas FV, mantendo a terra em uso agrícola. Esses

sistemas são um dos pilares dos *Smart Solar Principles* da AFT. A AFT também publicou o documento “*Policy Recommendations to Increase Agrivoltaic Development*” [52], reunindo princípios, diretrizes e uma definição estatutária recomendada para sistemas agrivoltaicos e incentivos associados, buscando apoiar o avanço de projetos que mantenham a terra em produção e fortaleçam economias rurais.

A AFT destaca que pesquisas indicam potencial para conservar água, proteger culturas e rebanhos de eventos extremos e aumentar a renda agrícola, embora os efeitos sobre produtividade variem conforme cultura, local e configuração do sistema. Pesquisas da AFT e do *Solar and Storage Industries Institute* (SI2) indicam interesse: cerca de dois terços dos agricultores/pecuaristas respondentes estariam abertos a sistemas agrivoltaicos (motivados por renda suplementar) e 80% dos desenvolvedores FV respondentes planejam projetos futuros; ainda assim, os sistemas agrivoltaicos representam menos de 5% da capacidade solar nos EUA [52].

Como muitos sistemas agrivoltaicos podem custar mais do que sistemas em usinas convencionais e exigir adaptações, a AFT defende incentivos, mas aponta a necessidade de definições e critérios claros, já que o que se qualifica para incentivos varia entre programas. Ela define projetos agrivoltaicos por dois elementos: produção de um produto agrícola comercializável ao longo de toda a vida do sistema e projeto em consulta com produtores e/ou especialistas; inclui cultivo, pastoreio e criação animal, e exclui habitat de polinizadores como única atividade associada ao sistema. A AFT cita que existem políticas de incentivo já aplicadas (como incentivos financeiros em *Massachusetts*, redução de taxas de mitigação por acre em Nova Iorque e Maine e reduções de imposto predial no Colorado) e sugere que programas bem desenhados combinem definição robusta, incentivos proporcionais ao custo adicional e à área efetivamente em produção, além de monitoramento anual com penalidades/devolução do incentivo caso a produção diminua ou cesse [52].

Um importante projeto agrivoltaico nos EUA é chamado de *Jack’s Solar Garden* [53]. O *Jack’s Solar Garden* (Figura 22, Figura 23 e Figura 24) é uma fazenda solar de 1,2 MW em Boulder, Colorado, que gera energia suficiente para abastecer aproximadamente 300 residências e possui mais de 50 clientes residenciais, além de 5 clientes comerciais. O sistema agrivoltaico possui a característica de hospedar uma variedade de 40 tipos de plantas, incluindo amoras, ervas e tomates. Além disso, o local foi enriquecido com 3.000 árvores, arbustos e plantas amigáveis a espécies polinizadoras ao redor dos módulos FV (DOE, 2022).

**Figura 22 - Fazenda agrivoltaica para atrair espécies polinizadoras, tais como abelhas, mamangavas e borboletas**



Fonte: [14]

**Figura 23 - Colheita abaixo do sistema agrivoltaico no *Jack’s Solar Garden***



Fonte: [14]

**Figura 24 - Uma agricultora trabalha na colheita no *Jack's Solar Garden***



Fonte: [14]

Um outro exemplo de mais do que 25 locais de pesquisa do projeto InSPIRE é o projeto agrivoltaico em Grafton [54], localizado em Massachusetts, nos Estados Unidos (Figura 25). Essa instalação de grande escala é uma fazenda solar comunitária de 2 MW com uma capacidade de armazenamento de energia de bateria de 1,4 MW. O projeto integra a geração de energia FV, a produção agrícola no local e numerosas parcerias entre a comunidade de pesquisa.

**Figura 25 - Projeto agrivoltaico da *Grafton Solar***



Fonte: [136]

### 3.7 Coreia do Sul

A Coreia do Sul depende fortemente de importação de energia de outros países, com 95% de sua energia sendo fornecida com fontes advindas de fósseis combustíveis, tais como carvão e petróleo. A atual Lei de Terras Agrícolas sul-coreana proíbe qualquer uso de terras agrícolas para fins que não sejam a agricultura, considerando que o país é

pequeno e densamente povoado. Considerando que a maioria dos coreanos vive em apartamentos, sistemas em telhados têm um potencial pequeno de contribuição para geração de energia FV, o que torna o uso combinado do sistema agrivoltaico uma alternativa interessante para fornecer um vasto terreno para a geração de energia FV para a transição energética. Nesse contexto, nos últimos anos, vários os formuladores de políticas propuseram a revisão da Lei de Terras Agrícolas, para permitir a instalação de sistemas agrivoltaicos [55].

Até 2021, havia 44 projetos de sistemas agrivoltaicos no país, principalmente em escalas piloto e de pesquisa, implementados desde 2016. A principal motivação para o desenvolvimento de regulamentos nacionais deriva do potencial que os sistemas agrivoltaicos possuem, no que diz respeito a obter renda adicional para pequenos agricultores [55]. O ambiente regulatório para sistemas agrivoltaicos na Coreia do Sul passou por transformações recentemente, saindo da fase de propostas para a implementação legal. Em junho de 2024, entraram em vigor mudanças fundamentais, como a revisão da Lei de Terras Agrícolas e a Lei Especial de Promoção de Energia Distribuída. A revisão estendeu as permissões temporárias de uso da terra de 8 para 23 anos (alinhando-se à vida útil dos módulos FV), passou a incentivar o uso de terras agrícolas de qualidade inferior e estabeleceu um sistema de gestão rigoroso para garantir a continuidade da atividade agrícola. A Lei de Energia Distribuída forneceu o arcabouço legal para promover modelos FV diversos, criando zonas de energia distribuída e flexibilizando regulações para a participação governamental local [56].

Além disso, o setor aguarda um avanço ainda maior, no final de 2025 o Ministério da Agricultura, Alimentos e Assuntos Rurais sul-coreano anunciou planos para introduzir, em 2026, uma legislação marco dedicada exclusivamente à expansão e padronização do agrivoltaico. Essa nova lei visa simplificar os processos de licenciamento e aprovação para os produtores rurais e oferecer incentivos financeiros. Para apoiar esse movimento de transição verde, o Ministério do Comércio, Indústria e Energia (MOTIE) também anunciou a criação de um Centro Nacional de Pesquisa dedicado ao agrivoltaico, focado no desenvolvimento de melhores práticas, estudos sobre a aplicação de tecnologias FV em safras específicas e treinamento de agricultores e empresas de energia [57].

As empresas sul-coreanas têm demonstrado um forte interesse em sistemas agrivoltaicos. A Q Cells Division da Hanwha foi selecionada como parceira no Projeto de Padronização de Sistemas Agrivoltaicos pelo governo da Coreia do Sul. Em colaboração com a Universidade de Yeungnam e uma empresa local, a *Hanwha Q Cells* está trabalhando em avanços em sistemas agrivoltaicos associados a vários cenários agrícolas, incluindo a produção de *Oryza sativa*, campos agrícolas e pomares. A empresa fez investimentos significativos em pesquisa e

desenvolvimento, em particular em tecnologias e produtos de energia solar de próxima geração e está planejando alocar KRW 1,5 trilhão (USD 1,2 bilhão) em instalações de pesquisa e fabricação até 2025 [58]. A Q CELLS criou um módulo FV compacto, que possui a metade do tamanho

de um módulo FV tradicional (Figura 26). Isso assegura a utilização eficiente de instalações de energia solar em cenários agrícolas, permitindo a geração de energia elétrica enquanto simultaneamente fornece luz solar suficiente para o crescimento ideal das safras (QCELLS, 2021).

Figura 26 - Áreas rurais com sistema FV agrícola promovidas pela Q CELLS no vilarejo de *Gwandang*, em *Namhae*

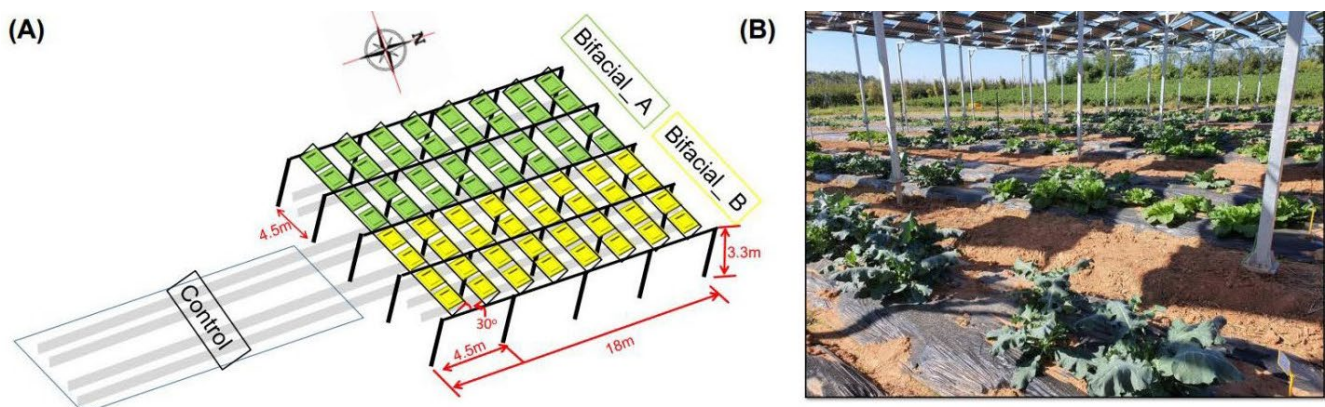


Fonte: [137]

O uso de terras agrícolas é crucial para a segurança alimentar do país, por isso, há uma grande preocupação sobre os impactos dos sistemas agrivoltaicos na produção de alimentos. Com base no contexto sul-coreano, há três lições de destaque: 1) projetos de pesquisa e comprovação devem demonstrar que o impacto do sistema agrivoltaico nas taxas de colheitas é aceitável para a segurança alimentar; 2) deve-se dedicar tempo para persuadir o setor agrícola e os ambientalistas sobre a aceitabilidade do impacto da tecnologia na segurança alimentar e na paisagem; 3) a revisão gradual da lei agrícola, para assegurar o interesse de todas as partes interessadas, incluindo o governo, os agricultores e os ambientalistas [55].

Em 2022, pesquisadores de Universidade Nacional de *Chonnam* publicaram os resultados de um estudo que avaliou a combinação de um sistema agrivoltaico com o cultivo de brócolis e repolho (Figura 27). O sistema utilizou módulos bifaciais em uma altura de 3,3 metros. Os pesquisadores analisaram o microclima, incluindo a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) e a temperatura do solo abaixo do sistema agrivoltaico, o que resultou em uma pequena diminuição na produção da safra e alterações em metabólitos no brócolis. No entanto, o sombreamento adicional no sistema agrivoltaico teve um impacto positivo na cor do brócolis, o que foi mais interessante em termos de preferência do consumidor [59].

Figura 27 - Informações sobre a estrutura agrivoltaica para esse experimento (A) e foto do cultivo em crescimento sob o módulo FV (B)



Fonte: [59]

### 3.8 Austrália

Fazendas solares de larga escala começaram a surgir na Austrália por volta de 2015, com início e desenvolvimento de práticas agrivoltaicas, principalmente dominadas por pastagem de ovelhas. A primeira experiência agrivoltaica teve início em 2015, na Royalla Solar Farm, com pastagem de ovelhas, seguida de mais de uma dúzia de outras fazendas solares com atividades de pastoreio [60]. Em 2020, há registro de pelo menos 13 fazendas solares de grande escala com atividades de pastagem de ovelhas na

Austrália (Figura 28). Atualmente, essa atividade ainda é a forma predominante de modelo agrivoltaico na Austrália, mas há outras formas de uso combinado no país, tais como horticultura, viticultura, aquicultura e cultivo, mas geralmente em uma escala muito menor [60].

Embora a Austrália tenha desenvolvido centrais pioneiras em sistemas agrivoltaicos há muitos anos, o país ainda carece de uma clara política e regulamentos para a tecnologia. A falta de conhecimento e impedimentos técnicos e econômicos têm desacelerado o desenvolvimento do setor [61].

**Figura 28 - Ovelhas desfrutam da sombra dos módulos FV no sistema da Gatton Solar Farm, na Universidade de Queensland (créditos da foto: Sarah Haskmann)**



Fonte: [61]

### 3.9 Espanha

A Espanha atualizou seu enquadramento nacional da Política Agrícola Comum (PAC) para incluir os sistemas agrivoltaicos como elegíveis a subsídios, desde que a agricultura permaneça como a principal atividade no uso da terra. Essa mudança foi estabelecida por um decreto que altera as regras da PAC definidas em 2022 e faz parte de um pacote mais amplo de atualizações aprovado pela Comissão Europeia em agosto de 2025.

Com o novo decreto, áreas de uso duplo, onde a geração solar e a atividade agrícola coexistem, passam, pela primeira vez, a poder receber pagamentos da PAC. O texto determina que toda área de lavoura cultivada ou de cultivo permanente sob instalações FV continuará recebendo subsídios, desde que fique comprovado que a agricultura segue sendo a atividade dominante. Segundo o governo, a medida busca incentivar modelos sustentáveis de produção agrícola e energética sem comprometer o uso agrícola da terra, mantendo a produção de alimentos e, ao mesmo tempo, ampliando as possibilidades para que mais agricultores se qualifiquem para o apoio e diversifiquem sua renda.

A nível regulamentar, a Espanha encontra-se atualmente em processo de introdução de uma definição legal para a tecnologia [28]. Os critérios técnicos que definirão, na prática,

como as operações solares e agrícolas poderão coexistir serão estabelecidos posteriormente e implementados assim que o Real Decreto que regula a elegibilidade para a PAC for finalizado e entrar em vigor. No período 2023–27, o quadro da PAC na Espanha inclui pagamentos diretos, que recompensam práticas ambientais e apoio direcionado a setores específicos como frutas, vinho e apicultura, além de programas de desenvolvimento rural voltados às economias regionais (*PVmagazine*, 2025). Além da PAC, embora ainda não existam esquemas de subsídios públicos de energia dedicados exclusivamente ao Agri-PV, o setor tem recebido apoio estatal através do Plano de Recuperação, Transformação e Resiliência (PRTR), financiado pelo programa *Next Generation EU*. Uma chamada recente destina fundos para 60 projetos (com capacidade total de 60 MW), exigindo que as propostas atendam a requisitos específicos relacionados ao rendimento agrícola, inovação e benefícios socioeconômicos e ambientais [28]. A regulação também determina que as autoridades relevantes e as partes interessadas locais sejam obrigatoriamente consultadas durante os processos de licenciamento.

Na Espanha existem alguns exemplos de sistemas agrivoltaicos, como o piloto “inteligente” da Iberdrola em vinhedos em *Guadamur*, que usa rastreadores e dados do campo para ajustar a posição dos módulos FV sobre as

videiras [62]; a instalação piloto da Família Torres no vinhedo Mas Rabell, em *Sant Martí Sarroca*, com cerca de 1.000 m<sup>2</sup> e estrutura elevada a aproximadamente 5 m para permitir a passagem de maquinário [63]; e o sistema em *Talayuela*, onde há pastoreio de ovelhas entre os módulos FV [64].

### 3.10 Japão

Os sistemas agrivoltaicos são bem conhecidos no Japão, no qual há mais de 5000 sistemas instalados, somando mais de 1GW de capacidade instalada destes sistemas [41], [65]. O primeiro projeto piloto no país, e no mundo, foi iniciado em 2004, na prefeitura de Chiba, por Akira Nagashima. Estima-se que os sistemas estejam associados a mais de 120 tipos de safras. A maior parte dessas fazendas são de pequena escala, cobrindo menos de 0,1 ha, ocupando um total de 560 ha [66].

Diversas políticas governamentais têm sido fundamentais para alcançar o desenvolvimento tecnológico do país. Em 2011, o esquema de Tarifa “*Feed-In*” (FIT) foi institucionalizado no país, com a operação oficialmente tendo início em 2012. Essa política teve o impacto mais significativo no crescimento da geração de energia FV na região, que aumentou em 76% de 2012 para 2019. Além da FIT, em 2013 o governo japonês criou o primeiro programa de financiamento de sistemas agrivoltaicos no mundo [25], e foi emitida uma portaria oficial que estipulou procedimentos e condições para permitir a conversão de terras agrícolas para uso agrivoltaico, seguindo as condições principais:

- (1) A estrutura de montagem é apenas temporária e facilmente removível;
- (2) O módulo FV escolhido não deve obstruir o crescimento da safra, assegurando a penetração suficiente da luz solar para o crescimento das plantas e pelo menos 2 m de altura do módulo acima do solo para a operação de maquinário agrícola;
- (3) A parcela da terra não deve interferir nas práticas agrícolas das áreas vizinhas, incluindo o sistema agrícola de drenagem, nem perturbar a implementação do “Plano de Manutenção da Área de Fomento Agrícola”;
- (4) O rendimento anual deve ser reportado e a redução de rendimento não deverá passar de 20% a partir do período anterior à instalação agrivoltaica.

Inicialmente, o proponente poderia aplicar a tecnologia por um período máximo de três anos. Contudo, a revisão das diretrizes em 2021 estendeu esse período de permissão para um máximo de 10 anos, reduzindo a carga administrativa para os desenvolvedores de projetos [67]. Essa mesma revisão de 2021 introduziu uma flexibilização importante: para terras certificadas como “degradadas” (em estado semelhante ao abandono e onde a continuidade da agricultura tradicional é difícil), a exigência de manutenção de 80% do rendimento agrícola (redução máxima de

20%) pode ser dispensada, visando promover a utilização efetiva dessas áreas ociosas. A permissão, no entanto, continua exigindo que o agricultor demonstre competência na gestão das atividades. Em 2020, a segunda emenda à Lei da FIT foi promulgada, trazendo várias mudanças importantes para a política, inclusive uma significativa para os sistemas agrivoltaicos: a exigência de que instalações FV de pequena escala (10 a 50 kW) devem atender a “requisitos de uso regional” para obter um certificado de FIT. A lei prevê tratamento preferencial adicional para sistemas agrivoltaicos, para incentivar o seu desenvolvimento. Há três “requisitos de uso regional”: (1) a taxa de autoconsumo deve ser de pelo menos 30%, (2) deve haver uma maneira de confirmar o autoconsumo real e (3) a energia elétrica gerada deve ser utilizável durante uma situação de desastre [66].

Em 2021, a Organização de Desenvolvimento de Nova Energia e Tecnologia Industrial (NEDO) do Japão divulgou novas diretrizes para desenvolver e construir instalações agrivoltaicas, em uma tentativa de aumentar a presença desses projetos no país, que estão passando dificuldades devido à escassez de terras. As diretrizes foram preparadas sob a supervisão do Ministério da Economia, do Comércio e da Indústria (METI) [68]. As diretrizes consideram que projetos agrivoltaicos não podem exceder a altura de 9 metros devido aos regulamentos de construções prediais. Além disso, projetos usando rastreadores/trackers ou instalações em estufas e galpões de horticultura foram excluídos das diretrizes. Mais recentemente, em abril de 2024, uma nova emenda à Lei de Terras Agrícolas estabeleceu diretrizes formais mais claras para o uso apropriado da tecnologia agrivoltaica. Essa emenda fortaleceu as medidas contra práticas inadequadas (como o abandono do cultivo e a proliferação de ervas daninhas, prática conhecida como ‘agrivoltaico de fachada’ ou ‘de álibi’), com o objetivo de apoiar projetos legítimos, compatíveis com a agricultura, e aumentar a transparência do mercado. Adicionalmente à Lei de Terras Agrícolas, os projetos no Japão devem estar em conformidade com um arcabouço complexo de outras legislações. Isso inclui a Lei do Setor Elétrico, a Lei de Normas de Construção (caso a estrutura seja classificada como edifício devido à sua fundação ou altura), a Lei do Corpo de Bombeiros, a Lei de Avaliação Ambiental (para projetos de grande escala) e a Lei da Paisagem, através da qual governos locais podem aplicar portarias rigorosas regulando a cor, a altura e a disposição dos painéis para preservar o cenário regional.

Assim como o cenário observado na França, onde casos com o desenvolvimento de projetos utilizando a agricultura apenas como “álibi” para ocupação de terras para expansão de projetos de geração de energia gerou forte resistência e forçou a criação de uma regulação mais estrita, o Japão também tem enfrentado desafios severos com sistemas com o mesmo contexto [41]. A falta de manejo agrícola, o abandono do cultivo e a conseqüente proliferação de ervas daninhas sob os módulos FV impactaram

negativamente a imagem e a promoção da tecnologia. Como resposta a essas práticas inadequadas, o governo japonês passou a aplicar medidas punitivas rigorosas: em agosto e novembro de 2024, os ministérios responsáveis (METI e MAFF) revogaram as licenças de tarifas feed-in (FIT) de 13 produtores de energia que operavam 29 fazendas agrivoltaicas, totalizando 342 violações da Lei de Terras Agrícolas [41]. Essas instalações, que somavam uma potência de 17,5 MW e recebiam cerca de 13 milhões de ienes mensais em subsídios, exemplificam como a ausência de um compromisso real com o cultivo obriga os países a intervir ativamente para suspender incentivos, proteger o uso do solo e combater a especulação.

**Figura 29 – Primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão**



Fonte: [69]

### 3.11 Chile

De acordo com Jung (2023), o Chile está entre os países mais afetados pelas mudanças climáticas, representando uma ameaça significativa para seu setor agrícola [70]. O país enfrenta o risco de tais consequências como perda de superfícies de solo de alta qualidade, principalmente por motivos de desertificação, erosão, contaminação e práticas inapropriadas de agricultura, que podem resultar em aumento de demanda por alimentos e energia [71]. As regiões norte e central, por exemplo, estão passando por uma seca há mais de 12 anos, resultando em uma grave escassez de água que afeta pequenos agricultores. Além da grave seca, outros desafios enfrentados pelos agricultores no Chile colocam em risco o rendimento das safras, tais como eventos climáticos imprevisíveis, como granizo, geada, chuvas intensas e irradiação excessiva.

Como resposta, o país vem utilizando o agrivoltaico como uma ferramenta estratégica para mitigar o estresse térmico das plantas e reduzir o consumo de água. Um marco

O primeiro projeto agrivoltaico vertical no Japão foi construído por meio de uma parceria entre a Luxor Solar KK e a Next2Sun AG (Figura 29), conforme reportado no website da Next2Sun [69]. Ao combinar produção agrícola com módulos FV os dispostos em uma orientação vertical, o projeto visa maximizar a utilização da terra e a geração de energia enquanto promove práticas agrícolas. A central foi construída para o ISEP – Instituto para Políticas de Energia Sustentável, que é uma organização de pesquisa sem fins lucrativos fundada no ano 2000, por especialistas em energia e ativistas do clima. A organização tem como objetivo fornecer recursos e serviços para criar uma sociedade voltada para a energia renovável.

fundamental ocorreu em 2025, quando a Comissão Nacional de Irrigação (CNR) incluiu, pela primeira vez, os sistemas agrivoltaicos nos concursos da Lei de Fomento à Irrigação. Essa política pública passou a prever subsídios estatais (que, para pequenos agricultores, podem ultrapassar 75% do investimento inicial em alguns cenários) para projetos que integrem a geração de energia solar à adoção de tecnologias de eficiência hídrica, como o gotejamento [72].

O desenvolvimento da tecnologia no país começou de forma pioneira na América Latina com a instalação, entre 2017 e 2020, de três projetos-piloto de 13 kWp nos arredores de Santiago: El Monte, Curacaví e Lampa (Figura 30) [12]. O projeto é apoiado pelo governo local e pelo Fraunhofer Chile Institute e os resultados desses estudos iniciais foram positivos: registraram uma redução de 40% na irradiação solar incidente, o que levou a um aumento de 29% na umidade do solo e a um salto de até 187% na eficiência do uso da terra no cultivo de alfaces. Desde então, o desenvolvimento do setor evoluiu e em meados de 2025, o país já contabilizava pelo menos 9 instalações [72].

Figura 30 – Projetos Piloto no Chile



Fonte: [12].

O principal marco da transição para a escala comercial é o projeto “Ayla Solar”, desenvolvido pela empresa O’Energy próximo a Rancagua. Com uma capacidade total de 9 MWp conectada à rede, esta usina (instalada sobre produção de cerejas) tornou-se o primeiro projeto agrivoltaico comercial de grande porte no Chile. Além dele, existem projetos do Centro de Energia da Universidade do Chile e novas pesquisas avançam em fruticultura de alto valor agregado, como o sistema implementado sobre cerejeiras pela Universidade Adventista do Chile [72].

Para padronizar e orientar o mercado frente a essa expansão, foi publicado em 2025 o primeiro “Manual para o Desenvolvimento de Projetos Agrivoltaicos no Chile”, elaborado por instituições como a Fraunhofer Chile e a GIZ. O documento organiza o design técnico em três grupos principais de culturas: cultivos de baixa altura (hortaliças e leguminosas), cultivos extensivos (como milho e trigo) e fruticultura. No cenário agrícola chileno, as configurações elevadas sobre produção de frutas (Grupo 3) ganham especial viabilidade econômica. Nesses casos, o uso de módulos FV (frequentemente semitransparentes) atua ativamente como uma barreira física contra geadas, granizo e o excesso de radiação causador de danos nas frutas, apresentando-se como uma alternativa sustentável e de longo prazo que substitui o uso e o descarte frequente de plásticos e mallas de proteção agrícola [72].

### 3.12 Índia

A Índia, um dos maiores países em capacidade solar instalada do mundo, enfrenta um duplo desafio: suprir a sua crescente demanda energética e, ao mesmo tempo, preservar terras férteis para garantir a segurança alimentar de sua vasta população. Nesse cenário, a integração agrivoltaica tem ganhado força como uma solução estratégica para aliviar a competição pelo uso do solo.

Atualmente, a Índia abriga dezenas de instalações cujas capacidades variam de poucos quilowatts (kW) até alguns megawatts (MW), como um projeto de 4 MW no Aeroporto de Cochin, sem ainda apresentar usinas em grande escala comercial (*utility-scale*). O desenvolvimento técnico nacional tem se concentrado em três configurações principais: módulos FV montados no solo com cultivo entre as fileiras (*interspace farming*), módulos ligeiramente elevados e o uso de estruturas totalmente elevadas que criam microclimas favoráveis e permitem o uso de maquinário agrícola e agricultores.

No âmbito regulatório, a Índia ainda carece de uma definição oficial consolidada e de regulação nacional dedicada exclusivamente a agrivoltaicos. Um dos maiores entraves legais reside na classificação de uso do solo: de acordo com as leis atuais, áreas designadas como rurais destinam-se exclusivamente à agricultura, exigindo que projetos FV passem por um processo complexo de conversão para “uso não-agrícola”, o que pode desqualificar os produtores de receberem incentivos ou proteção fiscal rural. Em nível federal, o governo lançou o programa PM-KUSUM para incentivar a energia solar no campo, porém o esquema prioriza o uso de terras áridas e incultiváveis, embora haja menções à instalação de módulos FV elevados em áreas agricultáveis, não há mecanismos financeiros claros que compensem o alto custo inicial (CAPEX) da infraestrutura necessária. Contudo, iniciativas promissoras vêm surgindo em nível estadual, destacando-se o esquema de Délhi (Mukhyamantri Kisan Aay Badhotri Solar Yojana), que autoriza as instalações em até um terço da propriedade, exigindo uma altura mínima de 3,5 metros para a passagem de tratores e garantindo uma remuneração extra de aluguel aos agricultores [73].

Do ponto de vista produtivo, devido à sensibilidade de preços do mercado energético indiano, a viabilidade dos projetos tem focado frequentemente na associação com safras comerciais e hortaliças de alto valor agregado, cultivando-se tomates, berinjelas, quiabo, plantas medicinais e especiarias, além de ensaios com grandes culturas como arroz e bananas [73]. A inovação tem se expandido também para a aquicultura (aquavoltaics), uma vez que a Índia é altamente dependente da criação de peixes. Estudos demonstram que o sombreamento gerado reduz a evaporação e o estresse térmico na água, aumentando a produtividade dos pescados [74]. O avanço da tecnologia e o contorno das barreiras de alto custo e da falta de mão de obra qualificada no país têm sido impulsionados por importantes redes de colaboração, como as pesquisas do Instituto Central de Pesquisa de Zonas Áridas (CAZRI), as diretrizes do Conselho Indiano de Pesquisa Agrícola (ICAR) e os esforços multissetoriais da nova Índia Agrivoltaics Alliance (IAA) [75]. Para que a adoção ganhe larga escala, as instituições recomendam a criação de uma categoria fundiária nacional própria para “terras agrivoltaicas”, viabilizando a coexistência jurídica da energia e da agricultura [76].



alguns casos, isso resulta em ganhos reais de produtividade, como demonstrado no projeto da UFAL (Alagoas), que registrou dentre seus resultados um aumento de 43,2% na produtividade da cana-de-açúcar sob os módulos FV [81].

Adicionalmente, o uso de configurações agrivoltaicas verticais pode contribuir como uma solução técnica em áreas com restrição de escoamento na rede elétrica, pois permite deslocar o pico de geração de energia solar, ajudando a evitar cortes por congestionamento na rede (curtailment), e, ao mesmo tempo permite manter a área amplamente disponível para maquinário pesado na agricultura ou proporcionar delimitação de áreas para pecuária. Do ponto de vista técnico e agrônomo, o cenário brasileiro apresenta oportunidades e desafios únicos.

De forma geral, um dos principais desafios para a implementação de sistemas agrivoltaicos em escala comercial é a disponibilidade de fornecedores preparados para atender demandas de projetos adaptados. Porém nos últimos anos, algumas empresas do mercado de energia solar estão aumentando o seu interesse em investir em projetos agrivoltaicos no Brasil. Em 2023 uma empresa fabricante nacional produziu um módulo fotovoltaico semitransparente, com maior espaçamento entre as células, adaptado para sistemas agrivoltaicos.

Apesar de não haver regulação no Brasil com relação a sistemas agrivoltaicos, é possível adaptar as aplicações agrivoltaicas ao enquadramento legal de geração distribuída existente, principalmente quando se considera a agricultura de pequena escala. No Brasil, a geração distribuída foi regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2012, por meio da Resolução Normativa REN 482/2012. A REN 482/2012 permitiu, dessa forma, que os consumidores brasileiros gerassem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecessem o excedente para sua rede de distribuição local [82].

A REN 482/2012 passou por um processo de revisão e, em 2016, a REN 687/2015 entrou em vigor, trazendo algumas mudanças e atualizações em relação à resolução anterior. Em 2022, o enquadramento legal para Microgeração e Minigeração (MMGD) e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) foram estabelecidos nos termos da Lei 14.300<sup>3</sup>, que é atualmente o instrumento legal vigente que regula e fornece todas as disposições legais para geração distribuída no País. Em fevereiro de 2023, a ANEEL publicou a REN 1059<sup>4</sup>, que revogou a REN 482/2012 e trouxe melhorias para a conexão e o faturamento de centrais de MMGD, como bem como regras para o SCEE, fazendo com que os regulamentos estivessem alinhados com as disposições

da Lei 14.300. Os principais impactos das mudanças entre a antiga REN 482/2012 e a Lei 14.300 atual podem ser encontradas em um publicações [83].

De acordo com a atual legislação, uma central de microgeração distribuída é aquela com capacidade instalada de até 75 kilowatts (kW). A minigeração distribuída possui uma potência instalada de 75 kW e menor que ou igual a 3 MW para fontes não despacháveis ou até 5 MW para fontes despacháveis.

O SCEE permite, por exemplo, o excedente de energia gerado por um sistema de MMGD FV durante o dia, para que possa ser injetada na rede e, à noite ou a qualquer hora, a rede devolva a energia para a unidade consumidora e atenda a necessidades adicionais. Quando a energia gerada em um determinado mês é maior do que a quantidade utilizada para compensar a energia consumida naquele período, o consumidor fica com a energia excedente que pode ser distribuída no mesmo mês para outras unidades consumidoras, dependendo do tipo de participação no SCEE, ou transformada em crédito para compensação de consumo nos meses seguintes. De acordo com as regras, os créditos são válidos por 60 meses.

No âmbito da REN 482/2012, todos os componentes da tarifa de energia elétrica foram compensados, ou seja, a cada 1 kWh injetado na rede, 1 kWh foi compensado. Com a Lei 14.300 atualmente em vigor, a compensação leva em conta todos os componentes tarifários, com exceção da chamada “TUSD Fio B”, que representa os custos da rede de distribuição e é calculada pela ANEEL tendo como base os custos das distribuidoras, ou seja, esse valor vai variar dependendo da distribuidora local [84].

Dado esse contexto, com o atual enquadramento legal para geração distribuída, agricultores podem gerar sua própria energia por meio do SCEE utilizando sistemas de MMGD FV, adaptando essa tecnologia para a aplicação de energia agrivoltaica. É compreendido que a GD seria, dessa forma, mais adequada para agricultores familiares e de pequena escala, pois esses sistemas são limitados a 3 MW para fontes não despacháveis, ou 5 MW para fontes despacháveis. Como regra geral, o cálculo para centrais FV no solo pode ser simplificado, de modo que 1 MW de energia FV ocupe uma média de 1 ha de terra. Em outras palavras, para a agricultura de grande escala, um sistema de GD deveria ocupar uma média de aproximadamente 3 a 5 ha de terra, o que é bastante insignificante para esses agricultores de grande escala. Sistemas agrivoltaicos que produzem energia para o mercado aberto poderiam ser mais apropriados para eles. No entanto, devido à complexidade do mercado aberto brasileiro, geralmente apenas as grandes empresas comerciais de energia estão envolvidas.

3 Lei 14.300/2022: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>

4 REN 1059/2023: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>

### 3.13.1 Considerações sobre o contexto nacional e internacional regulatório

A tecnologia agrivoltaica está em crescimento global, com vários países tomando medidas significativas para sua implementação e manutenção. Diretrizes foram estabelecidas ou estão em processo de desenvolvimento em países como Alemanha, Itália, Croácia, Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul, França e Espanha. Além disso, várias nações, incluindo Japão, França, Estados Unidos e Coreia do Sul já introduziram programas nacionais de financiamento para apoiar a adoção desses sistemas inovadores. Incentivos gerais, como o Tarifa “Feed-In”, que não são específicos para sistemas agrivoltaicos, existem em alguns destes países e podem servir como uma ferramenta para aumentar a viabilidade dos sistemas agrivoltaicos. Um importante aspecto ao analisar as diretrizes existentes na Itália, na Alemanha e em outros países, é a preocupação em manter as atividades agrícolas existentes após a introdução da tecnologia agrivoltaica. As medidas são mencionadas para monitorar e assegurar a continuidade da produção agrícola existente, com a agricultura sendo a atividade primária, enquanto a geração de energia será secundária. Na Alemanha, é exigida a elaboração de um plano de planejamento de produção, assegurando a existência de planejamento de safras, monitoramento e manutenção.

A falta de diretrizes ou regulamentos nacionais no Brasil poderia levar a algumas consequências negativas, tais como o que foi visto na França na década passada, situação na qual a ausência de critérios claros para sistemas

agrivoltaicos na rodada inicial de licitações resultou em alguns projetos com muito pouca ou mesmo não existente participação de produção agrícola. Esse resultado tem criado resistência ao sistema agrivoltaico, em especial dentro do setor agrícola [19].

No Brasil, a agricultura constitui um dos principais pilares da economia, e a geração de energia elétrica FV está em crescimento exponencial. No entanto, sistemas agrivoltaicos ainda não atingiram escala comercial no país. À medida que o Brasil passa para a fase de implementação comercial dos sistemas agrivoltaicos, é fundamental o alinhamento entre as partes envolvidas nos projetos e bom planejamento dos sistemas para geração eficiente de energia, a produção de alimentos e a manutenção adequada da safra, permitindo que o sistema seja caracterizado como agrivoltaico durante toda a sua vida útil.

Um resumo das estruturas regulatórias internacionais em países nos quais o desenvolvimento regulatório sobre agrivoltaicos tem avançado significativamente nos últimos anos está organizado na Tabela 2. A tabela foi inicialmente baseada no documento “Characterizing photovoltaic projects on agricultural land and agrivoltaics”, publicado em 2021 pela ADEME e foi adaptada conforme referências utilizadas para desenvolvimento deste estudo.

Tabela 2 - Resumo das estruturas regulatórias internacionais

País	Japão	EUA	Alemanha	Itália	China	Coreia do Sul	França
Regulamentos relacionados a terras agrícolas com energia FV	<p>A instalação em terras agrícolas exige uma “permissão de conversão temporária” sob a Lei de Terras Agrícolas, com prazo máximo de 10 anos, sendo proibido prejudicar as práticas agrícolas nas terras adjacentes.</p> <p>Em termos de zoneamento, regras mais flexíveis são aplicadas a terras classificadas como “degradadas” ou ociosas (onde a exigência de manter 80% do rendimento é dispensada).</p> <p>Além disso, projetos estão sujeitos à Lei da Paisagem, permitindo que governos locais apliquem portarias rigorosas de zoneamento que regulam a cor, a altura e o layout dos painéis para preservar a paisagem regional [85] [86].</p>	<p>Políticas operam majoritariamente em nível estadual ou municipal, sem um regulamento federal único [48].</p> <p>Existem restrições em áreas de conservação específicas dos estados [86].</p> <p>Em muitos casos existem “<i>special / conditional use permits</i>”, com exigências de recuos, altura, mitigação de brilho, plano de escomissionamento e limites de área.</p>	<p>Projetos agrivoltaicos de até 2,5 ha podem ser classificados como “instalações privilegiadas” sob o Código de Construção Federal (BauGB), o que facilita sua aprovação em “áreas externas” (fora dos planos regulares de desenvolvimento urbano), desde que não conflitem com a conservação da natureza [28]. Municípios podem designar em seus planos diretores áreas com sobreposição de uso, criando uma “área especial para agrivoltaico”. Em contrapartida, é geralmente proibida a instalação (ou o recebimento de subsídios) em zonas legalmente definidas como reservas de conservação da natureza, parques nacionais ou solos pantanosos drenados [25].</p>	<p>Regulamentações nacionais e regionais tendem a desencorajar fortemente ou proibir sistemas “entre fileiras” (não elevados) em favor de estruturas elevadas ou verticais, com o Decreto Agricultura de 2024 gerando incertezas sobre o banimento de instalações baixas em terras produtivas [28]. Em certas regiões, a conversão de “terras agrícolas permanentes básicas” é proibida.</p>	<p>Entre 2017 e 2023, o país permitia instalações em terras agrícolas comuns. Contudo, devido a conflitos de uso da terra e ameaças à segurança alimentar, novas intervenções do governo proibiram a instalação de projetos FV em terras agrícolas comuns e terras permanentes básicas a partir de 2023. O zoneamento atual direciona os novos projetos para áreas áridas, degradadas e desertos do oeste chinês [44].</p>	<p>A revisão da Lei de Terras Agrícolas (junho de 2024) estendeu a permissão de uso do solo de 8 para 23 anos e instituiu rigoroso monitoramento da continuidade agrícola. O governo incentiva o direcionamento dos projetos para terras agrícolas de menor qualidade. O país prepara a implementação de uma legislação marco dedicada para 2026, focada em agilizar licenças e aprovações [57].</p>	<p>O zoneamento é rigorosamente controlado pela Lei APER (2023) e decretos de 2024 para combater a especulação fundiária. A lei de zoneamento cria uma distinção clara: áreas consideradas “incultas” ou abandonadas há mais de 10 anos podem receber módulos FV no solo (sem agricultura), mas áreas produtivas só podem receber usinas se forem estritamente agrivoltaicas. Zonas sob recente consolidação fundiária ou de proteção agrícola especial possuem restrições severas e são excluídas dos documentos-quadro de permissão, e exceções aos limites de cobertura (acima de 40%) só ocorrem para pequenos projetos em zonas experimentais aprovadas pelas comissões departamentais (CDPENAF) [87].</p>

Definição de sistema agrivoltaico	Chamado de “energia solar compartilhada” definido como “uma instalação FV em terras agrícolas com continuidade das atividades agrícolas”. Critérios: sem deterioração da qualidade, rendimento >80% em uma média anual e altura >2 m [86]. Critérios: sem deterioração da qualidade, rendimento >80% em uma média anual e altura >2 m [86].	Atualmente, não há nenhuma definição oficial para sistemas agrivoltaicos.  O DOE usa uma definição operacional: <i>agrivoltaics</i> (ou <i>dual-use</i> ) é a inserção de produção agrícola (culturas, gado ou polinizadores) sob ou entre fileiras de módulos FV [88].  Já, a AFT descreve como áreas que integram a produção agrícola em parques FV para manter a terra com cultivos [52]. Além disso, citam o termo <i>Smart Solar</i> , que refere-se a projetos FV que atendem a três objetivos: (1) salvaguardar terras adequadas para agricultura e pecuária, (2) fortalecer a viabilidade agrícola e (3) acelerar o desenvolvimento da energia solar [89].	O uso combinado da mesma área para, primeiramente, a produção agrícola e, em segundo plano, a geração de energia FV [16].	Dividido em sistemas “básicos” e “avançados”. Exige-se um mínimo de 70% da superfície mantida para atividade agrícola e cobertura máxima de módulos FV de 40%. Sistemas avançados requerem altura mínima (2,1 m para cultivo e 1,3 m para pecuária) e adoção de sistemas de monitoramento contínuo [90]. Sistemas avançados requerem altura mínima (2,1 m para cultivo e 1,3 m para pecuária) e adoção de sistemas de monitoramento contínuo [90].	Oficialmente categorizado como projetos de uso duplo ou complementaridade agricultura-solar, pesca-solar e estufas-solar. Na prática, relatórios indicam que muitos projetos ignoraram o princípio de “uso duplo”, operando com taxas de cobertura dos módulos FV acima de 50%, o que bloqueou a luz solar e prejudicou as safras, motivando as proibições governamentais recentes [26].	Ainda não existe uma definição oficial, mas os sistemas são tratados na Lei Especial de Promoção de Energia Distribuída (2024) como um modelo de “energia solar compartilhada”. Há exigência de manutenção contínua das atividades agrícolas da propriedade, visando garantir a segurança alimentar.	A definição legal estabelece que a atividade agrícola deve permanecer a vocação principal da terra, sendo a geração de energia secundária. Para ser classificado como agrivoltaico, o sistema deve fornecer obrigatoriamente pelo menos um de quatro serviços diretos: melhoria agronômica, adaptação às mudanças climáticas, proteção contra intempéries ou melhoria do bem-estar animal [28], [39].
Culturas / Produção associadas aos agrivoltaicos	Gengibre-mioga, Cleyera japônica, arroz, cogumelos shiitake, mirtilos, chá, cebolinha, pasto, arroz, abóboras, dentre outras.	Colmeias (polinizadores), ovelhas, tomates, flores silvestres, amoras, ervas, soja e milho, dentre outras.	Trigo, aipo, batata, grama, mirtilos, framboesas, maçãs, uvas, hortaliças, morangos, dentre outras.	Azeitonas, amêndoas, figo, tomates, limão, dentre outras.	Chá, uvas, legumes e verduras, cogumelos, amoras, goji berries, pastoreio de ovelhas e aquicultura (peixes, camarão e caranguejo), dentre outras.	Brócolis, repolho, arroz, batata, cebola, cevada, feijão, alho, alface e cebolinha.	Ovelhas, colmeias, legumes e verduras, arboricultura, cereais, viticultura e pomares.

<p>Presença de investimentos ou ferramentas financeiras que fornecem suporte a sistemas agrivoltaicos</p>	<p>Pioneiro na criação de esquema de suporte em 2012 [25]. Grandes projetos transitaram do modelo de tarifas fixas (FIT) para prêmios de mercado (FIP) em 2022. Projetos que não mantêm a agricultura perdem o direito aos subsídios.</p>	<p>O DOE fornece amplo financiamento para pesquisa e implantação (ex: programas <i>FARMS</i> e <i>InSPIRE</i> com milhões de dólares alocados) [51]. Incentivos diretos como Tarifas <i>Feed-In</i>.</p>	<p>O Solarpaket 1 (2024) introduziu leilões dedicados (metas de 800 MW para 2025 e 1.200 MW para 2026). A lei EEG garante um “bônus tecnológico” adicional na tarifa e 85% de elegibilidade para subsídios agrícolas da PAC/CAP [28].</p>	<p>Projetos podem ser elegíveis para pagamentos diretos da PAC sob certas condições. O governo criou um pacote de incentivos entre € 1,1 e 1,7 bilhões específico para agrivoltaicos. Para acessar os fundos do Plano Nacional de Recuperação e Resiliência (PNRR), é obrigatório que os agricultores sejam coproprietários dos projetos [28].</p>	<p>Entre 2013 e 2023 houve massivo fomento governamental associado a programas estatais de energia renovável e alívio à pobreza. Com as novas restrições de uso do solo, o ritmo estagnou. Os investimentos de corporações de energia agora foram redirecionados para megasusinas integradas à restauração ecológica em áreas desertificadas e em áreas de mineração [44].</p>	<p>O governo anunciou a criação de um Centro Nacional de Pesquisa em Agrivoltaicos e o estabelecimento de “zonas de energia distribuída” com regulações flexibilizadas. Há a promessa de robustos incentivos financeiros atrelados à nova lei de 2026 para combater a volatilidade financeira e prover segurança de aposentadoria para agricultores [57].</p>	<p>O Estado fornece fomento robusto através de leilões específicos organizados periodicamente pela Comissão de Regulação de Energia (CRE). O mecanismo aloca cerca de 600 MW periodicamente para a tecnologia, segmentando as licitações em duas categorias principais: sistemas elevados e sistemas de entre fileiras [28].</p>
---	---	--	---	--	--	---	--

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

## 4. Sistemas agrivoltaicos no Brasil

### 4.1 Sistemas existentes

No Brasil, a tecnologia agrivoltaica ainda não está muito difundida quando comparado com outros países, mas alguns projetos foram identificados no país desde o ano de 2019. A grande maioria dos projetos identificados possuem o perfil de projetos piloto e têm uma conexão com instituições de pesquisa. A localização e a descrição técnica detalhada desses projetos agrivoltaicos existentes estão ilustrados em subcapítulos subsequentes, além das informações sobre sua capacidade instalada, produção de energia, características agrícolas e informações disponíveis sobre os resultados dos projetos.

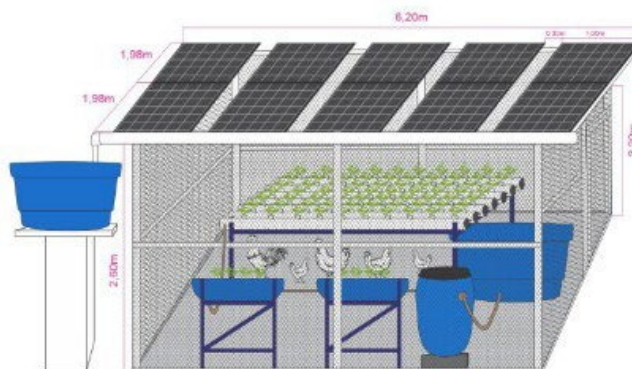
#### 4.1.1 Ecolume

Um exemplo de um sistema agrivoltaico desenvolvido para unidades familiares de produção agrícola na região semiárida do Brasil é o projeto Ecolume, localizado em Ibimirim/PE. O projeto foi desenvolvido por uma rede de mais de 40 pesquisadores e foi instalado em uma escola de agroecologia em Pernambuco, no ano de 2019. O modelo proposto consiste em “unidades familiares” que combinam geração de energia com a produção de legumes e verduras, peixes em tanques e galinhas, com o objetivo de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para muitas pessoas na região nordeste semiárida. O sistema agrivoltaico do Ecolume produz 17 tipos de legumes e verduras utilizando também um sistema aquapônico e duas proteínas animais, destinadas ao consumo dos alunos e funcionários da escola Serta, bem como sementes de umbu, que é uma árvore nativa da Caatinga, que são doadas para o reflorestamento do bioma (a Caatinga é um bioma típico da região semiárida no Brasil) [91]. A Figura 32 mostra um esquema do protótipo experimental, consistindo em 10 módulos FV, e um total de capacidade instalada de 3,3 kWp.

A unidade experimental (Figura 33) foi projetada para adequação às condições climáticas da região e ocupa uma área de 24 m<sup>2</sup>, com um custo aproximado de USD 4.000. De acordo com os resultados do projeto, a unidade demonstrou uma produção potencial de 4.800 kWh/ano de energia, 130 kg de peixe, 730 ovos de galinha caipira, 816 unidades ou 336 kg de legumes e verduras e 200 unidades de sementes de plantas nativas. Essa produção geraria uma receita anual total de cerca de USD 2.000.

As descobertas do projeto revelaram possibilidades de desenvolvimento na região semiárida brasileira, considerando aspectos das mudanças climáticas e o potencial significativo da energia solar na região por meio de arranjos produtivos locais que contribuam para a geração de renda familiar e a conservação do bioma da Caatinga [92].

Figura 32 - Sistema agrivoltaico proposto no projeto Ecolume



Fonte: [92]

Figura 33 - Sistema agrivoltaico e montagem do sistema aquapônico abaixo dos módulos



Fonte: [92]

O sistema tem gerado resultados promissores até o momento, confirmando seu potencial de gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos para a região, no entanto, desafios estruturais foram observados, especialmente a falta de políticas públicas de incentivo [91].

#### 4.1.2 Aldeia Pankará

Outro projeto piloto na região Nordeste foi idealizado e desenvolvido pelo Centro Cultural Brasil-Alemanha /Recife junto com representantes da Aldeia Serrote dos Campos do Povo indígena Pankará, no ano de 2020. O projeto contou com um financiamento inicial da organização alemã *atmosfair gGmbH* e por parte da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e da Universidade Federal

de Pernambuco (UFPE). Posteriormente a iniciativa ainda recebeu apoio da ONG alemã *Brasilieninitiative Freiburg e.V.*

O projeto visa fornecer água potável segura para cerca de 150 famílias e mais água bruta do Rio São Francisco para cultivo de legumes e verduras e a criação sustentável de peixes por meio de uma bomba d'água alimentada por energia solar, em combinação com a tecnologia agrivoltaica (Figura 34). O projeto está localizado no bioma brasileiro da Caatinga, na Microregião do Sertão de Itaparica (PE).

O projeto consiste em um sistema de energia solar de 33 kWp com 3 metros de altura acima do solo, sob as quais uma horta de 400 m<sup>2</sup> foi estabelecida [93]. De acordo com o relatório publicado pela *atmosfair gGmbH*, o sombreamento protege do forte sol e das altas temperaturas da Caatinga brasileira. O cultivo de melão foi integrado ao

sistema agrivoltaico em parceria com pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) (Figura 35). A água de chuva das placas solares ainda está sendo captada para uma cisterna de 52.000 litros localizado ao lado do sistema. O projeto prioriza a produção de alimentos orgânicos, a geração de energia e a preservação ambiental, em alinhamento com o conceito de agroecologia [94]. Além da agricultura representada por uma central agrivoltaica, também foi implementada uma instalação de aquicultura, na qual a água e as águas residuais dos tanques de peixes são utilizadas para irrigar e fertilizar árvores frutíferas. Além disso, um sistema aquapônico foi construído para o cultivo eficiente de ervas e verduras [93]. Atualmente tanto os peixes como as verduras são destinados à merenda escolar em duas escolas indígenas na aldeia.

**Figura 34 - Representantes da aldeia Pankará e do Centro Cultural Brasil-Alemanha na área do projeto**



Fonte: [93]

**Figura 35 - Plantação de melão no sistema agrivoltaico**



Fonte: [94]

### 4.1.3 UFAL

O projeto agrivoltaico piloto foi desenvolvido pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), e a Usina Santa Clotilde, localizado no município de Rio Largo, conforme apresetando na Figura 36. O principal objetivo do sistema é avaliar o desempenho da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cultivada em

associação com o sistema FV, com o objetivo de melhor compreender e determinar a eficiência no uso da terra sob essa condição. Para este projeto, esquisas foram conduzidas para avaliar a viabilidade desse método de produção com a cana-de-açúcar como safra. As atividades agrivoltaicas no local tiveram início em dezembro de 2021, com finalização do plantio em dezembro de 2022 [81].

**Figura 36 - Vista aérea do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da UFAL**



Fonte: [95]

O sistema FV possui potência nominal instalada de 71,4 kW e foi comissionado no ano de 2022. O sistema é composto por dois inversores, com potências nominais de 33 kW e 40 kW, respectivamente. A ancoragem estrutural é realizada por meio de blocos de fundação em concreto armado, dimensionados para assegurar estabilidade global frente às solicitações permanentes e variáveis, incluindo ações de vento e demais cargas ambientais. O sistema estrutural é composto por sete pórticos metálicos, cada um formado por duas colunas em perfis tubulares de aço (250 × 150 mm) e um eixo horizontal de 15 m. As vigas transversais possuem seção de 200 × 75 mm, com mesas de 25 mm e espessura de 4,75 mm. As estruturas estão implantadas a uma altura entre 7 m e 8 m do solo, permitindo a operacionalização mecanizada das atividades agrícolas. Cada pórtico suporta duas fileiras contendo 15 módulos FV policristalinos de 340 Wp cada. Os sistemas agrivoltaicos para cultivo de cana-de-açúcar necessitam de estruturas mais altas quando comparados com projetos agrivoltaicos típicos em todo o mundo, para acomodar as plantas que podem chegar até 6 metros. A manutenção das estruturas metálicas, incluindo pintura a cada seis meses, tratamentos especiais e revestimentos fizeram parte das atividades do projeto (Figura 37). A fundação é feita de concreto reforçado, projetado para resistir às rajadas de vento região. O sistema agrivoltaico foi integrado a uma área na qual já havia sido estabelecido o cultivo de cana-de-açúcar (Figura 38).

**Figura 37 - Sistema agrivoltaico com sete estruturas de módulos FV**



Fonte: [81]

**Figura 38 - Área em que o sistema foi instalado, com a plantação de cana-de-açúcar**



Fonte: [96]

[81] apresenta que a produtividade do colmo de cana foi 43,2% maior nas áreas agrovoltáicas em comparação com uma área de referência sem módulos FV, devido a um índice de área foliar mais elevado ao longo do ciclo. A elevação dos módulos FV gera sombreamento intermitente ao longo do dia, promovendo moderação térmica no dossel da cultura. Para a cana-de-açúcar, esse efeito pode reduzir o estresse térmico em períodos críticos, diminuir a evapotranspiração, um aspecto relevante em regiões semiáridas, e contribuir para a conservação da umidade do solo e manutenção do índice de área foliar. Contudo, a eficiência do sistema depende do adequado dimensionamento do espaçamento e da altura das estruturas, bem como da capacidade adaptativa da cultura às novas condições microclimáticas impostas pelo sombreamento.

#### 4.1.4 Agri Solar Farm

O projeto *Agri Solar Farm* está localizado em Sorocaba/SP, associado às atividades do Centro de Excelência Solar desenvolvido pela *Nextracker* em parceria com o FIT – *Flextronics* Instituto de Tecnologia, com operação voltada a P&D, demonstração tecnológica e suporte à execução de projeto se iniciou em 2022 e o primeiro ciclo de cultivo ocorreu em 2023.

O conjunto de aplicações agrovoltáicas no Centro dispõe de uma área dedicada de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup>, com capacidade de 600 kW, inserida em um complexo de P&D que alcançou cerca de 46.000 m<sup>2</sup> após expansão realizada em 2024, e que vem sendo utilizado para investigar, de maneira aplicada, como culturas agrícolas respondem ao crescimento entre fileiras de rastreadores, bem como para testar soluções específicas de software e recomendações de projeto voltadas ao uso dual do solo [97].

A ampliação e a estruturação do Centro também são descritas como parte de um escopo mais amplo de laboratórios e ensaios ao ar livre dedicados ao ciclo de vida de plantas FV (da concepção à O&M), com ênfase na integração entre geração e práticas agrícolas, preservação do solo e capacitação técnica, incluindo a formação de centenas de profissionais por meio de cursos e treinamentos especializados [98].

No contexto do *Agri Solar Farm*, o sistema ocupa uma área de 2.000 m<sup>2</sup>, com 10 trackers de orientação norte-sul, combinando *NX Horizon* e *NX Hail Pro*, altura de 1,5 m no tubo de torque e espaçamento entre fileiras (pitch) em torno de 6 m. O GCR do piloto varia de 31,4% a 38,2%, em diferentes setores do piloto [45] [99].

O sistema contempla uma ampla gama de produção, incluindo hortaliças, grãos e fibras (como trigo, soja e amendoim), além de bovinos, o que permite observar respostas sob diferentes exigências ecofisiológicas e manejos. Em paralelo, os estudos conduzidos no Laboratório Solar da FIT indicam um protocolo de avaliação que combina desenho experimental em múltiplas culturas, amostragens

padronizadas em posições relativas ao rastreador (sob o tracker, na borda de gotejamento e no centro do corredor), e medições sistemáticas de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) com alta resolução temporal, assegurando rastreabilidade metodológica para relacionar distribuição de luz e desempenho agrônômico [100].

Dois trabalhos já foram publicados com resultados de pesquisas conduzidas no centro, que demonstram desempenho energético equivalente ao de usinas FV convencionais. Além disso, resultados indicam que o sombreamento parcial promovido pelos rastreadores resulta em ganhos de eficiência hídrica, com aumento da umidade do solo da ordem de 31% para soja, 42% para trigo, 39% para abobrinha e 12% para morango, reduzindo a evapotranspiração e o estresse hídrico das culturas. Para um conjunto de 14 cultivos testados, incluindo grãos, folhosas, raízes e frutos, observou-se que culturas como trigo, soja, aveia-preta e acelga não apresentaram perdas estatisticamente significativas de produtividade em relação a áreas de referência em campo aberto [99].

No experimento com amendoim, embora tenha sido registrada redução de biomassa em relação ao controle agrícola, os parâmetros morfofisiológicos permaneceram estáveis e o impacto energético foi marginal, resultando em EPI  $\approx$  0,96, valor compatível com a variabilidade operacional de usinas comerciais [101].

Figura 39 – Um dos sistemas piloto da *Agri Solar Farm*



Fonte: [99]

#### 4.1.5 CCampo

Na região Norte do Brasil, no estado do Pará, outro projeto piloto foi recentemente desenvolvido com o apoio da Associação de Cooperativas Alemãs DGRV, a Organização das Cooperativas Brasileiras OCB e o Laboratório Fotovoltaica/UFSC (<https://fotovoltaica.ufsc.br/>). O sistema agrovoltáico da cooperativa CCampo foi

instalado em janeiro de 2023, possui 74.5 kWp e combinou técnicas agrivoltaicas com práticas agrícolas orgânicas e agroecológicas (Figura 40). CCampo é uma cooperativa agrícola na região oeste do estado do Pará, no Norte do Brasil, compreendendo mais de 200 famílias cooperadas, com a missão de fortalecer a agricultura familiar e fornecer produtos regionais aos consumidores, com toda a segurança e confiabilidade. O sistema agrivoltaico produzirá pimentões, couve kale, coentro e cebolinha. Além disso, o projeto envolveu treinamento dos membros da cooperativa sobre sistemas agrivoltaicos e práticas orgânicas de agricultura.

Os créditos de energia gerados pelo sistema agrivoltaico são utilizados para reduzir os custos de energia da agroindústria da cooperativa, os quais incorrem em altos gastos com energia na produção de polpas de frutas, às vezes chegando a 8.000 kWh/mês, equivalente a uma conta de energia elétrica no valor de R\$ 10.000 por mês. Sistemas agrivoltaicos, como no caso da cooperativa CCampo, apresentam uma oportunidade significativa para cooperativas brasileiras, pois as cooperativas agrícolas podem investir em sistemas agrivoltaicos e criar novos modelos de negócios de Energia Cooperativa com o uso dos créditos gerados. Esses créditos de energia podem ser utilizados para reduzir a conta de energia elétrica da própria cooperativa, e também podem ser distribuídos para membros da cooperativa e outras organizações parceiras.

**Figura 40 - Membros da CCampo, OCB e Fotovoltaica/UFSC na frente do sistema agrivoltaico em construção e cooperados realizando o plantio na área de controle próxima à central**



Fonte: Autores (2026)

#### 4.1.6 Cemig, da EPAMIG e CPQD

Um projeto agrivoltaico no Brasil está localizado no estado de Minas Gerais, um estado com importância agrícola significativa e um dos principais contribuintes para a geração de energia solar no Brasil. O projeto foi desenvolvido em colaboração entre a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD). O projeto envolve a instalação de unidades piloto para testar vários arranjos de safras e adaptar tecnologias a diferentes condições de clima e solo [102].

O projeto tem como objetivo abordar os desafios técnicos, as consequências sociais para pequenos agricultores e o desenvolvimento de fornecedores em potencial para a indústria [102]. As atividades agrícolas selecionadas para os locais de teste são melancias, morangos, feijões, alface e pastos para gado. É esperado que o projeto avalie aspectos agrônômicos, a eficiência do uso da água e a qualidade final da produção de energia e de alimentos [103].

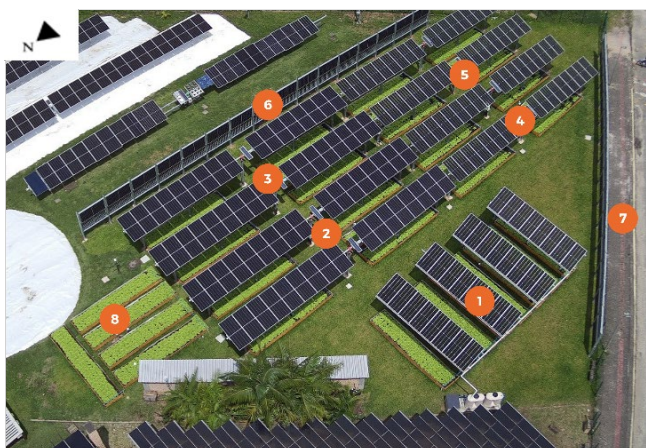
#### 4.1.7 Fotovoltaica UFSC e Repsol Brasil

Outro projeto que teve início em 2024 resulta da colaboração entre o Laboratório Fotovoltaica/UFSC (<https://fotovoltaica.ufsc.br/>) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Repsol Brasil, braço brasileiro da empresa espanhola de petróleo e gás Repsol. O foco do projeto consiste na avaliação de diferentes tecnologias FV aplicadas a sistemas agrivoltaicos e na análise de seus efeitos sobre a produção agrícola. O sistema experimental possui pouco mais de 100kWp e está instalado em Florianópolis, a 27°S de latitude, e possui uma capacidade instalada total de 108 kWp, distribuída em seis principais subsistemas, demonstrados na Figura 41:

- (1) Sistema fixo orientado para o norte;
- (2) Rastreador 1 eixo convencional;
- (3) Rastreador 1 eixo otimizado;
- (4) Rastreador 1 eixo convencional (módulos semitransparentes);
- (5) Rastreador 1 eixo otimizado (módulos semitransparentes);
- (6) Vertical Leste-Oeste;
- (7) Vertical.

Dos rastreadores, metade operam com módulos bifaciais convencionais e os outros utilizam módulos bifaciais semitransparentes, feitos especificamente para aplicação em sistemas agrivoltaicos. O projeto também possui uma área de controle sem cobertura FV, permitindo análises mais precisas dos efeitos do sombreamento e da modificação dos microclimas.

**Figura 41 - Vista aérea sistema agrivoltaico Fotovoltaica/UFSC e Repsol**



Fonte: [138]

Atualmente, no espaço experimental é cultivada alface (*Lactuca sativa*) da cultivar Elisangela, distribuído em 37 canteiros, cada um deles com 4 linhas de produção que somam 96 mudas em cada. Além disso, em etapas futuras serão avaliadas outras culturas e algoritmos de rastreamento adaptados para potencializar benefícios para a agricultura em sinergia com otimização para geração de energia. O projeto visa poder avaliar produtividade agrícola e diferenças entre as configurações das estruturas, permitindo a observação direta dessas interações entre as diferentes configurações FV e o desenvolvimento das plantas em condições reais de campo, podendo comparar assim cenários reais brasileiros da agricultura com os resultados do mesmo sistema adicionado ao de geração de energia.

**Figura 42 - Sistema agrivoltaico Fotovoltaica/UFSC e Repsol**



Fonte: [138]

O piloto conta com um completo sistema de sensoriamento incluindo sensores ambientais para coleta de dados climáticos, como anemômetros, termohigrômetros, pluviômetro, barômetro, sensores focados no sistema FV, incluindo piranômetros, células de referência, sensores de temperatura de módulo, e sensores específicos para acompanhamento do cultivo, como sensores de temperatura e umidade do solo, de radiação PAR e Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Cada subsistema possui um kit de sensores para possibilitar a comparação dos efeitos das diferentes configurações agrivoltaicas no microclima, geração de energia e cultura agrícola.

#### 4.1.8 Beevolt e Introdução de Ovelhas - EDP Brasil

A EDP Brasil possui dois projetos agrivoltaicos implementados, os quais surgiram de adaptações de usinas existentes. Um dos projetos foi denominado *BeeVolt*, e consiste na incorporação de abelhas nativas na usina solar de Roseira, no interior de São Paulo, com foco na conservação ambiental e de biodiversidade. Um meliponário, conjunto de caixas destinadas à criação de abelhas nativas sem ferrão foi inserido em 2024 na usina existente, trazendo indivíduos da espécie mandaçaia (*Melipona quadrifasciata anthidioides*), considerada extremamente importante para o equilíbrio ecológico e ameaçada de extinção. Essas abelhas exercem papel essencial na polinização, assim garantindo formação de frutos e sementes e contribuindo diretamente para a manutenção da biodiversidade local. A usina de Roseira possui 75 kW, e além de produzir energia renovável também é uma usina com foco social, destinando créditos de eletricidade a cerca de 154 famílias em situação de vulnerabilidade [104], [105].

O outro projeto da EDP foi implementado no ano de 2025, e é focado na alocação de ovinos (ovelhas) em uma usina de 252 MWp, como estratégia para controle de vegetação, no lugar de capina com maquinários ou capina química. No caso da capina mecânica, destacam-se limitações como o alto custo operacional, a dependência de maquinário específico e os riscos associados à operação, incluindo danos a equipamentos, estruturas ou culturas adjacentes, além de questões relacionadas à segurança do trabalho. Já o controle químico, realizado por meio da aplicação de herbicidas, enfrenta exigências crescentes de licenciamento e regulamentação, maior pressão ambiental devido aos potenciais impactos no solo, na água e na biodiversidade, e uma redução da aceitação social, especialmente em contextos que demandam práticas mais sustentáveis [106]. O outro projeto da EDP é focado na alocação de ovinos (ovelhas) em uma usina de 252 MWp, como estratégia para controle de vegetação, no lugar de capina com maquinários ou capina química.

O projeto de introdução de ovelhas para manejo da vegetação foi implementado em setembro de 2024. A iniciativa destina 68 ha como área de pastejo, além de 2,3 há reservados para

áreas de quarentena e enfermária, garantindo manejo sanitário adequado e controle do rebanho. O sistema conta com 6 a 8 ovinos por ha, parâmetro utilizado para dimensionamento e planejamento do rebanho. O projeto foi iniciado com um lote inicial de 50 ovelhas e, ao longo do período operacional, expandiu-se até atingir 845 animais, aproximando-se da capacidade estimada para a área disponível. A operação conta com uma equipe composta por três funcionários e um cão da raça Border Collie, responsável

pelo apoio no manejo e condução do rebanho. Esse modelo operacional permite maior eficiência na movimentação dos animais entre setores, contribuindo para um pastejo mais uniforme e para a manutenção adequada da vegetação [106]. Esse modelo operacional permite maior eficiência na movimentação dos animais entre setores, contribuindo para um pastejo mais uniforme e para a manutenção adequada da vegetação [106].

**Figura 43 – Ovelhas na Usina Pereira Barreto da EDP Brasil**



Fonte: [139]

O projeto adota um modelo de parceria em que a empresa disponibiliza o terreno para pastejo, mas não detém a posse do rebanho. A atividade pecuária é conduzida por um produtor rural parceiro, responsável pela gestão dos animais, incluindo manejo, sanidade e comercialização. Para além da redução de OPEX da usina, outras vantagens são a estabilização do solo por meio da manutenção da cobertura vegetal e dos sistemas radiculares, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao menor uso de tratores e equipamentos a diesel, o aumento do estoque de carbono no solo, a substituição de herbicidas, a ciclagem de nutrientes via esterco e a compatibilidade com sistemas agrovoltáicos. Contudo, o modelo também apresenta desafios relevantes, como a escalabilidade do rebanho em áreas muito extensas, limitações logísticas (capacidade de abate e disponibilidade de fornecedores locais), além de fatores comportamentais dos animais, como pastejo seletivo e desempenho reduzido em períodos de estiagem. Esses aspectos exigem planejamento técnico e gestão contínua para garantir eficiência operacional e sustentabilidade de longo prazo [106].

#### 4.1.9 Vênus Energia + UFCG

Esta iniciativa foi desenvolvida em 2025 no Cariri paraibano, e evidencia mais um exemplo de agrovoltáico aplicado no contexto da agricultura familiar em regiões semiáridas brasileiras. No ano de implantação do projeto, ocorreu um evento onde estudantes, docentes e técnicos do CDSA da Universidade Federal de Campina

Grande (UFCG) realizaram um mutirão de plantio nas propriedades, onde foram construídos canteiros e sementeiras sob módulos FV instalados a mais de dois metros do solo, permitindo assim a utilização simultânea da área para a produção agrícola e também para a geração de energia [107]. A atividade também contribuiu para a conscientização sobre conservação do solo e a distribuição de compostos orgânicos, húmus e biofertilizantes às famílias, integrando diferentes projetos de extensão e reunindo estudantes de distintas áreas do conhecimento em uma ação de caráter interdisciplinar. A empresa Vênus Energia Regenerativa contribuiu com o projeto por meio da doação e instalação das estruturas FV utilizadas na área, possibilitando assim a viabilização do sistema implantado [107], [108].

#### 4.1.10 Sistema Agrovoltáico – AgriPV Brasil

O projeto Sistema Agrovoltáico – AgriPV Brasil, localizado no Campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ-USP, em Piracicaba-SP, é uma parceria entre o Instituto de Energia e Ambiente da USP (IEE), a ESALQ-USP, o *Research Center for Greenhouse Gas Innovation (RCGI/USP)*, a *Innova Power* e a *TotalEnergies*. O projeto, coordenado pelos professores Maurício Cherubin e Roberto Zilles, foi pensado para testar configurações de uso duplo do solo sob módulos FV, avaliar como o sombreamento e a microclima gerado pelos módulos afetam produtividade e saúde do solo, e servir como modelo replicável para adaptação climática e segurança energética local [109].

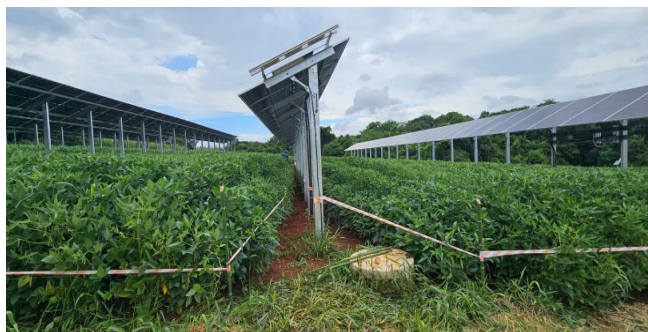
Figura 44 – Agri-PV System



Fonte: [140]

Com relação às características do sistema FV, ao total são três sistemas de 60kWp, dos quais dois deles foram projetados e executados com estruturas de montagem clássica de usina em solo com estrutura biposte, onde existe o cultivo de braquiárias e uma área com a vegetação suprimida. O sistema elevado possui altura da parte mais baixa do módulo de 2,5 metros, e possui um maior distanciamento entre as fileiras, na área de cultivo de soja, milho e sorgo.

Figura 45 – Sistema com soja (esquerda) e sistema com braquiárias (direita)



Fonte: [140]

#### 4.1.11 SUNfarming

Fundada em 2004, a *SUNfarming* desenvolveu diferentes tipologias de sistemas FV em diversos países e, nos últimos cinco anos, passou a direcionar parte de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento para sistemas Agri-PV, tendo implantado seu primeiro projeto piloto na África do Sul. Atualmente, a empresa identifica o Brasil como um de seus principais mercados estratégicos, em função das condições climáticas favoráveis e do potencial de integração entre geração de energia FV e produção agrícola [99].

No contexto brasileiro, a *SUNfarming* implantou, em 2025, dois sistemas agrivoltaicos piloto, sendo dois no estado do Ceará, nos municípios de Caucaia e Croatá, e um está em desenvolvimento no município de Belterra (PA). O projeto de Caucaia está associado ao Centro de Pesquisa e Treinamento AgriSolar da *SUNfarming*, concebido para integrar geração FV, cultivo agrícola e capacitação profissional. O sistema segue as especificações técnicas da norma alemã DINSPEC para agrivoltaicos, com altura mínima de 2,1 m entre o solo e a parte inferior dos módulos, e utiliza exclusivamente módulos FV bifaciais de vidro duplo transparente, permitindo simultaneamente a passagem parcial da radiação solar para as culturas e o aproveitamento do albedo do solo para incremento da geração elétrica [99].

Do ponto de vista agrícola, o sistema de Caucaia emprega duas tipologias estruturais: a mesa Agri-Solar, voltada ao cultivo de hortaliças de porte médio, como o tomate, e o sistema guarda-chuva, destinado ao desenvolvimento de pequenas árvores frutíferas. O projeto apresenta ainda um componente social relevante, com a capacitação prática de aproximadamente 40 pessoas associadas a um centro de reabilitação, em atividades relacionadas à instalação, montagem e operação de sistemas agrivoltaicos e às práticas agrícolas associadas. Em Croatá (CE), foi implantado um sistema de 11,5 kWp, com foco na avaliação do desempenho agrônomo da pitaya (*Hylocereus spp.*) sob sombreamento parcial, enquanto em Belterra (PA) será instalado um sistema piloto de 17,25 kWp, em parceria com a Cooperativa Amabella, envolvendo majoritariamente mulheres agricultoras, com previsão de expansão futura para 750 kWp, cobrindo aproximadamente 1 ha [99], [110].

De forma complementar, os projetos da *SUNfarming* no Ceará estão inseridos em uma estratégia mais ampla de integração entre sistemas agrivoltaicos e a produção de hidrogênio verde, especialmente em regiões com elevada complementaridade entre recursos solares e eólicos, como o entorno do Complexo Industrial e Portuário do Pecém. A proposta consiste na utilização da eletricidade gerada por sistemas Agri-PV, combinada à geração eólica, para alimentar eletrolisadores destinados à produção de hidrogênio verde, posteriormente convertido em amônia verde ou e-metanol, visando aplicações industriais e potenciais mercados de exportação [99].

**Figura 46 – Sistema da SUNfarming**

Fonte: [110]

#### 4.1.12 Sistema Agrivoltaico de Produção Pecuária

O projeto Sistema Agrivoltaico de Produção Pecuária foi implantado em 2025 na Fazenda Lageado, pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, no município de Botucatu - SP. A iniciativa conta com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. A área experimental é destinada ao manejo de bovinos leiteiros em pastejo rotacionado e foi concebida para integrar a geração de energia FV com a produção animal,

**Figura 47 – Sistema agrivoltaico de Produção Pecuária**

Fonte: [141]

#### 4.1.13 Considerações sobre os sistemas agrivoltaicos existentes no Brasil

A tecnologia agrivoltaica está ganhando força no Brasil, com apenas poucos projetos mostrando seu potencial em diversos cenários agrícolas até o momento. Em sua maioria, os projetos brasileiros possuem perfil experimental, com parcerias com ICTs. Esses projetos piloto destacam

visando contribuir com melhorias do ambiente térmico. O sistema é composto por uma área de pastagem dividida em seis piquetes, totalizando 72 módulos FV instalados no centro das áreas de pastejo. Três piquetes receberam módulos na posição disposição retrato e três na disposição paisagem, com 12 módulos por piquete em cada configuração. Os módulos (580 Wp, 22,45% de eficiência) foram instalados lado a lado, em orientação Leste-Oeste, voltados para o norte verdadeiro, a 2,30 m de altura e inclinação de 10°. Cada configuração proporciona aproximadamente 24 m<sup>2</sup> de área sombreada útil por piquete (cerca de 1,2% da área total). O sistema conta com 18 microinversores, organizados em linhas de 12 módulos, sendo três microinversores por linha, com 4 módulos conectados a cada equipamento.

Os resultados preliminares indicam uma melhoria no ambiente térmico da área com a presença dos módulos FV, quando comparada à área sem sombra: redução de 1,5 °C na temperatura do ar, 4 °C na temperatura de globo negro e até 8 °C na temperatura superficial do solo. Este ambiente mais ameno favoreceu comportamentos de conforto, como ócio e ruminância deitada, no sistema com os módulos FV. Além disso, os animais utilizaram as estruturas metálicas para se coçar, um comportamento de alta motivação para bovinos. Isso evidencia o potencial dessas estruturas como enriquecimento ambiental.

a diversidade do País em termos de condições climáticas e potencial agrícola, o que pode refletir em um grande potencial para adaptação de diversas aplicações agrivoltaicas para o contexto e a necessidade regionais. A Tabela 3 apresenta o resumo de todos os projetos agrivoltaicos identificados no Brasil até o desenvolvimento deste relatório.

Tabela 3 - Tabela de resumo dos projetos agrivoltaicos identificados no Brasil

Nome do projeto	Instituições envolvidas	Ano de início	Produção agropecuária	Características FV	Localização	Clima [111]
Ecolume	Mais de 40 pesquisadores e equipe destes locais: IPA, Serta, VertSol, Inpe, Embrapa, Insa, entre outros	2019	Sistema de aquaponia com vários legumes e verduras, sementes de árvores nativas, peixes e ovos	3,3 kW, pequenas unidades familiares replicáveis	Ibimirim (PE)	Semiárido seco
Pankará	Comunidade indígena Pankará, atmosfair gGmbH, CCBA, Funai, UFPE, UFRPE, Brasilieninitiative Freiburg e.V	2020	Melão, hortaliças	3m de altura, 33 kWp, associado a um sistema de bombeamento	Aldeia Serrote dos Campos, Itacuruba (PE)	Semiárido seco
UFAL	Ceca / UFAL, Fapeal, Usina Santa Clotilde	2022	Cana de açúcar	8m de altura, 71,4 kWp	Rio Largo (AL)	Tropical com monções
Agri Solar Farm	FIT - Flextronics Instituto de Tecnologia e NextPower	2022	Abobrinha, acelga, algodão, amendoim, aveia-preta, brócolis, cenoura, coentro, morango, milho, soja, sorgo, tomate, trigo e bovinos	122,58 kWp com 1,5m de altura, pitch de 6m, cultivo entre 10 rastreadores FV com orientação norte-sul (5 NX Horizon e 5 NX Hail Pro). GCR de 37%	Sorocaba (SP)	Subtropical úmido sem estação seca e com verão quente
CCampo	CCampo (Agriculture cooperative), DGRV, OCB, Fotovoltaica/UFSC	2023	Pimentões, couve, coentro e cebolinha	2,5m de altura; 74,5 kWp	Santarém (PA)	Tropical com monções
CEMIG, EPAMIG e CPQD	CEMIG, EPAMIG e CPQD	2023	Melões, morangos, feijão, alface e pastagens para gado	Diversas tecnologias FV, três pilotos, um com 80 kWp e 600 kWh de armazenamento de e os outros com 88 e 81 kWp e 700 kWh de armazenamento para ambos	Jaíba e Prudente de Morais (MG)	Tropical com verão seco (Jaíba) e subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Prudente de Morais)
Sistema Agrovoltaico - AgriPV Brasil	ESALQ-USP, IEE-USP, RCGI (Financiador P&D TOTALENERGIES)	2023	Soja, milho e sorgo e braquiaria	3 sistemas de 60 kWp - 2 com estrutura clássica e 1 com estrutura elevada com cerca de 2,5m de altura e maior espaçamento	Piracicaba (SP)	Subtropical úmido clima oceânico, sem estação seca e com verão quente
Fotovoltaica/UFSC, Repsol e Epagri	Repsol, Fotovoltaica/UFSC e Epagri	2024	Alface, morango e outras culturas ainda a serem definidas	Diversas tecnologias FV, incluindo rastreadores e módulos FV semitransparentes, totalizando 100 kWp	Florianópolis (SC)	Subtropical úmido sem estação seca e com verão quente
Beevolt e Introdução de Ovelhas - EDP	EDP, Bee2Be, ONG OrientaVida	2024 e 2025	Abelhas nativas e ovelhas	2 usinas FV existentes, em uma delas foi adotado pastoreio de ovelhas (252 MWp) e nas outras foram introduzidas caixas de abelhas nativas (75 kWp)	Roseira (SP) Pereira Barreto (SP)	Subtropical úmido com inverno seco e verão temperado (Roseira) e tropical com inverno seco (Pereira Barreto)

Vênus Energia + UFCC	Vênus Energia e UFCC	2025	Alface, coentro, espinafre	100 kWp, associado a sistema de bombeamento de água	São Domingos do Cariri (PB)	Semiárido seco
<i>SUNfarming Agri-Solar Research &amp; Training Centre Caucaia and other projects</i>	SUNfarming GmbH, SUNfarming Holding do Brasil Ltda, dena GmbH (German Energy Agency - Deutsche Energie-Agentur)	2025	Tomates-cereja, pimentão, pimentas, salsa, cebolinha, mamão, pitaya	2 pilotos seguindo a DINSPEC alemã com cerca de 75 kWp no total. Foco do projeto de Caucaia em capacitação de trabalhadores locais	Caucaia (CE) Croatá (CE) Belterra (PB)	Zona tropical com verão seco (Caucaia e Croatá) e tropical com monção (Belterra)
Sistema Agrivoltaico de Produção Pecuária	FMVZ, UNESP, UTFPR, UFSC, IZ Sertãozinho	2025	Bovinos leiteiros	41,7 kWp distribuídos em 4 subsistemas com módulos FV em disposição retrato e paisagem	Botucatu (SP)	Subtropical úmido clima oceânico, sem estação seca e com verão temperado

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

## 4.2 Potencial de diferentes produtos agrícolas para sistemas agrivoltaicos no Brasil

O Brasil tem uma grande contribuição para a produção de alimentos em todo o mundo. Em 2023, o país foi o quarto maior produtor de grãos do mundo, respondendo por cerca de 8,8% da produção global, em um cenário em que a produção mundial de grãos superou 3,5 bilhões de toneladas [112]. O setor agrícola brasileiro desempenha um papel crucial na contribuição do Produto Interno Bruto (PIB) do País. Além disso, essa atividade é de grande relevância por sua alta competitividade e seu papel em gerar empregos, riqueza, alimentos, fibras e biocombustíveis para o Brasil e outras nações [113]. Com relação ao impacto econômico do setor agrícola, de acordo com o censo agropecuário brasileiro de 2019, a atividade é a base econômica para 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes [114].

Neste capítulo, foram analisadas diferentes produções agropecuárias no Brasil, com o objetivo de estudar seu potencial para fins de aplicação agrivoltaica. A análise é dividida em três aspectos principais: (1) aspectos socioeconômicos, (2) aspectos do sistema agropecuário e (3) aspectos dos sistemas FV.

### 4.2.1 Aspectos socioeconômicos

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral das práticas agropecuárias principais no Brasil, com foco em seu potencial de expansão e sustentabilidade. Foram analisados cenários agrícolas de grande e pequena escala, com destaque para as regiões-chave associadas às principais atividades agrícolas, bem como os aspectos socioeconômicos relacionados a cada uma delas. Além disso, uma caracterização das práticas agrícolas foi elaborada, bem como o contexto dos agricultores envolvidos nesse setor vital. O conteúdo deste capítulo também inclui o caso especial de Matopiba (região que compreende partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e a região Nordeste.

#### 4.2.1.1 Produção agrícola em larga escala

A produção agrícola em larga escala no Brasil é liderada por soja, milho, café e cana-de-açúcar, que são os principais contribuintes para o Valor Bruto da Produção (VBP). O VBP do setor agropecuário no Brasil é de aproximadamente USD 250 bilhões, com mais de 80% da receita concentrada nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, de acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária. Esses números indicam o impacto e a contribuição significativa da indústria agrícola para a economia do Brasil. A soja sozinha representa aproximadamente USD 1,00 de cada USD 3,55 gerados pelo setor agrícola no Brasil – o País é responsável por 50% da participação global da produção de soja [115]. Em 2006, a produção nacional esteve concentrada na região Centro-Oeste, especialmente no estado do Mato Grosso [116]. Depois da soja, o segundo produto no ranking do VBP da agricultura brasileira é a pecuária de corte, representando USD 40 bilhões em 2020, seguido pelo milho, com USD 25 bilhões. O gado leiteiro e a cana-de-açúcar estão em terceiro e quarto lugares, respectivamente, com USD 15 bilhões e USD 14 bilhões. A produção de aves, principalmente frango, também está apresentando crescimento significativo, assim como o café e a carne suína [115]. Com relação à produção de milho, os principais produtores brasileiros são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, respectivamente. Em particular, a produção do Mato Grosso sozinha supera a de outros estados brasileiros juntos [117].

A estimativa total da produção de cana-de-açúcar no Brasil, de acordo com os dados do 1º levantamento da safra de 2022/23, estima a produção total no País atingindo cerca de 600 milhões de toneladas. Entre os estados líderes na produção de cana-de-açúcar no Brasil estão São Paulo, com mais de 300 milhões de toneladas, Goiás, com 75 milhões de toneladas, e Minas Gerais, com 67 milhões de toneladas. Globalmente, há aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar por ano, e o Brasil foi o principal produtor em 2023 [118].

De acordo com Barros et al., em um estudo publicado pelo CEPEA, no Brasil, há quase 20 milhões de pessoas trabalhando no setor agrícola, o que representa quase 20% da força de trabalho ativa total do Brasil [119]. O estudo utilizou dados da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios), os quais também mostram que a produção de soja tinha mais de 504 mil pessoas e a de cana-de-açúcar mais de 315 mil pessoas empregadas no total em 2022. O setor mais relevante com relação ao número de trabalhadores é a pecuária de corte, que tinha mais de 2 milhões de trabalhadores ativos no mesmo ano.

#### 4.2.1.2 Produção agrícola de pequena escala (agricultura familiar)

A posse de pequenas propriedades rurais ou “agricultura familiar” se refere à terra que é cultivada por meio do trabalho pessoal de agricultores dentro da família e empreendedores familiares no cenário rural, incluindo assentamentos, que estejam atendendo aos requisitos estipulados na Lei 11.326 de 2006<sup>5</sup>. Por exemplo, essas propriedades devem não exceder uma área maior que 4 módulos fiscais.

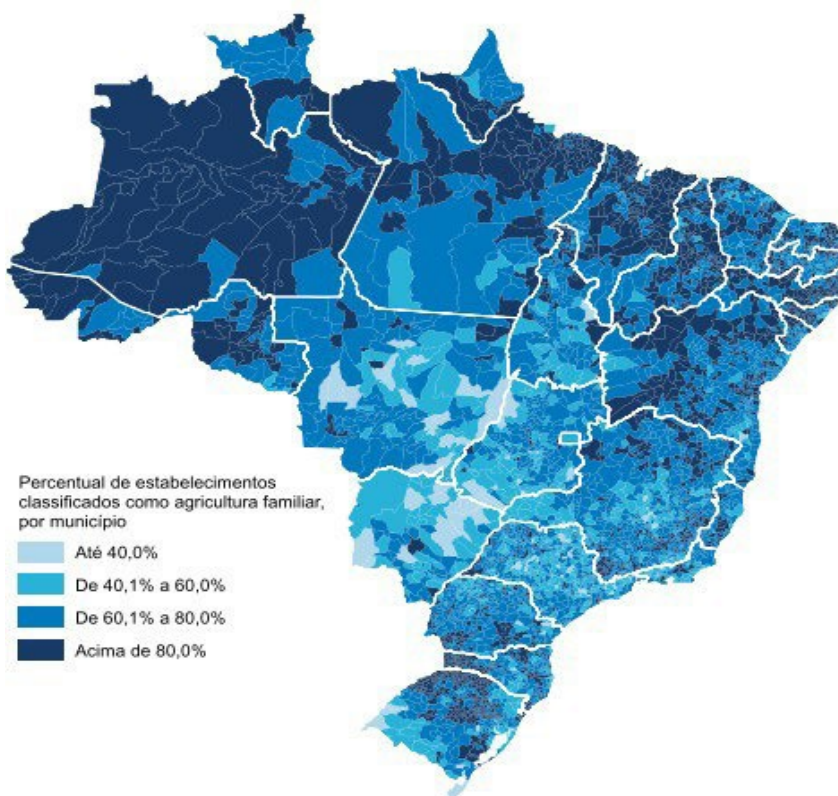
No Brasil, o módulo fiscal é uma unidade de medição agrária expressa em ha, que varia entre cada município, entre 5 e 110

ha, dependendo das atividades econômicas realizadas e da renda que pode ser obtida por meio delas no município. Por exemplo, no caso de alguns municípios localizados no bioma do Cerrado (a maioria da região Centro-Oeste do Brasil), um proprietário com 4 módulos fiscais poderá ter até 400 ha e, no bioma da Caatinga (presente na região Nordeste do Brasil), até 260 ha [120].

De acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017 realizado pelo IBGE, a agricultura familiar representa aproximadamente 24% do valor bruto da produção agrícola no País. Os dados do censo também destacam a importância do setor na criação de empregos, uma vez que a agricultura familiar emprega cerca de 10,5 milhões de pessoas, representando mais de 70% da força de trabalho no setor agrícola brasileiro. Os estabelecimentos caracterizados como agricultura familiar são predominantes em muitos municípios, em especial nas regiões Norte e Nordeste [114]. As regiões Sul e Sudeste também têm um número significativo de municípios nos quais produtores de pequena escala são predominantes em termos de percentagem. Em contrapartida, a região Centro-Oeste do País mostra uma maior presença de produtores e proprietários de terras de grande escala (Figura 48).

**Figura 48 - Percentual de estabelecimentos classificados como agricultura familiar em relação ao número total de estabelecimentos, por municípios - 2017**

**Cartograma - Percentual de estabelecimentos caracterizados como de agricultura familiar em relação ao total de estabelecimentos, por municípios - 2017**



Fonte: [114]

5 [https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha?legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%2011.326-2006&OpenDocument](https://legislacao.presidencia.gov.br/ficha?legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2011.326-2006&OpenDocument)

Como mencionado anteriormente, a agricultura familiar desempenha um papel crucial no fornecimento de alimentos no Brasil, sendo responsável por aproximadamente 70% dos alimentos consumidos pela população, portanto, esses estabelecimentos são de grande importância para a segurança alimentar. É notável que agricultores familiares contribuem significativamente para a produção de frutas, legumes e verduras e produtos básicos. Por exemplo, eles são responsáveis por pelo menos 80% da produção de mandioca, 69% do fornecimento de abacaxi, e 42% do consumo total de feijão no País [121].

Apesar de sua vital contribuição para o abastecimento de alimentos, estabelecimentos de agricultura familiar sempre encaram desafios no que diz respeito à segurança alimentar no País. A região Nordeste tem 47,2% desses estabelecimentos [121] e, ainda assim, é a segunda região no ranking de segurança alimentar. Essa população nas regiões Norte e Nordeste chega a 71,6% e 68%, respectivamente [122]. Para abordar esses desafios e fornecer suporte aos agricultores familiares, o envolvimento do governo em programas de assistência básica é crucial. Programas como o de abastecimento de água e o programa de bem-estar social Bolsa Família são considerados essenciais para assegurar a estabilidade e o crescimento das práticas de agricultura familiar [121].

#### 4.2.3 Caso da região Norte e da região de Matopiba

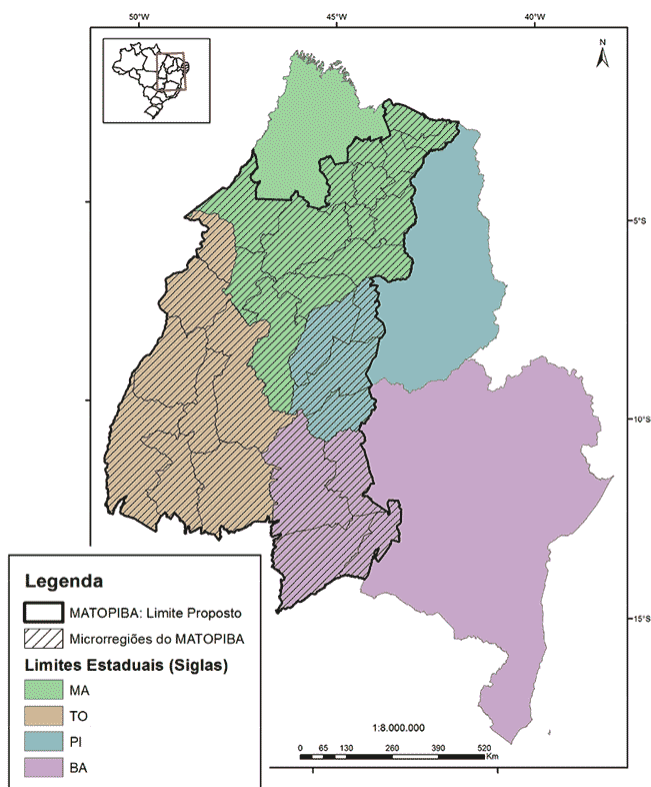
A região Norte do Brasil tem vivenciado um crescimento substancial na agricultura e, em 2020, a região registrou exportações de grãos de aproximadamente 6 milhões de toneladas, marcando um relevante aumento de 15% em relação ao ano anterior. Essa região é considerada uma fronteira agrícola e produz uma ampla gama de safras, desde as tradicionais, como mandioca, milho e arroz, até safras voltadas para a exportação, como a soja. Essa última foi associada ao desmatamento na floresta amazônica, e também contribuiu para a diminuição da queda de chuva na região [123].

Um estado em particular que depende do agronegócio, especialmente da agricultura de grãos, é o de Roraima [124]. Nesse estado, o cultivo de soja tem demonstrado crescimento substancial na região, e projeções para 2022 indicaram um aumento de 40% nas áreas produtivas até 2023. Uma das origens da expansão das práticas extensivas de agricultura para regiões como a Norte são as motivações econômicas e financeiras, que estão impulsionando as migrações atuais no Brasil. Os produtores agrícolas buscam manter ou aumentar suas taxas de lucratividade e expandir seus negócios, e isso é um incentivo para que se mudem em busca de novas terras, com custos mais baixos. Regiões dentro dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (também conhecida como Matopiba) apresentam uma tendência de expansão das áreas de cultivo no Brasil. Essa transição agrícola é justificada por algumas

características essenciais da “agricultura moderna”, tais como áreas extensas e planas, solos potencialmente produtivos, disponibilidade de água e um clima favorável, com longos dias e alta intensidade de irradiância solar. A transição do uso da terra envolve tanto a expansão quanto a conversão de terras, especialmente na substituição de pastos com agricultura em larga escala, o que é facilitado pela mecanização e intensificação da produção [125].

A região Norte está recebendo a principal expansão da agricultura extensiva de grande escala do Nordeste e do Centro-Oeste. A região compreende os estados da região do Matopiba e o estado do Pará. Essa região do Matopiba é considerada uma «nova fronteira agrícola» (Figura 49). Ela produziu 20,5 milhões de toneladas na safra de 2016/2017, e as projeções indicam que é esperado que essa produção alcance 26 milhões de toneladas até 2026/2027 [125].

Figura 49 - Delimitação proposta para a região do Matopiba



Fonte: [125]

Apesar do crescimento econômico associado a essa transição agrícola nos estados do Matopiba, o cenário é marcado por altas taxas de desmatamento. Quase metade da vegetação nativa do Cerrado foi desmatada – e dos 54,5% da área remanescente, 44% estão na região do Matopiba [125]. De acordo com um artigo publicado por Rodrigues et al. [126], a conversão da vegetação nativa do Cerrado em áreas de pastagem já havia causado impactos climáticos para a região, que se tornou quase 1°C mais quente e 10% mais seca.

Considerando os desafios ambientais que o desmatamento causou e os impactos climáticos resultantes observados na região do Matopiba, há uma necessidade urgente de

exploração de práticas agrícolas sustentáveis e inovadoras nos respectivos estados. Nesse contexto, sistemas agrivoltaicos apresentam uma solução promissora ao gerar energia renovável com a otimização do uso da terra, além de aprimorar todo o ecossistema e a resiliência social.

#### 4.2.4 Caso da região Nordeste

No Brasil, a chamada “agricultura moderna”, que se refere principalmente à produção em larga escala, parece beneficiar apenas alguns poucos privilegiados, levando a uma concentração significativa de produção e renda em áreas rurais. Os dados do último Censo em 2006 revelam que 8% dos estabelecimentos rurais são responsáveis por gerar 85% do valor agrícola, enquanto as 4,7 milhões de propriedades restantes contribuem apenas com 15% da riqueza total. Além disso, é esperado que essas disparidades aumentem, de acordo com os especialistas [127].

A pobreza rural é um problema generalizado no Brasil, com as regiões do Nordeste e do Norte vivenciando esse problema de forma mais intensa. A região do Norte brasileiro é responsável por 94% dos estabelecimentos com uma área igual ou menor do que 100 ha, que se enquadram nas categorias de renda de “muito pobre” e “pobre”. Em estabelecimentos com mais de 100 ha, a porcentagem também é alta, com 74% [127].

Na região do Nordeste, a presença de agricultura familiar se destaca como uma característica importante, especialmente na região do semiárido. Por outro lado, a Zona da Mata, a mais úmida parte da região, é dominada por um sistema agrícola com foco em monocultura voltada para exportação. Safras de horticultura, especialmente frutas, como melões, uvas, mangas e abacaxis, são as principais expressões da agricultura da região. Além disso, de forma semelhante à região Sudeste, a do Nordeste também possui envolvimento predominante na produção de cana-de-açúcar. Além disso, ela exporta soja, principalmente da Bahia e do Piauí [128].

O comportamento agrícola na região do Nordeste do Brasil apresentou tendências variáveis nas áreas de colheita e na produção de safras entre 2002 e 2017. Estados como Piauí, Maranhão e Sergipe apresentaram notáveis aumentos nas áreas de colheita impulsionados pelo cultivo de soja e milho. Em contrapartida, outros estados enfrentaram declínios devido aos efeitos da seca, especialmente no bioma da caatinga [129].

Considerando os benefícios comprovados dos sistemas agrivoltaicos, tais como proteção contra o calor e irradiação extremos, redução da evaporação e da necessidade de irrigação, esses sistemas demonstram um potencial compatível com o clima e as características sociais da região do Nordeste. Um projeto piloto que representa um modelo de sistema agrivoltaico que pode responder aos desafios locais da região é o Projeto Ecolume, que é explicado em detalhes no subcapítulo 2.1.1

deste documento. O modelo pode fornecer segurança energética e alimentar para estabelecimentos de agricultura familiar, ao mesmo tempo em que permite a restauração de terras degradadas ou desertificadas [130].

#### 4.2.5 SISOL

Atualmente, o Brasil opera de forma centralizada um dos maiores sistemas de energia elétrica interligada do mundo, chamado Sistema Integrado Nacional (SIN), porém algumas localidades possuem dificuldades geográficas e técnicas de conexão e fazem parte do Sistema Isolado (SISOL), que cobre aproximadamente 160 localidades, atende uma população de cerca de 2,0 milhões de habitantes e tem uma demanda total de 5.718 MW [131]. Os sistemas agrivoltaicos poderiam representar uma solução viável e complementar ao SISOL, ao mesmo tempo em que serviria como uma fonte de renda ou redução de despesas com energia elétrica para os moradores de todo país. Porém, a inserção de sistemas agrivoltaicos no SISOL enfrentam alguns desafios regulatórios, técnicos e operacionais.

Do ponto de vista normativo, o principal entrave reside na ausência de enquadramento específico para sistemas híbridos que integrem geração FV e produção agrícola em uma mesma área. O SISOL, estruturado para classificar empreendimento essencialmente agrícolas ou energéticos, não contempla de forma clara modelos de uso múltiplo do solo, o que pode gerar insegurança jurídica quanto ao licenciamento, à regularização fundiária e ao enquadramento tarifário. A Lei 14.300, que revisa o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída no Brasil e o SCEE, também não prevê a implementação dessas abordagens para a região [79].

Sob a perspectiva técnica, há dificuldades relacionadas à padronização de critérios de dimensionamento, índices de ocupação do solo e parâmetros de sombreamento, que diferem substancialmente dos sistemas FV convencionais. A ausência de diretrizes consolidadas dificulta a avaliação de viabilidade e o registro adequado no sistema. Além disso, a integração de dados produtivos (agrícolas e energéticos) demanda adaptações nos mecanismos de monitoramento e reporte do SISOL, que tradicionalmente não operam com métricas integradas ao setor agrário brasileiro. Atualmente, o governo brasileiro ainda estuda a inclusão de sistemas FV no SISOL, por meio de leilões de energia [132] e estratégias de penetração [133]. Portanto, a introdução de sistemas agrivoltaicos no SISOL requer ajustes regulatórios, definição de critérios técnicos específicos e atualização dos instrumentos de registro e acompanhamento, de modo a refletir a natureza dual e integrada desses empreendimentos. Além disso, investimentos em projetos piloto e mais estudos são necessários para considerar essa integração segura e eficaz para a população brasileira.

#### 4.2.6 Aspectos do sistema agropecuário

Nesse tópico, é explicado o contexto das principais atividades agropecuárias brasileiras, bem como uma perspectiva específica sobre disponibilidade de água e irrigação. Além disso, a situação da região específica do Nordeste brasileiro será destacada.

#### 4.2.7 Agricultura e pecuária

De acordo com o Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra pelo IBGE, de 2000 a 2018, a área agrícola cresceu até 44,8% no Brasil, atingindo cerca de 665 mil km<sup>2</sup>. Essa terra é equivalente a 7,6% do território nacional, incluindo tanto áreas terrestres quanto marítimas. Certas regiões se destacam nessa transição de terras, tais como a parte do nordeste do Mato Grosso, e os municípios de Santarém e Paragominas no Pará, além de Imperatriz, no Maranhão; todos apresentaram um aumento no cultivo de soja. Por outro lado, o estudo revela que, em mais de 18 anos, o Brasil perdeu 7,6% de sua vegetação de floresta. A área de floresta, que era superior a 4 milhões km<sup>2</sup> no ano 2000, diminuiu para 3,7 milhões km<sup>2</sup> em 2018, representando 42,4% do território do País. Além disso, outras vegetações, incluindo os biomas do Cerrado, da Caatinga e dos Pampas, perdeu mais de 10% de sua área durante o mesmo período [134].

De acordo com a pesquisa realizada pelo Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), soja, milho, cana-de-açúcar, arroz e feijão são as maiores safras da agricultura brasileira em termos de área plantada. Esses 5 produtos agrícolas foram responsáveis por mais de 70% do total de terras cultivadas no Brasil, de 1985 a 2017 [135].

##### 4.2.7.1 Soja

A safra da soja cultivada no Brasil para a produção de grãos é a de uma planta herbácea. A altura das plantas varia dependendo das condições ambientais e da variedade. O ideal é que a altura da planta tenha uma variação entre 60 e 110 cm, o que facilita a colheita mecânica em campos comerciais e ajuda a evitar o acamamento. A floração da soja é influenciada pelo fotoperíodo, que é a duração do dia. Como se trata de uma planta de dias curtos, a soja determina a sua floração e aumenta o seu ciclo em condições de dias longos. Juntamente com a intensidade da radiação, a duração e a qualidade do espectro de luz afetam significativamente as características morfológicas e fenotípicas da soja, tais como altura da planta, indução da floração e ontogenia [136].

Em termos de dados de produção, para a safra de 2024/25, o Brasil relatou uma produção de soja de 420,78 milhões de toneladas em uma área de 146,71 milhões de ha. A produção brasileira de soja é responsável

por aproximadamente 41% da produção mundial. O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja do Brasil, representando 50,59 milhões de toneladas de produção em uma área de 12,74 milhões de ha, com uma produtividade de 3.97 ton/ha no mesmo período [137].

Embora seja esperado que a soja esteja entre as safras que mais sofrem com os efeitos do sombreamento, pesquisadores italianos descobriram, por meio de experimentos com sistemas agrivoltaicos, que o impacto é menos significativo do que o esperado [138]. O estudo abordou diferentes configurações com várias taxas de sombreamento, e os resultados mostraram uma média de apenas 8% na redução do rendimento de grãos de soja para o todo sistema agrivoltaico, o que está muito abaixo dos limites estabelecidos em centrais agrivoltaicas na Alemanha e na Coreia do Sul.

##### 4.2.7.2 Milho

Na região Centro-Sul do Brasil, o cultivo do milho ocorre após a colheita da soja, com a semeadura concentrada no verão/outono brasileiro, comumente conhecida como a segunda safra. Ao longo das últimas décadas, o milho se tornou a maior safra agrícola do mundo, superando a produção de antigas concorrentes como o arroz e o trigo, se tornando a primeira safra a ultrapassar 1 bilhão de toneladas de produção [139]. Na safra de 2021/2022, a produção de milho global foi de cerca de 1,22 bilhão de toneladas. De acordo com a Conab (2019), o estado do Mato Grosso se tornou o líder em produção de milho no País, com um rendimento de 31,3 milhões de toneladas, com a segunda safra de milho representando 95% da produção total na colheita de 2018/19 [140]. O cultivo de milho exibe um padrão razoavelmente distribuído em diferentes regiões, com os principais estados produtores sendo Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, nessa ordem [139].

Mesmo que o milho e a soja sejam considerados safras intolerantes à sombra, pesquisadores nos Estados Unidos estão desenvolvendo estudos práticos sobre a compatibilidade dessas safras com os sistemas agrivoltaicos (Figura 50). Os pesquisadores estão trabalhando na determinação do espaçamento ideal entre os módulos FV, para evitar que o excesso de sombras interfira na produção de safras [141]

Além disso, um artigo publicado por Sekiyama et al. (2019) mostrou que é possível o crescimento de milho sob a sombra de módulos agrivoltaicos sem que haja uma redução relevante de rendimento. Os resultados do estudo mostram que o crescimento da biomassa da palha de milho abaixo dos módulos FV espaçados em intervalos de 0,71 m não ultrapassou 96,9% da produção na área de controle [142].

Figura 50 – Pesquisa do sistema agrivoltaico da Universidade de Purdue sobre plantações de soja e milho



Fonte: [141]

#### 4.2.7.3 Cana-de-açúcar

Em 2021, o Brasil se tornou o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. O valor da produção da cana-de-açúcar chegou mais de USD 15 bilhões, com mais de 715 milhões de toneladas colhidas de uma área com aproximadamente 10 milhões de ha. Esse desempenho foi disseminado em mais de 170 mil estabelecimentos, refletindo a robusta indústria de cana-de-açúcar do País. O rendimento médio por ha atingiu mais de 70 kg, destacando a eficiência e a produtividade do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil [143].

Com relação à safra de 2020/21, o Brasil foi responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, dedicados à produção de 41,2 milhões de toneladas de açúcar e 29,7 bilhões de litros de etanol [144]. O estado de São Paulo tomou a liderança na produção de cana-de-açúcar, contribuindo com 54,1% da quantidade total produzida durante a colheita. A produção de São Paulo, em números, incluía 48,4% de etanol (14,3 bilhões de litros) e 63,2% de açúcar (26.0 milhões de toneladas) [144], [145]. Um exemplo de agrivoltaico com cana-de-açúcar brasileiro que teve resultados positivos de aumento de produtividade é o da UFAL, mencionado neste documento no item UFAL.

#### 4.2.7.4 Pecuária de corte

A indústria de pecuária de corte no Brasil é amplamente desenvolvida em todos os estados e ecossistemas, exibindo grande diversidade em termos de densidade de gado em diferentes regiões, taxas de crescimento do rebanho e

sistemas de produção praticados. Esses sistemas abrangem diferentes estágios de reprodução, criação e engorda, de forma independente ou combinada, utilizando pastagens nativas e cultivadas, com ou sem alimentação suplementar em ambientes de pastagem ou confinamento. No entanto, sistemas mais intensivos, envolvendo suplementação de pastagem ou confinamento, vêm ganhando cada vez mais importância, principalmente nas regiões do Centro-Oeste e do Sudeste. A indústria brasileira de pecuária de corte apresenta uma ampla gama de sistemas de produção, abrangendo desde pecuária extensiva com base em pastagens nativas e cultivadas com mínima produtividade, até a chamada pecuária intensiva, caracterizada por pastagens de alta produtividade, suplementação de pastagens e confinamento [146].

Globalmente, é esperado que a produção de carne bovina chegue a 59,6 milhões de toneladas em 2023, de acordo com as estimativas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). O Brasil tinha, em 2021, um rebanho bovino de 224,6 milhões de cabeças (mais gado do que pessoas!), de acordo com os dados do IBGE, como parte da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Entre os estados, Mato Grosso continua sendo o líder da produção pecuária com 32,4 milhões de cabeças, representando 14,4% do rebanho nacional, seguido de Goiás (10,8%). No nível municipal, São Félix do Xingu, no Pará, mantém o primeiro lugar, com 2,5 milhões de cabeças [147]. No acumulado de janeiro a agosto de 2025, observou-se um avanço de 32,62% nas vendas em valor (US\$) e de 14,38%

em volume (kg), na comparação com o mesmo período de 2024. Os meses de julho e agosto registraram os maiores níveis históricos de exportação. Na região Nordeste, o desempenho foi ainda mais destacado, com crescimento de 87,17% no volume comercializado (kg) e de 113,87% na receita gerada (US\$) [148].

A integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil é uma estratégia de produção que combina diferentes sistemas agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área. Seu objetivo é otimizar o uso da terra e aumentar a produtividade, além de diversificar a produção enquanto reduz a necessidade de abertura de novas áreas. A ILPF proporciona inúmeros benefícios, incluindo a melhoria do bem-estar animal, o aumento da ciclagem de nutrientes no solo, a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade na agricultura [149].

Além disso, resulta em uma produção diversificada e uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais. A implementação da ILPF está ganhando força, com aproximadamente 15 milhões de ha já adotando essa abordagem no Brasil [150].

#### 4.2.7.5 Legumes e verduras

O mercado brasileiro de legumes e verduras é caracterizado pela alta diversidade e segmentação, com a maioria da produção concentrada em seis safras principais: batata, tomate, melancia, alface, cebola e cenoura. Curiosamente, mais da metade dessa produção é atribuída aos esforços da agricultura familiar de pequena escala [151]. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE), houve 336 mil estabelecimentos agrícolas envolvidos com horticultura no Brasil, com a distribuição ocorrendo desta forma: Nordeste (41,0%), Sudeste (28,0%), Sul (16,5%), Norte (9,7%) e Centro-Oeste (4,7%). Com relação à produção de tomate, 29,3% de todos os tomates no País do são produzidos no estado de Goiás, e 21,4% em São Paulo.

O estado de Santa Catarina lidera na produção de cebola (28,1%), seguido da Bahia (15%) [115]. Os legumes e verduras folhosos são amplamente cultivados em todo o Brasil, sendo que as regiões Sudeste e Sul são as maiores contribuidoras, responsáveis por 84% da produção. Na safra de 2016, São Paulo foi o maior produtor de alface, rendendo 14.199,3 caixas de nove dúzias cada. Notadamente, a produção de alface em São Paulo é primordialmente concentrada no “cinturão verde”, com os centros principais de produção em Sorocaba (54,2%), São Paulo (16%) e Mogi das Cruzes (12,2%) [151].

A área total estimada dedicada ao cultivo de legumes e verduras folhosos no Brasil abrange 174.061 ha, com a alface ocupando a maioria em 49,9%, seguida de rúcula (22,8%), repolho (15,3%), couve kale (6,1%), espinafre (1,0%) e outras variedades (4,9%). A produção total de

mais de 1.317,6 toneladas é distribuída entre diferentes legumes e verduras folhosos, com a alface liderando com 43,7%, seguida de repolho (31,7%), couve kale (9,1%), agrião (7,6%), espinafre (3,1%), rúcula (2,0%) e outras variedades (2,1%) [151].

#### 4.2.7.6 Ovinocultura (Criação de ovelhas)

Conforme apresentado neste relatório, os sistemas agrivoltaicos podem alterar o microclima local ao reduzir a incidência direta de radiação solar e mitigar extremos térmicos, criando condições favoráveis para atividades de pastagem [25]. A ovinocultura é uma atividade pecuária amplamente difundida no Brasil, apresentando relevância produtiva e forte concentração regional. Trata-se de uma atividade majoritariamente baseada em sistemas de pastagem, nos quais o manejo da vegetação constitui um fator recorrente de custo e operação. Em 2023, o efetivo nacional de ovinos foi estimado em 21,8 milhões de cabeças, com predominância da região Nordeste, responsável por mais de 70% do rebanho [152].

No contexto dos sistemas agrivoltaicos, a criação de ovinos destaca-se como uma das aplicações mais difundidas em nível internacional, em função da compatibilidade entre o porte animal, o comportamento de pastejo e as exigências operacionais das usinas FV em solo. Conforme apresentado neste relatório, os sistemas agrivoltaicos podem alterar o microclima local ao reduzir a incidência direta de radiação solar e mitigar extremos térmicos, criando condições favoráveis para atividades de pastagem [25]. Estudos experimentais indicam que ovelhas tendem a concentrar suas atividades em áreas sombreadas, com registros de permanência superior a 90% das horas do dia sob sombra disponível, evidenciando a relevância do sombreamento para o bem-estar animal [153].

Sob o aspecto funcional, a utilização de ovinos em sistemas FV em solo é caracterizada principalmente pelo manejo da vegetação entre e sob as estruturas, reduzindo a necessidade de roçadas mecânicas e a aplicação de herbicidas. Essa prática permite, ainda, o acesso a áreas onde o uso de maquinário convencional é limitado, contribuindo para a redução de custos operacionais associados à operação e manutenção das usinas. Dados recentes levantados em cooperação entre a American Solar Grazing Association e o NREL indicam que, em 2024, aproximadamente 129 mil acres de áreas FV nos Estados Unidos eram manejadas com pastejo ovino, envolvendo mais de 113 mil ovelhas distribuídas em cerca de 500 empreendimentos FV [154]. Esses números refletem a consolidação do pastejo ovino como prática operacional recorrente em usinas FV de grande escala. A literatura técnica e científica aponta, entretanto, que a efetividade desse uso combinado depende diretamente do arranjo do

sistema FV (altura dos módulos, espaçamento e presença de rastreadores), bem como da taxa de lotação e do manejo da pastagem, sendo recomendado o monitoramento contínuo para assegurar a compatibilidade entre a atividade pecuária e o desempenho energético do sistema [155], [156], [157], [158].

#### 4.2.8 Disponibilidade de Água e Irrigação

Em uma escala global, o setor agrícola é o maior consumidor de terra e recursos hídricos. As projeções indicam um aumento de 40% na demanda global por água até 2030 e 55% até 2050, com uma expectativa de mais de 40% da população mundial vivendo em regiões que enfrentam falta d'água. No contexto rural brasileiro, o uso da água é responsável por 83% do consumo total de água. No Brasil, sendo que 72% são destinados à irrigação. A irrigação está em rápida expansão no Brasil, com a área de terra irrigada aumentando significativamente de 462 mil ha, em 1960, para 6,1 milhões de ha, em 2014, principalmente por meio da adoção de sistemas de pivô central [159].

Uma das necessidades para o presente e o futuro é aumentar a eficiência das práticas de irrigação. Atualmente, é estimado que aproximadamente 40% da água é perdida devido a sistemas de irrigação inadequados ou vazamentos em tubulações no Brasil [159]. Apesar de ter reservas substanciais de água doce, incluindo o maior Aquífero do mundo (o Guarani), o Brasil enfrenta uma distribuição desigual de água entre suas regiões: o Norte contém 68,5%, o Centro-Oeste 15,7%, o Sul 6,5%, o Sudeste 6,0%, e o Nordeste 3,3%.

Os dados do IBGE mostram que várias safras, incluindo cana-de-açúcar, arroz, soja e milho são comumente irrigadas no Brasil [159]. No entanto, apesar do crescimento no número de estabelecimentos com irrigação (4,7% por ano, de 2016 a 2021, de acordo com dados do IBGE), algumas safras importantes, como feijão, café e milho verde têm sistemas de irrigação apenas em uma limitada porcentagem de estabelecimentos agrícolas [159].

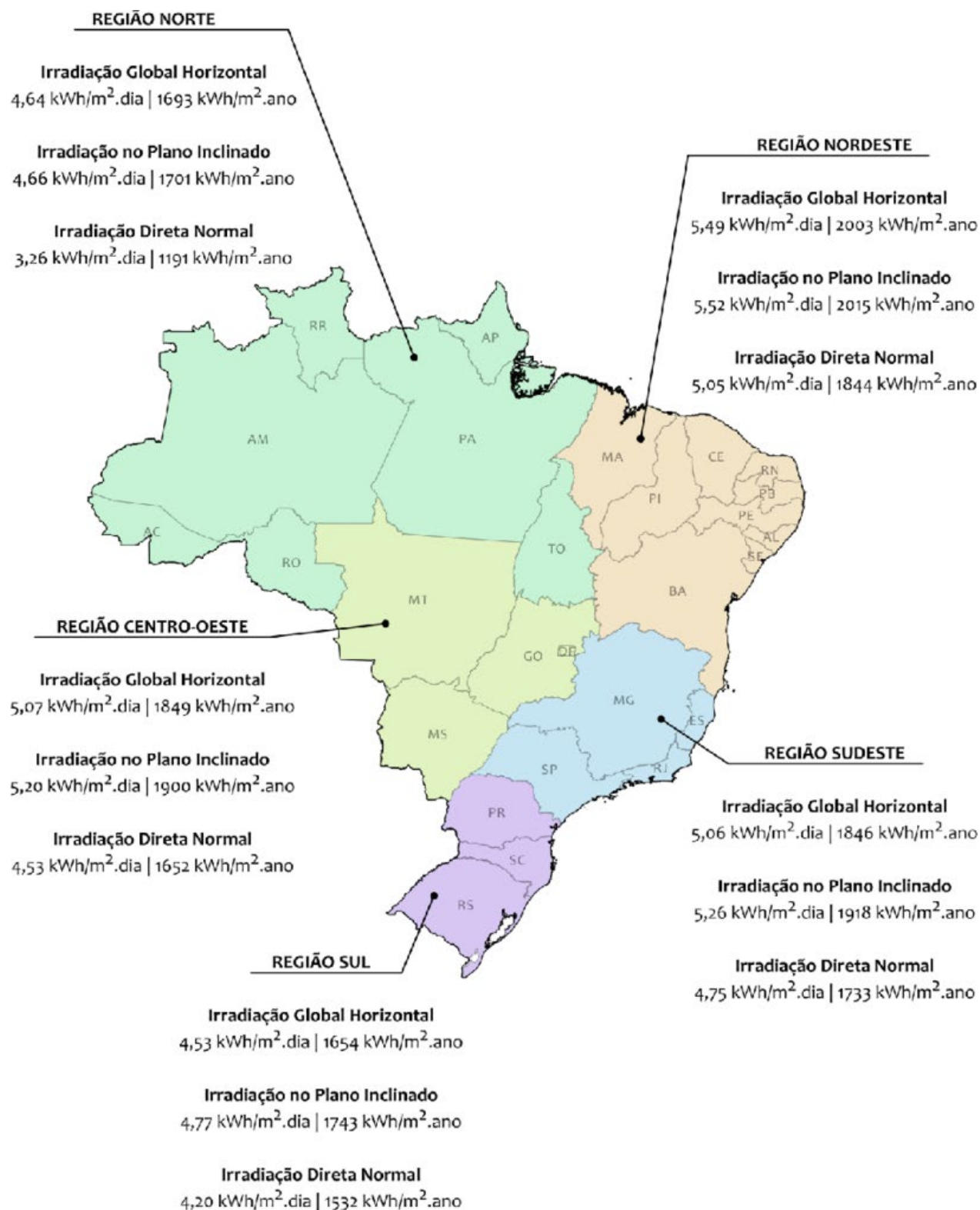
Para abordar a variabilidade da água em algumas regiões, pequenos reservatórios, barragens subterrâneas e captação de água da chuva são soluções em potencial para aumentar a disponibilidade da água e reduzir a vulnerabilidade em regiões com recursos hídricos instáveis [159]. Automação e tecnologia, tais como sistemas de informação geográfica e agricultura de precisão, podem melhorar muito o gerenciamento da irrigação, otimizando quando e o quanto deve ser irrigado. Além disso, aumentar a capacidade e o treinamento do setor agrícola é crucial para implementar efetivamente esses avanços [160].

#### 4.2.9 Aspectos dos sistemas FV fotovoltaicos

O nível de irradiância solar varia nas diferentes regiões do Brasil devido a fatores como latitude, altitude, clima e cobertura de nuvens. No entanto, em todas as regiões do País, o potencial de irradiância solar é notável, o que cria oportunidades para o desenvolvimento de projetos de energia solar em diferentes escalas. Isso inclui centrais FV de grande escala, bem como a implementação de sistemas de geração distribuída em casas, estabelecimentos comerciais e indústrias, e sistemas agrivoltaicos.

A Figura 51 ilustra o valor médio anual da irradiância solar diária nas cinco regiões do Brasil. A região Nordeste tem o maior potencial solar, com uma média diária de irradiância horizontal global de 5,49 kWh/m<sup>2</sup>. As regiões Sudeste e Centro-Oeste têm valores de irradiância global horizontal diária próximos a 5,07 kWh/m<sup>2</sup>. No Sul, a média diária de irradiância horizontal global é de 4,53 kWh/m<sup>2</sup> e, no Norte, é de 4,64 kWh/m<sup>2</sup>. Os valores relativamente mais baixos de irradiância solar na região Norte são explicados pelas características climáticas, com frequentes nuvens reduzindo a quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície. Como resultado, a média diária global de irradiância nos planos horizontal e inclinado é próxima à da região Sul, e a irradiação normal direta é menor do que a de todas as outras regiões do País.

Figura 51 – Níveis de Irradiância Solar por região



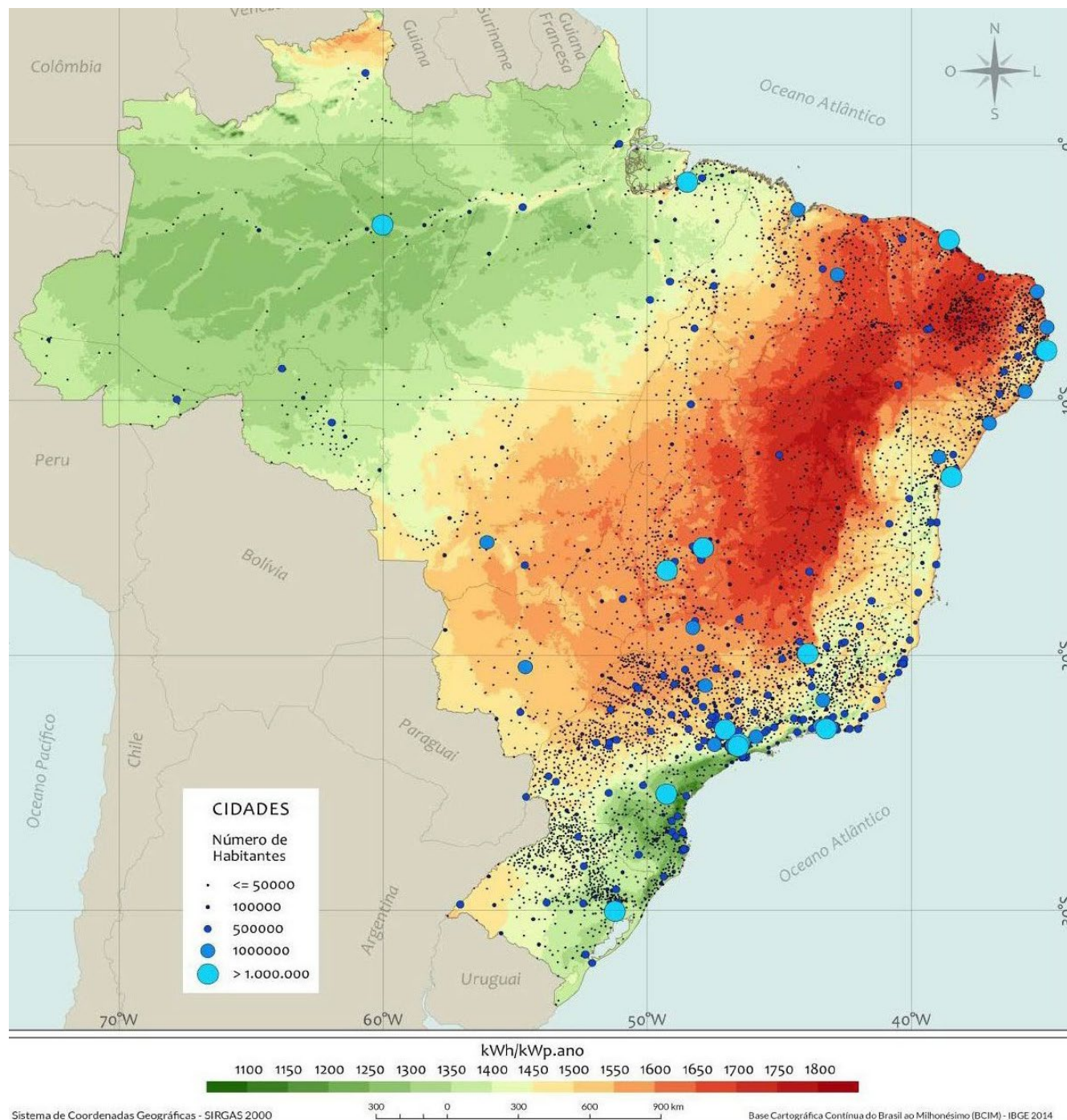
Fonte: [7]

No Brasil, a geração de energia elétrica por meio de módulos FV tem imenso potencial, como pode ser visto no mapa exibido na Figura 52. O mapa ilustra o rendimento energético máximo anual (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de energia FV instalada) em todo o Brasil. Além disso, a figura mostra círculos azuis espalhados pelo território brasileiro, para destacar áreas de concentração

populacional. Mesmo em regiões com menor incidência solar, como o Sul e o Norte, é possível para gerar mais energia solar do que nas partes com muito sol na Alemanha, por exemplo.

Portanto há um enorme potencial para energia FV no Brasil, em todas as regiões do País, e isso já está comprovado graças ao crescimento significativo dos sistemas de geração distribuída no País.

Figura 52 - Potencial de geração FV em rendimento energético anual (kWh/kWp.ano)



Fonte: [7]

### 4.3 Modelos de negócios e oportunidades de financiamento para sistemas agrivoltaicos no Brasil

A seção conclusiva do presente Relatório Informativo descreverá principalmente os modelos de negócios e de financiamento atualmente existentes no Brasil, destacando sua potencial aplicabilidade a sistemas agrivoltaicos. Em além de apresentar uma visão geral do contexto atual e oportunidades, o presente relatório oferece recomendações de incentivos por meio de políticas para promover a adoção de sistemas agrivoltaicos, com inspiração nas práticas globais de melhor caso.

#### 4.3.1 Possíveis modelos de negócios no contexto brasileiro

No Brasil, com o atual enquadramento legal para geração distribuída, agricultores podem gerar sua própria energia por meio do SCEE utilizando sistemas de MMGD, adaptando essa tecnologia para a aplicação de energia agrivoltaica. É compreendido que a geração distribuída seria, portanto, mais adequada para agricultores familiares e de pequena escala, uma vez que esses sistemas estão limitados a 3 MW ou 5 MW. Para agricultores de larga escala, sistemas agrivoltaicos para gerar energia para o mercado livre podem ser mais

adequados. No entanto, o mercado livre é muito complexo, no qual, geralmente, apenas grandes players do mercado de energia se envolvem.

De acordo com a Lei Brasileira 14.300, a geração distribuída pode ser aplicada em quatro modalidades diferentes. Elas são:

- **Autoconsumo local:** a energia é gerada e consumida na mesma unidade consumidora;
- **Autoconsumo remoto:** a energia é gerada e consumida em diferentes unidades consumidoras, desde que ambas estejam no nome do mesmo proprietário (seja ele uma pessoa física ou jurídica) e na concessão de uma mesma distribuidora;
- **Desenvolvimento com múltiplas unidades consumidoras:** a geração de energia para áreas comuns de um complexo com múltiplas unidades consumidoras localizadas na mesma propriedade ou em propriedades adjacentes, desde que não sejam separadas por estradas públicas ou propriedades de terceiros que não fazem parte do complexo;
- **Geração compartilhada:** geração para um grupo de consumidores que se organizam em uma cooperativa, consórcio, condomínios de prédio ou voluntários contendo pessoas físicas ou qualquer forma de associação civil configurada para esse propósito, desde que todas as unidades consumidoras estejam em uma área de concessão da mesma distribuidora.

Todas as opções mencionadas acima de geração distribuída fornecem o enquadramento legal necessário para tornar modelos de negócios para sistemas agrivoltaicos viáveis, conforme aqueles mencionados na Tabela 1 ilustrada no subcapítulo 1.2 Modelos de Negócios. Nesse contexto, é observado um imenso potencial da modalidade de geração distribuída compartilhada, por exemplo, a ser aplicada em cooperativas e associações de agricultura familiar existentes, com as quais poderia haver fácil adaptação de suas estruturas legais para o compartilhamento de créditos de energia por meio de sistemas agrivoltaicos em suas produções agrícolas existentes.

#### 4.3.2 Oportunidades de financiamento existentes para energia solar em terras agrícolas

Nos últimos anos, surgiram no Brasil diferentes tipos de opções de financiamento para projetos de energia solar. Alguns deles são exclusivos para pessoas físicas ou jurídicas, enquanto outros abrangem ambas. Há também aqueles exclusivos para o setor rural, que tem como objetivo fomentar o desenvolvimento de produtores e empresas rurais. O presente capítulo tem o objetivo de apresentar as oportunidades de financiamento atualmente disponíveis para propriedades agrícolas para o uso de tecnologias de energia solar.

O Plano Safra é um dos principais programas do governo federal brasileiro, por meio do Ministério da Agricultura, para promover a produção rural no País, ao garantir créditos para investimentos e custos da produção agrícola. O Plano Safra é principalmente destinado a pequenos e médios produtores rurais e, todos os anos, desde 2003, o governo tem alocado fundos para o programa. Para a edição de 2025/2026, o governo disponibilizou um montante recorde de R\$ 475 bilhões em diversas opções de crédito rural, com taxas subsidiadas para custeio, investimento e seguro agrícola. Este volume de recursos visa atender desde a agricultura familiar até os médios e grandes produtores.

As linhas de crédito do Plano Safra pertencem a vários programas, com os principais sendo o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP). Além destes, destacam-se recursos para programas focados em sustentabilidade e tecnologia, como o INOVAGRO e o RENOAGRO (anteriormente Programa ABC). Cada programa do Plano Safra tem subdivisões específicas, com taxas de juros que variam de acordo com o programa. A classificação em uma ou outra modalidade varia de acordo com a atividade realizada pelo produtor rural, de acordo com a receita correspondente anual e o tamanho da propriedade. Essa diferenciação existe precisamente para estimular a produção de pequenos produtores, uma vez que eles tendem a ter menores vantagens competitivas em comparação com grandes produtores. Em geral, as condições de financiamento de cada linha, incluindo taxas de juros, limites de crédito e prazos de pagamento, variam conforme o Plano Safra vigente e o porte do projeto apresentado.

Outro instrumento financeiro que pode ser utilizado pelos agricultores rurais para adotar sistemas FV de energia solar são os Fundos Constitucionais de Financiamento (FNO, FNE e FCO). Esses fundos estão estabelecidos na Constituição Brasileira, por meio da Lei 7827 de 1989, que tem por objetivo promover o desenvolvimento econômico e social de determinadas regiões [161].

Outra opção de financiamento que pode ser interessante para agricultores é o FINAME (Financiamento de Máquinas e Equipamentos). O FINAME é um programa do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) que oferece crédito para a aquisição de maquinário, equipamentos, veículos e outros bens de capital a serem utilizados no exercício da atividade econômica do cliente.

Essas linhas e programas de financiamento são apresentados com mais detalhes nos próximos subcapítulos.

##### 4.3.2.1 Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF)

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) é uma política pública federal que oferece linhas de crédito rural com condições diferenciadas

(juros mais baixos, prazos e limites adaptados) para apoiar agricultores familiares e atividades relacionadas à produção rural no Brasil. Essas linhas são definidas anualmente pelo Plano Safra da Agricultura Familiar, que estabelece prioridades, taxas de juros e montantes de recursos para o ciclo vigente.

O PRONAF está presente em praticamente todos os municípios brasileiros e é operacionalizado por meio de bancos públicos e privados, cooperativas de crédito e o BNDES. O acesso ao crédito exige, entre outros requisitos, a Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP) ou o Cadastro de Aptidão ao Pronaf (CAF) ativo, que identifica a unidade familiar de produção rural.

As principais linhas de crédito disponíveis no âmbito do PRONAF no ciclo atual incluem modalidades destinadas a custeio da produção, investimentos, microcrédito e grupos-específicos, tais como:

- **PRONAF Custeio** – para financiar os insumos e despesas do ciclo produtivo;
- **PRONAF Mais Alimentos (Investimento)** – para aquisição de máquinas, equipamentos e infraestrutura;
- **PRONAF Agroindústria e Industrialização** – para apoiar a beneficiamento e agregação de valor à produção;
- **PRONAF Agroecologia e PRONAF Bioeconomia** – voltados à sustentabilidade e práticas agroecológicas;
- **PRONAF Mulher** – destinado a projetos liderados por mulheres agricultoras;
- **PRONAF Jovem** – voltado a jovens agricultores;

- **PRONAF A e A/C** – voltados a assentados da reforma agrária, povos indígenas e quilombolas;

Cada linha possui condições específicas de limite de crédito, taxa de juros e prazo de pagamento, estabelecidas pelo Plano Safra. Esses recursos contribuem para fortalecer a produção de alimentos, promover a sustentabilidade, aumentar a renda familiar e incentivar o desenvolvimento local e regional. Entre essas linhas disponíveis, as que podem financiar sistemas FV são PRONAF Bioeconomia e PRONAF Agroindústria, ambos apresentados em mais detalhe nos próximos subcapítulos.

#### 4.3.2.1 PRONAF Bioeconomia

O mecanismo de financiamento PRONAF Bioeconomia permite o financiamento de investimento na utilização de tecnologias de energia renovável, tecnologias ambientais, armazenamento hídrico, pequenos aproveitamentos hidroenergéticos, silvicultura e adoção de práticas conservacionistas e de correção da acidez e fertilidade do solo, visando sua recuperação e melhoramento da capacidade produtiva [162].

Essa linha pode ser contratada por agricultores e agricultoras familiares que atendam aos critérios do PRONAF, com Cadastro de Aptidão ao Pronaf (CAF) válido e enquadramento conforme as regras do Plano Safra. O crédito é destinado a financiar projetos que tenham viabilidade técnica e econômica e estejam alinhados às finalidades sustentáveis previstas na política de bioeconomia. A Tabela 4 apresenta as condições gerais dessa linha de financiamento para a aquisição de tecnologias de energia renovável. É importante observar que a disponibilidade da linha de crédito pode variar de acordo com a região e a filial bancária, além das condições de crédito oferecidas.

**Tabela 4 – Condições da linha PRONAF Bioeconomia para financiamento de tecnologias de energia renovável.**

<b>Taxa de juros</b>	Até 3% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 250 mil
<b>Período máximo de financiamento</b>	10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	3 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.1.2 PRONAF Agroindústria

O PRONAF Agroindústria é uma linha de crédito destinada ao financiamento de investimentos voltados ao beneficiamento, processamento, armazenamento e comercialização da produção da agricultura familiar. Seu objetivo principal é agregar valor aos produtos agropecuários, ampliar a renda das famílias rurais e fortalecer a inserção da produção familiar nos mercados locais e regionais [163]. Seu objetivo principal é agregar valor aos produtos agropecuários, ampliar a renda das famílias rurais e fortalecer a inserção da produção familiar nos mercados locais e regionais [163].

A linha permite financiar tanto projetos individuais quanto coletivos, podendo atender agricultores familiares de forma isolada ou organizados em cooperativas e associações. Entre os itens financiáveis estão a construção, ampliação ou modernização de agroindústrias, aquisição de máquinas e equipamentos, implantação de estruturas de armazenagem, adequações sanitárias, aquisição de câmaras frias, unidades de processamento de alimentos e sistemas de energia renovável vinculados à atividade agroindustrial. Podem acessar essa linha agricultores familiares que atendam aos critérios do PRONAF e possuam Cadastro da Agricultura Familiar (CAF) ativo.

O PRONAF Agroindústria contribui para a diversificação produtiva, geração de emprego no meio rural e fortalecimento de cadeias curtas de comercialização, sendo um instrumento estratégico para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Brasil. A Tabela 5

apresenta as condições gerais dessa linha de crédito. É importante observar que a disponibilidade de uma linha pode variar de acordo com a região e a agência bancária, além das condições de crédito oferecidas.

**Tabela 5 – Condições da linha PRONAF Agroindústria**

<b>Taxa de juros</b>	Até 8% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Pessoa Física – Até R\$ 210 mil Pessoa Jurídica – Até R\$ 8 milhões (produtores de leite) e R\$450 mil (demais produtores) Cooperativa - Até 50 milhões com R\$ 75 mil por membro da cooperativa
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 3 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.2 Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP)

O PRONAMP é uma linha de crédito rural destinada a produtores rurais de médio porte, com o objetivo de fortalecer a atividade agropecuária, ampliar a capacidade produtiva e promover maior competitividade no setor. O programa atende produtores que possuem renda bruta anual dentro dos limites definidos pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) no âmbito do Plano Safra vigente [164]. O PRONAMP oferece financiamento tanto para custeio agrícola e pecuário quanto para investimentos em infraestrutura, modernização tecnológica, aquisição de máquinas e equipamentos, armazenagem e melhoria da produtividade. As taxas de juros são subsidiadas e geralmente inferiores às praticadas em linhas de crédito rural convencionais, embora superiores às do PRONAF, refletindo o perfil econômico do público atendido.

Os prazos de pagamento e limites de crédito variam conforme a finalidade (custeio ou investimento) e são atualizados anualmente pelo Plano Safra. A operacionalização ocorre por meio de bancos públicos e privados autorizados a operar crédito rural, como Banco do Brasil, cooperativas de crédito e outras instituições financeiras credenciadas.

O PRONAMP desempenha papel estratégico na política agrícola brasileira ao apoiar a transição entre a agricultura familiar e a produção empresarial de maior escala, contribuindo para o aumento da produtividade, geração de renda e desenvolvimento regional. A Tabela 6 apresenta as condições de financiamento do PRONAMP de forma mais detalhada. É importante observar que as condições e os critérios de financiamento podem variar de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 6 – Condições da linha de crédito do PRONAMP**

<b>Taxa de juros</b>	10% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Até R\$ 600 mil (para PRONAMP investimento em empreendimento individual)
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 8 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.3 Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agrícola (INOVAGRO)

O INOVAGRO é uma linha de crédito rural voltada ao financiamento de investimentos em tecnologias que promovam ganhos de produtividade, eficiência e sustentabilidade nas propriedades rurais. O programa integra a política de crédito rural do governo federal e opera no âmbito do Plano Safra, com condições definidas anualmente pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) [165].

O INOVAGRO financia a adoção de tecnologias inovadoras, como agricultura de precisão, automação e digitalização de processos produtivos, softwares de gestão, sistemas de

monitoramento climático, rastreabilidade, irrigação eficiente, energias renováveis, além de equipamentos e infraestrutura que aumentem a competitividade da produção agropecuária. Também podem ser apoiadas melhorias voltadas ao bem-estar animal, biossegurança e redução de impactos ambientais.

Podem acessar a linha produtores rurais, pessoas físicas ou jurídicas, que atendam aos critérios de enquadramento definidos para o crédito rural. Os recursos são operacionalizados por instituições financeiras autorizadas, como bancos públicos, privados e cooperativas de crédito. De modo geral, trata-se de uma linha voltada a produtores que

buscam modernizar seus sistemas produtivos e incorporar soluções tecnológicas para aumentar eficiência, reduzir custos e melhorar a sustentabilidade da atividade rural.

O INOVAGRO é, portanto, um instrumento estratégico para impulsionar a transformação digital e tecnológica no setor agropecuário brasileiro, contribuindo para maior

competitividade e inovação no campo. A Tabela 7 apresenta mais detalhadamente as condições de financiamento do INOVAGRO. É importante observar que as condições e os critérios de financiamento podem variar de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 7 – Condições de financiamento do INOVAGRO**

<b>Taxa de juros</b>	12,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Empresa individual - R\$ 4 milhões Empresa coletiva - R\$ 12 milhões, respeitando limite individual
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.4 Programa de Financiamento à Agricultura Irrigada e ao Cultivo Protegido (PROIRRIGA)

O PROIRRIGA é uma linha de crédito rural destinada ao apoio de investimentos em irrigação, infraestrutura hídrica e manejo eficiente da água nas propriedades rurais. O programa integra a política de crédito rural do governo federal e opera no âmbito do Plano Safra, com condições definidas anualmente pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) [166].

O PROIRRIGA tem como principal objetivo aumentar a produtividade agrícola, reduzir riscos climáticos e promover o uso racional dos recursos hídricos, contribuindo para maior segurança produtiva e sustentabilidade ambiental. Entre os itens financiáveis estão a implantação, ampliação ou modernização de sistemas de irrigação (como pivô central, gotejamento e aspersão), aquisição de equipamentos de bombeamento, construção de reservatórios, barragens e estruturas de

captação e armazenamento de água, além de sistemas de geração de energia associados à irrigação.

Podem acessar essa linha produtores rurais, pessoas físicas ou jurídicas, que atendam aos critérios estabelecidos para o crédito rural. Os recursos são operacionalizados por instituições financeiras autorizadas, como bancos públicos, privados e cooperativas de crédito. Em geral, os prazos são compatíveis com o retorno do investimento, podendo incluir períodos de carência adequados ao tempo de implantação e início da operação dos sistemas de irrigação.

O PROIRRIGA desempenha papel estratégico na expansão da agricultura irrigada no Brasil, contribuindo para maior estabilidade produtiva, eficiência no uso da água e adaptação às mudanças climáticas. A Tabela 8 apresenta as condições de financiamento do PROIRRIGA. As condições e critérios de financiamento podem variar, de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 8 – Financiamento das condições do PROIRRIGA**

<b>Taxa de juros</b>	12,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Empresa individual - R\$ 3,5 milhões Empresas coletivas - R\$ 10,5 milhões, respeitando limite individual
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 8 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.5 Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agrícola (PRODECOOP)

O PRODECOOP é uma linha de crédito rural destinada a cooperativas agropecuárias, com o objetivo de ampliar a competitividade, modernizar estruturas produtivas e agregar valor à produção dos cooperados. O programa integra a política de crédito rural do governo federal

e opera no âmbito do Plano Safra, com condições estabelecidas anualmente pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) [167].

O PRODECOOP financia investimentos em infraestrutura de armazenagem, industrialização e beneficiamento da produção agropecuária, aquisição de máquinas e equipamentos, modernização de unidades industriais,

logística, sistemas de gestão e adequações sanitárias e ambientais. Também podem ser apoiados projetos voltados à eficiência energética, sustentabilidade e inovação tecnológica nas cooperativas. Dentre os objetivos está a implantação de sistemas para geração e cogeração de energia.

Podem acessar essa linha cooperativas agropecuárias singulares e centrais, desde que estejam em situação regular e atendam aos requisitos estabelecidos pelas normas de crédito rural. O financiamento é

operacionalizado por instituições financeiras autorizadas, como bancos públicos, privados e cooperativas de crédito.

O PRODECOOP é um instrumento estratégico para fortalecer o cooperativismo agropecuário brasileiro, promovendo maior organização produtiva, geração de valor agregado e ampliação do acesso a mercados nacionais e internacionais. A Tabela 9 apresenta as condições de financiamento do PRODECOOP. As condições e critérios de financiamento podem variar, de acordo com a instituição financeira que oferece a linha de crédito.

**Tabela 9 – Condições de financiamento do PRODECOOP**

<b>Taxa de juros</b>	13,5% a.a.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Até R\$ 150 milhões por cooperativa, sendo permitido mais de um financiamento por ano agrícola, respeitados os limites e condições do programa
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

#### 4.3.2.6 Fundos Constitucionais de Financiamento (FNE, FNO e FCO)

Os Fundos Constitucionais de Financiamento são instrumentos de política pública de crédito criados pela Constituição Federal de 1988 (art. 159, I, “c”), com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil. Esses fundos são formados por percentuais da arrecadação do Imposto de Renda (IR) e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e constituem uma das principais fontes de financiamento de longo prazo para atividades produtivas nessas regiões [168].

A gestão estratégica dos Fundos é coordenada pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), enquanto a operacionalização financeira é realizada por instituições bancárias federais específicas:

- Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) é administrado pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB);
- Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO) é administrado pelo Banco da Amazônia (BASA);
- Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO) é administrado pelo Banco do Brasil (BB).

Anualmente, cada Fundo opera com base em uma Programação Anual de Financiamento (PAF), que define prioridades setoriais, limites de crédito e condições financeiras, alinhadas às diretrizes de desenvolvimento regional e sustentabilidade.

Os recursos podem financiar projetos produtivos de pessoas físicas e jurídicas, abrangendo setores como agropecuária, agroindústria, indústria, comércio, serviços, turismo, infraestrutura e energia. As condições de financiamento incluem taxas de juros diferenciadas, prazos estendidos e períodos de carência compatíveis com o ciclo do investimento, podendo variar conforme o porte do beneficiário, a localização do empreendimento e o enquadramento em programas prioritários.

Nos últimos anos, os Fundos Constitucionais têm incorporado diretrizes voltadas à sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e transição energética, incluindo linhas específicas ou condições favorecidas para projetos de energia renovável, eficiência energética, irrigação eficiente e agricultura de baixo carbono. Além disso, é comum a concessão de bônus de adimplência, com redução da taxa efetiva de juros para pagamentos realizados em dia.

Para produtores rurais, especialmente aqueles interessados na implementação de sistemas FV no meio rural, os Fundos Constitucionais representam uma alternativa estratégica de financiamento, combinando crédito de longo prazo com condições adaptadas às realidades regionais e produtivas.

##### 4.3.2.6.1 FNE SOL – Banco do Nordeste

O FNE SOL é uma linha de crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), operacionalizada pelo Banco do Nordeste do Brasil (BNB), destinada ao financiamento de projetos de micro e minigeração distribuída de energia a partir de fontes renováveis. A linha tem como objetivo incentivar a geração própria de energia, reduzir custos operacionais e promover a sustentabilidade ambiental

na região de atuação da SUDENE (Nordeste, norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo) [169]. O programa financia a implantação de sistemas de energia FV, eólica de pequeno porte, biomassa, biogás e pequenas centrais hidrelétricas, incluindo equipamentos, inversores, estruturas de fixação, baterias, sistemas híbridos (on-grid e off-grid) e serviços de instalação. Podem acessar a linha produtores rurais, pessoas físicas, empresas e cooperativas localizadas na área de abrangência do Fundo.

As condições de financiamento, como taxas de juros,

prazos e períodos de carência, são definidas anualmente na Programação do FNE e variam conforme o porte do beneficiário e o enquadramento do projeto. Em geral, a linha oferece prazos de longo prazo e possibilidade de bônus de adimplência, sendo considerada estratégica para apoiar a transição energética e o desenvolvimento sustentável na região Nordeste. A Tabela 10 apresenta as condições de financiamento do FNE SOL disponíveis junto ao BNB para produtores rurais.

**Tabela 10 – Condições de financiamento do FNE SOL para produtores rurais**

<b>Taxa de juros</b>	Setor rural: conforme Resolução do Conselho Monetário Nacional (CMN) nº 5.235/2025. Demais setores: conforme Resolução do Conselho Monetário Nacional (CMN) nº 5.013/2022.
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 100 mil (aproximadamente USD 20 mil)
<b>Período máximo de financiamento</b>	12 anos (empresas e produtores rurais) 8 anos (pessoa física) 2 anos (Projetos de Locação de Sistemas de Micro e Mini GD) 2 anos adicionais (Empresas controladas por mulheres ou com participação acionária superior a 40% do capital social)
<b>Período máximo de carência</b>	3 anos (empresas e produtores rurais) 6 meses (pessoa física) 1 ano (Projetos de Locação de Sistemas de Micro e Mini GD) 1 ano adicional (Empresas controladas por mulheres ou com participação acionária superior a 40% do capital social)

Fonte: [169]

#### 4.3.2.6.2 FNO Rural Energia Verde – Banco da Amazônia

O FNO Energia Verde é uma linha de crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), operacionalizada pelo Banco da Amazônia (BASA), destinada ao financiamento de projetos de geração e uso de energia a partir de fontes renováveis na região Norte do Brasil.

A linha tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentável e ampliar a segurança energética na Amazônia Legal, incentivando investimentos que reduzam custos operacionais, aumentem a eficiência produtiva e contribuam para a transição energética. Podem ser financiados sistemas de energia FV (on-grid, off-grid e híbridos), biomassa, biogás, pequenas centrais hidrelétricas e sistemas eólicos de pequeno porte, incluindo equipamentos, estruturas, obras civis associadas e serviços de instalação [170]. O financiamento está disponível para produtores rurais, empresas, cooperativas e pessoas físicas localizados na área de abrangência do FNO. A linha tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentável e ampliar a segurança energética na Amazônia Legal, incentivando investimentos

que reduzam custos operacionais, aumentem a eficiência produtiva e contribuam para a transição energética. Podem ser financiados sistemas de energia FV (on-grid, off-grid e híbridos), biomassa, biogás, pequenas centrais hidrelétricas e sistemas eólicos de pequeno porte, incluindo equipamentos, estruturas, obras civis associadas e serviços de instalação [170].

O FNO Energia Verde representa um instrumento relevante para viabilizar a geração própria de energia no meio rural e urbano da região Norte, contribuindo para o desenvolvimento regional com foco ambiental e tecnológico. Além de investimentos em energias renováveis, essa linha também fornece suporte a empresas com a adoção de veículos movidos à energia elétrica, híbridos ou com energia renovável, incluindo a estrutura de fornecimento elétrico; obras ecológicas; projetos que apoiam a biodiversidade e atividades no escopo da Agricultura de Baixo Carbono. A Tabela 11 mostra as condições de financiamento de sistemas de energia renovável da FNO Rural Energia Verde.

**Tabela 11 – Condições de financiamento da FNO Rural Verde para projetos de energia renovável**

<b>Taxa de juros</b>	Varia em função do porte e finalidade do crédito
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Varia de acordo com a capacidade de pagamento do beneficiário
<b>Período máximo de financiamento</b>	12 anos
<b>Período máximo de carência</b>	6 anos

Fonte: [170]

#### 4.3.2.6.3 FCO Rural – Banco do Brasil

O FCO possui taxas de juros mais baixas do que as do mercado, maior prazo de pagamento e maior período de carência do que a maioria das linhas de financiamento, e R\$ 100 milhões é o valor máximo financiado pelo Fundo. Os beneficiários do FCO são produtores ou empreendedores rurais (desde os micros até os de grande porte) que desenvolvem suas atividades nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás ou no Distrito Federal [171].

Uma das linhas disponíveis do FCO para produtores rurais no Banco do Brasil é a linha FCO Rural, que está disponível para cooperativas de produção, produtores rurais, pessoas físicas ou jurídicas e associações localizadas na região Centro-Oeste. A FCO Rural tem como objetivo atender ao setor de produção agrícola e agroindustrial. A Tabela 12 apresenta as condições de financiamento da FCO Rural oferecidas pelo Banco do Brasil.

**Tabela 12 – Condições de financiamento da FCO Rural para projetos de energia renovável**

<b>Taxa de juros</b>	7,65% a.a. – 10% a.a. dependendo do perfil do beneficiário
<b>Valor máximo de financiamento</b>	R\$ 20 milhões, ou R\$100 milhões em casos excepcionais
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 20 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 12 anos

Fonte: [171]

#### 4.3.2.7 BNDES Finame Baixo Carbono

O BNDES Finame Baixo Carbono é uma linha de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) voltada ao financiamento de equipamentos, máquinas e sistemas que contribuam para a redução de emissões de gases de efeito estufa, eficiência energética e transição para uma economia de baixo carbono. A linha apoia a aquisição de soluções que melhoram a performance ambiental e energética de empreendimentos em diversos setores da economia [172]. Podem acessar o financiamento empresas sediadas no Brasil, produtores rurais (pessoas físicas e jurídicas), cooperativas, empresários individuais, transportadores autônomos e instituições públicas. A linha inclui entre os itens financiáveis:

- Sistemas geradores FV;
- Aero geradores (energia eólica);
- Coletores e aquecedores solares;

- Máquinas e equipamentos para armazenamento de energia (baterias, hidrogênio);
- Equipamentos e tecnologias de eficiência energética, como motores elétricos com alta eficiência, sistemas de refrigeração com inversores, bombas de calor e trocadores de calor;
- Conversores de biomassa em energia ou produtos de alto valor agregado; e serviços de instalação associados aos equipamentos.

Para serem elegíveis, os bens devem ser novos, de fabricação nacional e credenciados no Cadastro de Fabricantes e Itens (CFI) do BNDES Finame. A aquisição pode abranger tanto equipamentos industriais quanto soluções aplicadas ao setor rural, incluindo tecnologias para geração de energia renovável e eficiência energética nas propriedades. A Tabela 13 apresenta as condições de financiamento dessa linha.

**Tabela 13 – Condições de financiamento do BNDES FINAME Baixo Carbono**

<b>Taxa de juros</b>	Taxa de juros TFB, TFBD, TLP, Taxa LCD, Taxa Pré FAT ou Taxa Pré FAT MPME + Taxa do BNDES (0,75% a.a.) + Taxa do Agente Financeiro (negociada com a instituição) <sup>6</sup>
<b>Valor máximo de financiamento</b>	Varia de acordo com o projeto e a capacidade financeira da empresa.
<b>Período máximo de financiamento</b>	Até 10 anos
<b>Período máximo de carência</b>	Até 2 anos (Nos financiamentos em TFB, a carência é de até 1 ano)

Fonte: [172]

#### 4.3.2.8 Mecanismos de incentivo à inovação e sustentabilidade

Além das linhas de crédito tradicionais, o financiamento de sistemas agrivoltaicos no Brasil pode se beneficiar de mecanismos específicos voltados para a inovação tecnológica. Abaixo são mencionados os alguns mecanismos de fomento à inovação adequados para projetos agrivoltaicos:

- **Inovacred (FINEP):** A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio do programa Inovacred oferece linhas específicas para o financiamento de inovações. O **Finep Inovacred** tem como objetivo aumentar a competitividade das empresas brasileiras, apoiando o desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços, ou o aprimoramento significativo dos já existentes. O programa opera por meio de financiamento reembolsável descentralizado, utilizando recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) repassados por agentes financeiros credenciados [173].
- **Público-Alvo:** O programa destina-se a empresas e pessoas jurídicas de direito privado, desde microempresas e empresas de pequeno porte com receita operacional bruta anual de até R\$ 4,8 milhões até Médias Empresas do nível II (faturamento entre R\$ 300 milhões).
- **Itens Financiáveis e Restrições:** O financiamento é abrangente, cobrindo despesas com equipe própria, treinamentos, softwares, matérias-primas, serviços de terceiros e viagens. No entanto, há limites específicos para infraestrutura física:
  - A aquisição de equipamentos (nacionais e importados) é limitada a 70% do valor financiado.
  - Obras civis e instalações são limitadas a 30%.
  - A soma dessas duas rubricas (equipamentos + obras) não pode ultrapassar 80% do valor total do projeto, incentivando que o restante do recurso seja focado no esforço intelectual e de desenvolvimento da inovação.

- **Cooperativas de Crédito:** Cooperativas de crédito normalmente oferecem linhas vinculadas a políticas públicas de crédito rural (como PRONAF, Pronamp ou recursos do Plano Safra) por meio de parcerias com bancos públicos ou via recursos próprios, com condições diferenciadas para associados. Elas podem financiar custeio agrícola, aquisição de máquinas, investimentos em infraestrutura, produtividade, tecnologias e adoção de práticas sustentáveis [174]. Instituições como Cresol, Sicoob e Sicredi desempenham um papel vital na capilaridade do crédito, ampliando o acesso a pequenos e médios produtores que muitas vezes não são atendidos pelos grandes bancos.
- **Lei do Bem:** Para empresas que operam no regime de Lucro Real e investem em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) a Lei do Bem pode representar um importante incentivo fiscal para agrivoltaicos. Este mecanismo permite:
  - A dedução de 60% a 100% dos dispêndios com P&D na base de cálculo do IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica) e da CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido).
  - A possibilidade de recuperar até 27% do imposto devido.
  - A geração de um “cashback fiscal” que libera caixa nas empresas, permitindo o reinvestimento em novas frentes de inovação tecnológica no setor agroenergético.

#### 4.4 Benefícios e desvantagens dos sistemas agrivoltaicos no contexto brasileiro

Esta seção compreende uma análise dos pontos fortes, dos pontos fracos, das oportunidades, e das ameaças com relação à tecnologia agrivoltaica no contexto brasileiro, bem como os benefícios técnicos, econômicos e sociais das aplicações agrivoltaicas, considerando as diferentes regiões e análises dos tópicos anteriores. Além disso, inclui benefícios e desafios em potencial para a implementação de sistemas agrivoltaicos nessas regiões.

6 As taxas da linha FINAME Baixo Carbono são calculadas por operações indiretas e são compostas por Custo Financeiro, Taxa do BNDES e Taxa do Agente Financeiro. [Entenda como isso é calculado.](#)

#### 4.4.1 Análise SWOT

Os principais aspectos da tecnologia agrivoltaica no contexto brasileiro foram organizados em uma matriz SWOT. Essa análise SWOT está disponível na Tabela 14, e

oferece uma visão abrangente das perspectivas da tecnologia agrivoltaica no Brasil, incluindo os pontos fortes e fracos, as oportunidades e as ameaças identificados.

**Tabela 14 - Análise SWOT da tecnologia agrivoltaica no Brasil**

	PONTOS FORTES +	PONTOS FRACOS -
FATORES INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Setor de energia solar bem estabelecido e crescendo rapidamente. O setor agrícola impulsiona a economia do País.</li> <li>+ Abundância de recursos naturais (irradiância e terras agrícolas).</li> <li>+ Diversidade agrícola</li> <li>+ Oportunidades existentes de financiamento para energia solar.</li> <li>+ Colaboração internacional.</li> <li>+ Aumento da conscientização sobre o meio ambiente e as mudanças climáticas.</li> <li>+ Existência de centros de pesquisa e universidades internacionalmente reconhecidos sobre pesquisa em energia solar e agrícola</li> <li>+ Existência de programas de P&amp;D.</li> <li>+ Demanda por aplicações de energia renovável em áreas rurais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologia ainda desconhecida no País.</li> <li>- CAPEX Alto.</li> <li>- Poucos projetos no país e no mundo.</li> <li>- Falta de componentes e estrutura adaptados para os sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de conhecimento técnico sobre a integração entre safras locais e sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de profissionais especializados em sistemas agrivoltaicos.</li> <li>- Falta de dados sobre safra e produção animal relacionadas ao sistema agrivoltaico.</li> </ul>
	OPORTUNIDADES +	AMEAÇAS -
FATORES EXTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Criação de oportunidades de financiamento específicas para sistemas agrivoltaicos.</li> <li>+ Desenvolvimento de tecnologia.</li> <li>+ Aumento da conscientização ambiental e perspectivas de financiamento para soluções de adaptação climática.</li> <li>+ Promoção de segurança alimentar e energética (especialmente em regiões do semiárido).</li> <li>+ Criação de novos modelos de negócios e empregos qualificados.</li> <li>+ Possibilidades em geração distribuída.</li> <li>+ Cooperação entre organizações e setores.</li> <li>+ Potencial para aumentar a resiliência da agricultura familiar e a diversificação de renda.</li> <li>+ Potencial ferramenta para abordar os desafios do nexus água-alimentos-energia.</li> <li>+ Modelo de cooperativas ou associações agrícolas existentes adotam um modelo de energia solar compartilhada e geram créditos de energia para seus associados/ cooperados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concorrência por terras entre setores.</li> <li>- Falta de diretrizes e regulamentos nacionais.</li> <li>- Baixo nível educacional da população que faz parte da agricultura familiar.</li> <li>- Baixa potência de investimento dos estabelecimentos rurais de pequeno porte.</li> </ul>

#### 4.4.2 Benefícios

Conforme mencionado no subcapítulo 2.2, as duas categorias básicas de sistemas agrivoltaicos, de acordo com [14], são sistemas elevados com a produção de safra abaixo do módulo FV, e sistemas inferiores com a safra sendo cultivada entre as fileiras de módulos FV. Os autores também definem as Conforme mencionado no subcapítulo 2.2, as duas categorias básicas de sistemas agrivoltaicos, de acordo com [14], são sistemas elevados com a produção de safra abaixo do módulo FV, e sistemas inferiores com a safra sendo cultivada entre as fileiras de módulos FV. Os autores também definem as principais categorias de aplicação como Safra e produção de alimentos, Produção pecuária, Fornecimento de serviços para o ecossistema e Estufas. Entre essas várias aplicações, as configurações técnicas do sistema agrivoltaico também são diferentes, e seus benefícios podem variar desde o fornecimento de sombreamento até proteção contra geada ou calor extremo, para reduzir as taxas de evaporação. Além disso, os autores identificaram 5 aspectos relevantes de sucesso para projetos agrivoltaicos: Clima, Configuração, Culturas e Cultivo, Compatibilidade e Colaboração (consulte o subcapítulo 3.7).

A ampla gama de configurações agrivoltaicas possíveis pode ser um bom aspecto da tecnologia para o Brasil, considerando a vasta diversidade de escalas de estabelecimentos agrícolas e características climáticas. A região Norte e a região do Matopiba, por exemplo, poderiam se beneficiar do aspecto de uso combinado da tecnologia. No contexto de altas taxas de desmatamento para a criação de novas terras para pasto e trabalhos agrícolas, o uso combinado poderia ser uma ferramenta que geraria renda adicional para famílias locais, evitando assim a remoção da vegetação florestal nativa para a criação de novos campos agrícolas. Além disso, o aumento da renda para pequenos agricultores da região poderia fazer com que esses agricultores tivessem maior rentabilidade por área e recursos para realizar a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis.

Na região Centro-Oeste, as configurações de estruturas mais altas adaptadas a maquinário de grande porte poderiam ser adequadas para a agricultura de larga escala nessa região, e o benefício de reduzir a evaporação e a necessidade de irrigação beneficiaria muitas das safras locais, como as plantações de soja e milho. A região Sudeste lidera com a maior porcentagem de área irrigada, representando 39,8%, seguida do Sul, com 25% [175]. Os sistemas agrivoltaicos podem otimizar os sistemas de irrigação existentes, quando disponíveis, e também oferecem benefícios em regiões nas quais esses sistemas não estão presentes, o que os tornariam economicamente viáveis. Esse aspecto de otimização da irrigação também é relevante, considerando as condições da região Nordeste, que é considerada semiárida e sofre com a escassez de água e os altos níveis de irradiância, conforme

mencionado no subcapítulo 4.2.1.4. Além disso, como essa região é também marcada por altas taxas de pobreza rural, esses sistemas poderiam oferecer benefícios sociais e econômicos relevantes.

No geral, sistemas agrivoltaicos apresentam oportunidades sociais e econômicas para agricultores em várias regiões do País, oferecendo maior autonomia energética para geração de energia para consumo próprio e o potencial de criar uma renda agregada para agricultores por meio do arrendamento ou da criação de créditos de energia por meio do sistema de geração distribuída. Como inspiração, há programas nacionais financiados para sistemas agrivoltaicos em um contexto de agricultura de pequena escala no Japão e na Coreia do Sul e, nos moldes destes, seria possível criar fluxos de renda combinados e aumentar a qualidade de vida dessas populações.

#### 4.4.3 Desafios

No Brasil, os sistemas agrivoltaicos ainda não são amplamente adotados, o que pode representar uma barreira inicial para a implementação desses projetos, uma vez que os interessados em instalá-los podem não ter acesso a modelos de projetos adequados, módulos adaptados (tais como aqueles com maior espaçamento entre as células FV) e estruturas adaptadas (por exemplo, estruturas mais altas ou menos pilares de suporte) para sistemas agrivoltaicos. Além disso, a falta de profissionais com experiência técnica em projetos agrivoltaicos e na integração desses sistemas com as safras pode dificultar ou inviabilizar a implementação da tecnologia nessa etapa. Os sistemas agrivoltaicos também possuem um CAPEX mais alto, em comparação com instalações FV regulares, o que pode representar um desafio relevante, em particular para estabelecimentos de agricultura familiar, os quais possuem, na maior parte das vezes, um baixo poder de investimento.

Além das limitações iniciais sobre equipamentos, profissionais e custos, há a falta de diretrizes ou regulamentos nacionais no Brasil, e isso pode ser, inicialmente, uma barreira para o desenvolvimento de projetos agrivoltaicos. A adoção da tecnologia sem um estudo adequado do contexto climático, da compatibilidade de práticas agrícolas e da configuração agrivoltaica pode comprometer a produtividade resultantes e afetar a credibilidade da tecnologia, o que já aconteceu na França e Japão, por exemplo.

## 5. Contexto do estudo de caso

A utilização de sistemas FV surgiu como uma estratégia importante para atender às necessidades de energia e, ao mesmo tempo, otimizar o uso da terra. Esses sistemas de uso combinado da terra para geração de energia e agricultura, que são a tecnologia agrivoltaica, constituem o contexto deste estudo de caso. O presente estudo de caso gira em torno da Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI), situada no estado do Amazonas, no Brasil. Fundada em 2017, a APOI se dedica a promover a agricultura familiar de pequena escala.

O centro das iniciativas da APOI está na adoção de um modelo de negócios em torno da “Comunidade que Sustenta a Agricultura” (CSA), um empreendimento pioneiro em agricultura sustentável. Além do consumo de energia residencial regular dos membros da APOI, a associação planeja construir uma cozinha industrial, com o apoio do Fundo Amazônia<sup>30</sup> A cozinha industrial aumentaria consideravelmente os gastos de energia da associação.

Nesse contexto, o principal objetivo do presente Estudo de Caso é o de desenvolver um estudo de viabilidade técnica e econômica de um projeto agrivoltaico, com duas configurações específicas. Os resultados visam apoiar a associação APOI em futuros projetos FV, e para servir como uma inspiração para outros projetos agrivoltaicos no contexto brasileiro.

Esta seção inicial fornece uma explicação do processo de definição e oferece a contextualização do local do Estudo de Caso. Além disso, uma caracterização abrangente do local escolhido será incluída nesta seção.

### 5.1 Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI)

A iniciativa escolhida para o estudo de caso, a Associação dos Produtores Orgânicos de Iranduba (APOI), é dirigida pela Presidenta Neiliane Paz, e foi financiada em 2017.

A Associação APOI está localizada no município de Iranduba (Figura 53), no estado do Amazonas. As famílias envolvidas nesse estudo de caso moram nas áreas do Ramal do Peixe Boi e Ramal do Pupunhal. Os produtores orgânicos familiares de pequena escala que fazem parte da associação foram deslocados das margens do Rio Solimões devido ao fenômeno de deslizamento de terra, que ocorre quando a erosão da água causa o colapso das margens dos rios, afetando a terra que eles utilizavam para cultivar alimentos como sua fonte de renda. As principais safras produzidas pelas famílias são legumes e verduras, repolho, agrião, alface, cebolinha, jerimum, coentro, salsa, banana, limão e cupuaçu (Figura 54 e Figura 55). Suas práticas de agricultura incluem estratégias orgânicas e de agrossilvicultura.

Figura 53 – Local do estudo de caso - Associação APOI



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

**Figura 54 – Produção de safras das famílias da APOI**

Fonte: [142]

**Figura 55 – Mulher agricultora da Associação APOI**

Fonte: [142]

Com relação ao consumo de energia, atualmente, as principais despesas energéticas para famílias de produtores são com sistemas de ar-condicionado para suas casas, para o bombeamento de água de poços e para o bombeamento de água para irrigação. Há um projeto para a construção de uma cozinha industrial para ajudar os agricultores locais. O objetivo da cozinha industrial é o de permitir que agricultores façam uma melhor limpeza, explorando alternativas de processamento e armazenamento dos seus produtos. Ela permitirá atividades como o acondicionamento a vácuo de mandioca e legumes e verduras, o processamento (mínimo) de legumes e a fabricação de polpa das frutas. A cozinha

está planejada para ser construída com recursos do Fundo Amazônia e a previsão era de que começasse a operar entre o segundo semestre de 2024 e o ano de 2025. Esse projeto aumentaria a conta de energia elétrica da associação, e o projeto agrivoltaico pode ajudar nisso. As contas de energia elétrica das famílias variavam entre R\$ 200 e R\$ 450/mês (equivalente a 300-600 kWh/mês), mas aumentariam com os custos de operação da cozinha industrial.

Com relação às condições climáticas da região, Iranduba está no coração da Floresta Amazônica, o que significa que está sob um clima equatorial caracterizado por altas temperaturas e mínimas variações durante todo o ano. As temperaturas diurnas variam entre 25°C e 32°C, com as noites permanecendo relativamente quentes. Chuvas pesadas e constantes são características da região, que é marcada por duas principais estações: a úmida e a seca.

O período mais úmido abrange de dezembro a maio, e a temporada mais seca ocorre de junho a novembro, embora a chuva persista mesmo durante o período mais seco.

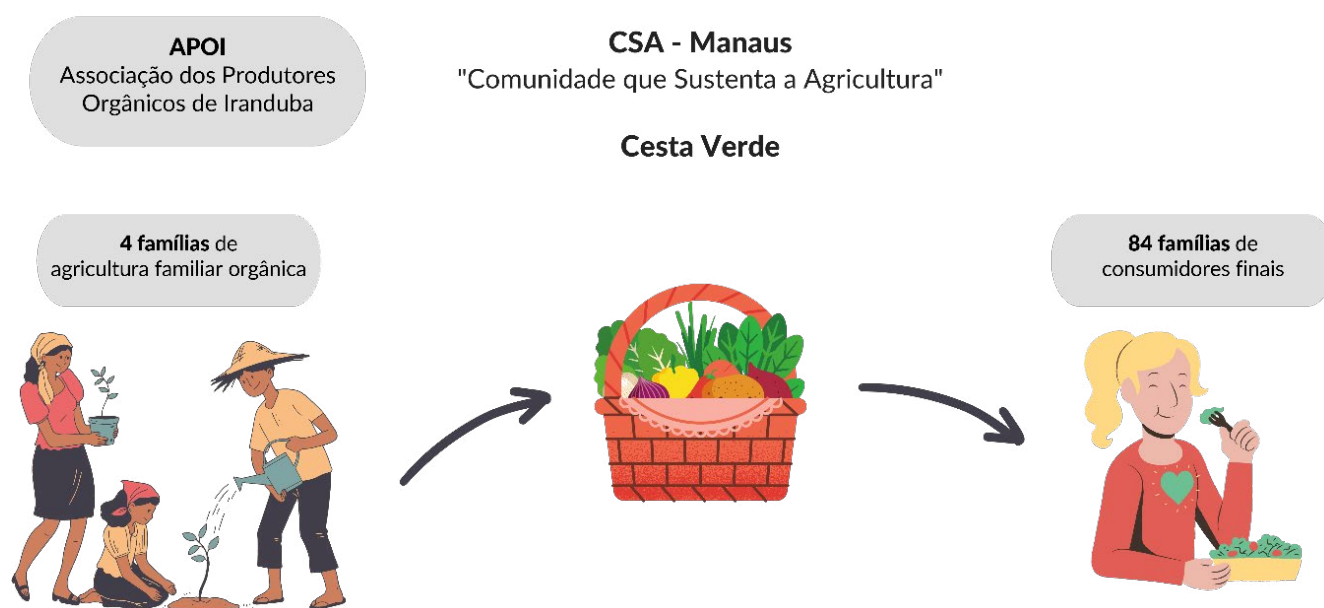
## 5.2 Iniciativas: CSA Manaus e Cesta Verde

A APOI tem um objetivo de trazer a agricultura sustentável para a comunidade e, para isso, faz uso de um modelo de negócios conhecido como a “Comunidade que Sustenta a Agricultura” (CSA). O modelo de CSA é uma parceria entre agricultores e consumidores, na qual as responsabilidades, riscos e recompensas da agricultura são compartilhados. Ele tem surgido como um modelo de sucesso e prospera com a colaboração, unindo produtores de alimentos orgânicos e agroecológicos e consumidores conscientes, em um compromisso mútuo de apoio para a agricultura local.

Para um modelo de CSA bem-sucedido, um grupo fixo de consumidores se compromete a cobrir o orçamento anual da entidade agrícola por um período, geralmente um ano. Como contrapartida, esses consumidores recebem os produtos da fazenda por meio de “cestas de alimentos”, sem quaisquer custos adicionais. Essa abordagem permite que o agricultor tenha dedicação livre para o cultivo, sem as pressões do mercado e de preços. Esse modelo está ativo no Brasil desde 2011, e está presente em quase todos os estados do País [176].

No momento de desenvolvimento do estudo, 12 famílias de produtores agrícolas eram associadas à APOI, que encaminha sua produção por meio do modelo de CSA (Iniciativa CSA Manaus) e outra iniciativa chamada de Cesta Verde. Este último consiste no mesmo modelo de “cestas de alimentos”. Além de fornecer suporte aos consumidores, a APOI também tem como objetivo fornecer alimentos mais saudáveis aos consumidores, incentivando os associados a adotar técnicas de produção agroecológica. Quatro das 12 famílias produzem orgânicos e abastecem 84 famílias consumidoras, que recebem a produção mensal e apoiam financeiramente o modelo de negócios (Figura 56). Essas quatro famílias foram consideradas neste estudo de caso.

Figura 56 – Modelo operacional da APOI



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 5.3 Projeto de sistema agrivoltaico

O principal objetivo do estudo de caso foi avaliar a viabilidade técnica e econômica de um projeto de energia agrivoltaica para atender às necessidades específicas dos pequenos agricultores. Dessa forma, o projeto dos sistemas foi proposto para alinhamento com as realidades econômicas desses agricultores e sua disponibilidade de recursos. Para definir os projetos de sistema agrivoltaico, alguns passos foram seguidos:

- Informações sobre os planos futuros da associação foram reunidos, como bem como o número de associados e como o modelo de negócios da associação funciona;
- A localização das fazendas e a infraestrutura existente foram investigadas;
- As condições do clima e dados sobre irradiância foram obtidos de bancos de dados;
- O tamanho necessário dos sistemas FV foi estimado;
- Definição dos componentes do sistema FV e dos aspectos do projeto;
- Simulações no PVSyst mostraram a produção de energia;

- Simulações no Google Sketchup mostraram os impactos do sombreamento.

Em todo o estudo, dois sistemas foram propostos: um sistema agrivoltaico elevado e um sistema agrivoltaico em uma casa de vegetação. O último é uma estrutura semelhante a de uma estufa, mas aberta nas laterais e tem como objetivo a proteção das safras em caso de chuvas intensas. Conforme mencionado, foi simulada a sombra que afeta as safras, a fim de evitar sombreamento intenso na produção agrícola e encontrar o melhor projeto de sistema. Alguns dos aspectos dos sistemas propostos e seus componentes estão disponíveis nos próximos tópicos.

#### Tecnologia de módulo FV:

Para os sistemas agrivoltaicos da casa de vegetação e elevado, foram escolhidos módulos FV bifaciais. A simulação foi realizada utilizando módulos FV disponíveis no software PVSyst (Tabela 15), que são de um fabricante conhecido por sua confiabilidade de acordo com classificações como PVEL e PV-tech. Os módulos foram também escolhidos por serem amplamente utilizados no País, em escala comercial.

**Tabela 15 – Características do módulo FV**

Sistema	Material do Módulo	Bifacial	Potência	Dimensões
Sistema no Solo	Mono PERC, Vidro Duplo	Sim	440 Wp	2117 mm x 1052 mm
Casa de Vegetação	Mono PERC, Vidro Duplo	Sim	440 Wp	2117 mm x 1052 mm

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### Inclinação, ângulo e orientação do módulo FV:

Para o posicionamento dos sistemas, foi considerada a posição geográfica dos locais e as estruturas e produção agrícolas existentes. O principal objetivo é minimizar qualquer impacto que o sistema agrivoltaico proposto possa causar na produção agrícola existente. Os resultados estão disponíveis na Tabela 16.

Ao longo da análise de sombreamento, foi possível observar que a melhor orientação para ambos os sistemas, nesse aspecto, seria aquela voltada para o oeste (azimute de

90°), pois nessa orientação o sombreamento sobre as safras poderia ser melhor distribuído se as safras fossem posicionadas de forma diferente, mas foi optado por manter a orientação original, voltada para o norte (azimute de 0°), pois as safras já estão estabelecidas e uma das premissas deste projeto foi interferir o mínimo possível na produção agrícola existente. Uma simulação com o sistema voltado para o oeste mostrou que, com essa orientação, a queda de produção de energia seria pequena em comparação com a orientação ao norte e ideal (0,78%) para o sistema elevado e para a casa de vegetação (0,76%).

**Tabela 16 – Características do sistema**

Sistema	Coordenadas	Inclinação do Módulo	Azimute
Sistema agrivoltaico elevado	-3.2528 S, -60.1365 W	10°	0° Norte
Casa de vegetação	-3.2528 S, -60.1365 W	10°	0° Norte

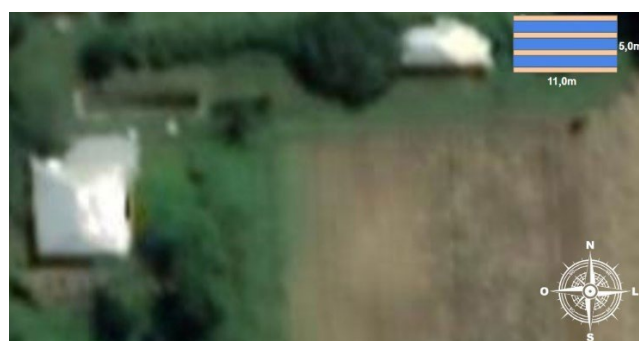
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Os locais propostos para os sistemas seriam o sistema agrivoltaico elevado instalado na fazenda Doquinha, conforme mostra a Figura 57.

**Figura 57 – Local do sistema agrivoltaico elevado**

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

E o sistema de casa de vegetação instalado na casa da Dona Walda, conforme mostra a Figura 58, na qual há outras casas de vegetação já instaladas.

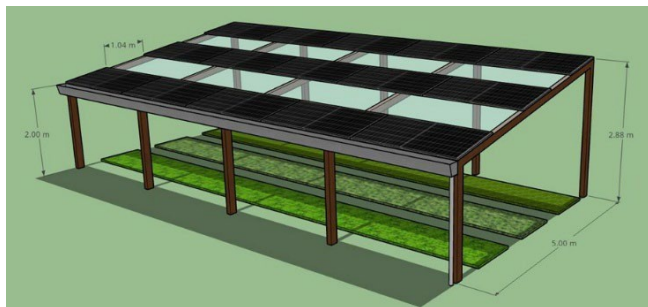
**Figura 58 – Localização da casa de vegetação agrivoltaica**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### Projeto da estrutura de instalação:

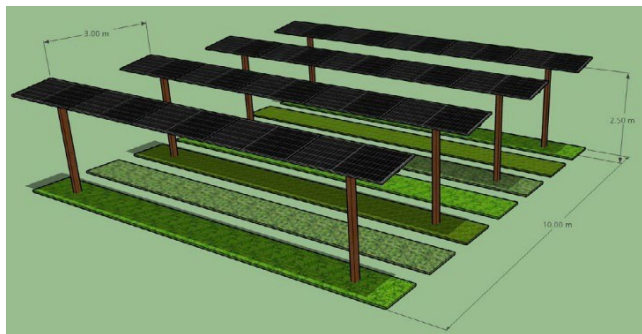
Para a casa de vegetação agrivoltaica e o sistema agrivoltaico elevado, o objeto foi criar um sistema que poderia ser replicado e utilizar materiais que já estavam em uso pelas famílias, tais como madeira para a estrutura física e filme plástico na casa de vegetação, para as áreas sem módulos. Em vez de plástico, painéis de vidro também poderiam ser utilizados na casa de vegetação.

O sistema de casa de vegetação agrivoltaica é de aproximadamente cinco por onze metros, com quinze módulos, conforme visto na Figura 59.

**Figura 59 – Casa de vegetação agrivoltaica**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

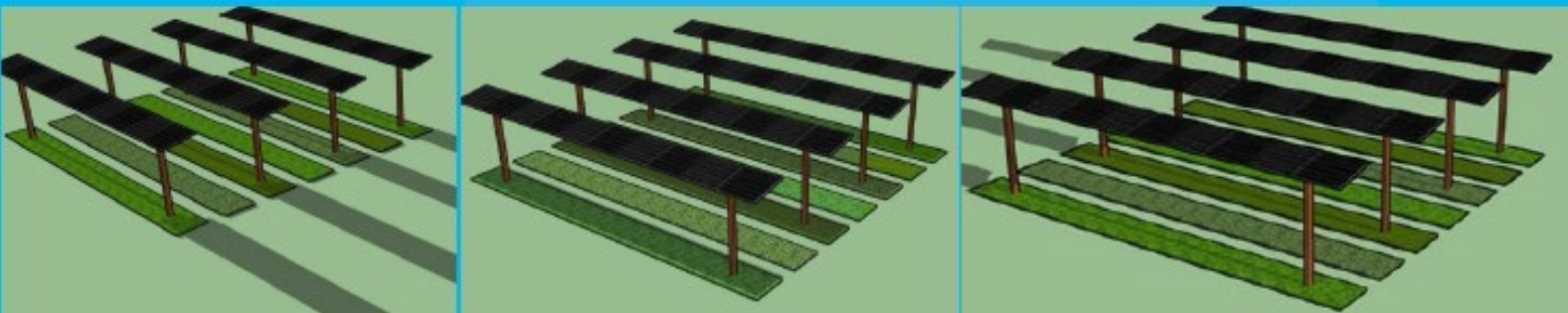
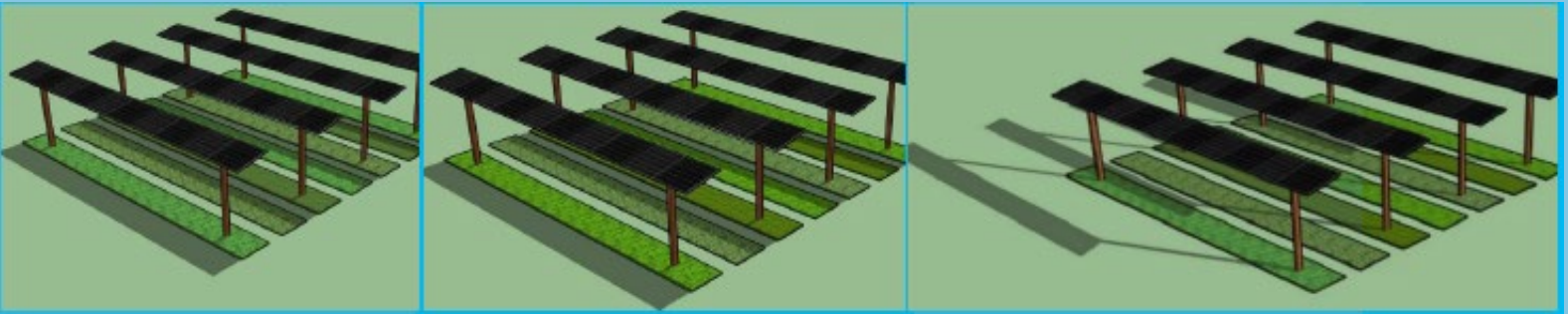
O sistema de captura de água foi projetado para a possibilidade de adição de um reservatório de água para irrigação das plantações. Essa aplicação funcionaria melhor com painéis de vidro, em vez de filme plástico, nas seções transparentes. O sistema agrivoltaico elevado ocupa uma área de aproximadamente onze por dez metros, com vinte módulos divididos em quatro funções de cinco módulos, conforme mostrado na Figura 60.

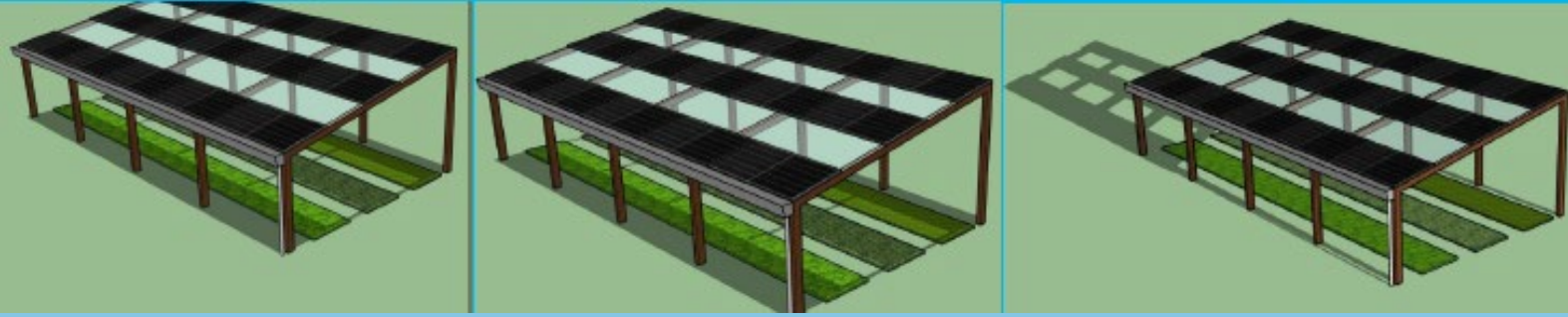
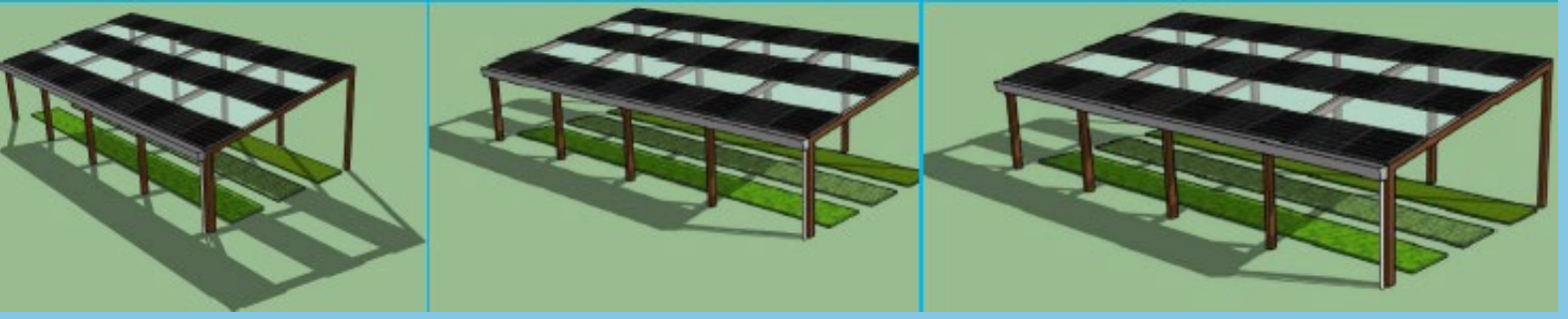
**Figura 60 – Projeto de sistema agrivoltaico elevado**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Outro fator considerado ao realizar o projeto dos sistemas agrivoltaicos, foi a quantidade de sombra que as safras recebem durante o dia. A análise de sombreamento foi realizada utilizando o SketchUp para os dias de 22 de setembro e 22 de dezembro, datas próximas às das estações com as maiores e mais baixas temperaturas, respectivamente, que são também as datas do equinócio e do solstício (Tabela 17).

Tabela 17 – Análise de sombreamento

Sistema	Data	Sombreamento
Sistema no Solo	22/09	<p>O sombreamento na área abaixo da fileira de módulos tem início às 6:50h e termina às 17:00h. A sombra está acima da plantação, abaixo da respectiva fileira, ao meio-dia. As plantações entre as fileiras não receberam sombra durante esse dia.</p> 
	22/12	<p>O sombreamento varia ao longo da plantação, durante a manhã, e se estabiliza entre as plantações por volta das 12h. Em seguida, começa a variar ao longo da plantação novamente.</p> 

	<p>22/09</p>	<p>O sombreamento tem início às 6h30, centralizado nas plantações; por volta das 12h, cobre completamente a plantação central e parcialmente as adjacentes. O sombreamento para de ocorrer por volta das 17h.</p> 
<p>Estufa</p>	<p>22/12</p>	<p>O sombreamento cobre a maior parte das duas plantações abaixo da parte inferior do telhado por volta das 8h30, depois muda para o espaço entre as plantações durante o meio-dia e volta a cobrir as duas partes iniciais por volta das 15h30.</p> 

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Analisando o padrão de sombreamento, podemos concluir que, durante a época mais quente, em setembro, as sombras cobrem as plantações abaixo dos módulos, enquanto durante dezembro, quando as temperaturas resfriam, as sombras fornecem cobertura entre as plantações. Embora possa haver um padrão de sombreamento mais equalizado com o sistema voltado para o oeste, foi optado por seguir o padrão de plantação existente.

- **Produção de energia esperada:** A produção de energia esperada dos dois sistemas mencionados foi calculada e está disponível na Tabela 17.

**Tabela 18 – Produção de energia esperada**

Sistema	Energia FV	Produção anual de energia
Sistema no Solo	8,8 kWp	12,3 MWh/ano
Estufa	6,6 kWp	8,9 MWh/ano

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

- **Rendimento esperado:** O rendimento diário esperado pelos simuladores está na Tabela 18.

**Tabela 19 – Rendimento Diário Simulado**

Sistema	Produção.
Sistema agrivoltaico elevado	3,8 kWh/kWp/dia
Casa de Vegetação	3,7 kWh/kWp/dia

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

É recomendado que todas as áreas de plantação recebam um mínimo de 6 horas de luz do sol direta ao longo do dia, com o ideal sendo por volta de 8 horas. Outra sugestão é a de que legumes e verduras folhosos e tomates, que são mais propensos à desidratação, possam ser plantados em áreas com sombra por volta do meio-dia.

## 5.4 Análise econômica

Um dos principais desafios da tecnologia agrivoltaica no contexto brasileiro, em particular em casos de agricultura

**Tabela 20 – Consumo médio de energia das quatro famílias**

Casa	Consumo médio de energia (kWh/mês)	Consumo médio de energia (kWh/ano)
Casa 1	475,2	5702,5
Casa 2	486,3	5835,0
Casa 3	296,8	3561,5
Casa 4	270,1	3241,0
<b>Total</b>	<b>1.563,1</b>	<b>18.340,0</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

familiar, é o custo do sistema. Dessa forma, o presente estudo compreende uma análise econômica do projeto agrivoltaico proposto. Para desenvolver a análise econômica, alguns passos metodológicos foram seguidos:

- (1) Foram reunidas contas de energia elétrica de 4 famílias produtoras envolvidas no projeto;
- (2) Foi estimado o consumo de energia elétrica futuro da cozinha industrial;
- (3) Foram calculadas a capacidade de energia e a produção de energia dos sistemas agrivoltaicos piloto propostos, com a finalidade de atender à demanda de consumo de energia elétrica das 4 famílias + a cozinha industrial;
- (4) Foram calculados o CAPEX e o OPEX dos sistemas propostos;
- (5) Foram comparados os cenários de perda de produtividade agrícola com a economia de energia elétrica associada ao sistema agrivoltaico;
- (6) Foram realizados os cálculos dos indicadores econômicos: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno de Retorno) e o período de Payback descontado de três cenários diferentes de subsídios:
  - 100% de investimento dos agricultores;
  - 80% de investimento dos agricultores;
  - 60% de investimento dos agricultores;

Foi definido um período de 25 anos para o projeto, a fim de calcular os seus indicadores econômicos. Os passos metodológicos são detalhados nos tópicos deste capítulo, bem como os principais resultados da análise econômica.

### 5.4.1 Custos de energia elétrica das famílias e da cozinha industrial

As contas de energia elétrica das 4 famílias de agricultores foram reunidas para realizar o cálculo da média total dos custos de energia elétrica de suas residências. Esses dados estão disponíveis na Tabela 19.

Além disso, o consumo de energia elétrica da cozinha industrial foi estimado, considerando alguns dos eletrodomésticos associados às atividades e aos produtos

que a família produz. Essa estimativa está disponível na Tabela 20.

**Tabela 21 – Consumo médio de energia da cozinha industrial**

Eletrodomésticos	Qtd.	Potência (W)	Horas diárias de uso	Consumo médio (kWh/mês)
Despolpadeira	1	245	3	14,7
Congeladores	2	-	-	144,2
Seladora a vácuo	1	700	3	42,0
Mixer industrial	1	1000	2	40,0
Forno elétrico	1	5000	6 por semana	120,0
<b>Total</b>				<b>360,90</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

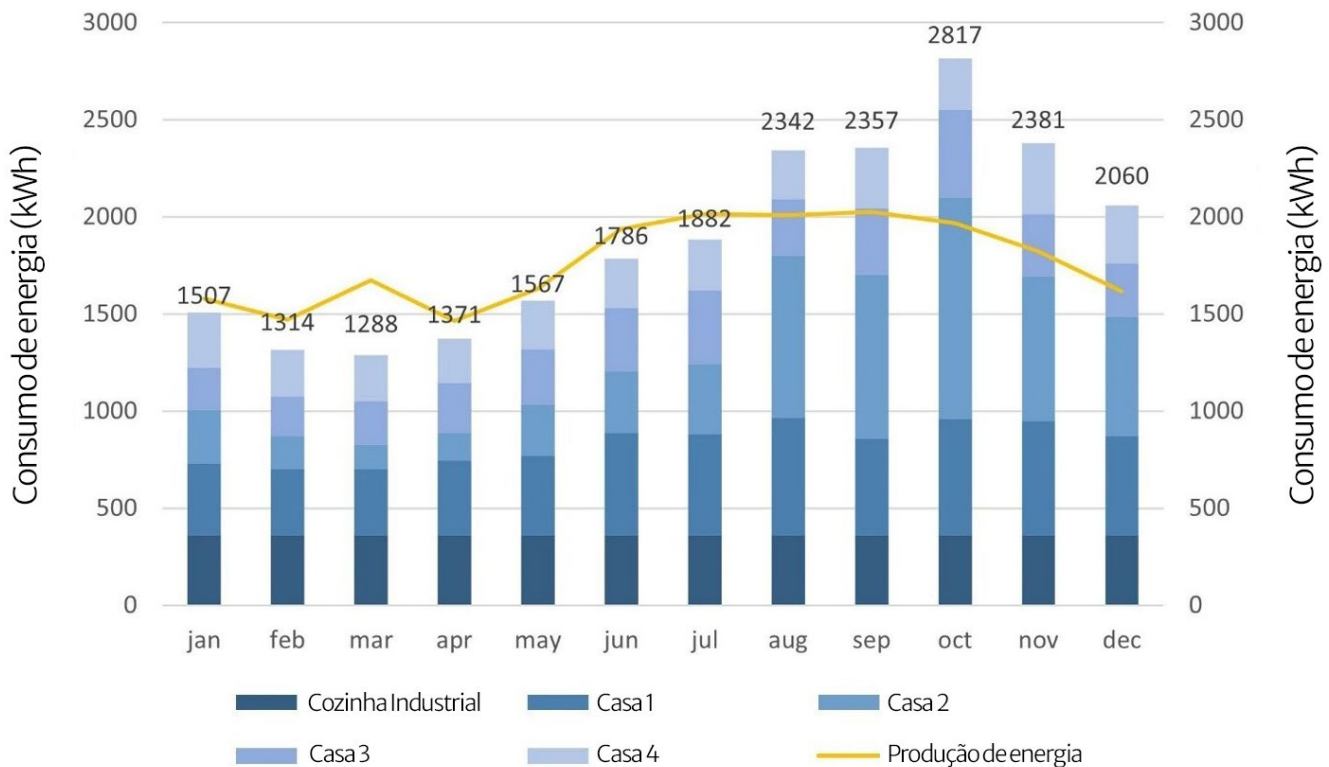
No total, o consumo estimado médio de energia é de 1889,2 kWh/mês, o que resulta em um consumo médio anual de 22,7 MWh/ano.

### 5.4.2 Potência e produção de energia dos sistemas agrivoltaicos propostos

Considerando os sistemas agrivoltaicos propostos neste documento, e módulos FV da marca JA Solar, a potência estimada do projeto seria de 15,4 kWp.

A produção de energia estimada dos sistemas agrivoltaicos foi calculada, resultando em uma média de produção de energia elétrica de 1767,3 kWh/mês, o que resulta em uma média de produção de energia elétrica anual de 21,2 MWh/ano. O consumo médio de energia elétrica de cada casa e da cozinha industrial, bem como a produção de energia elétrica estimada, são representados visualmente no Gráfico da Figura 62.

**Figura 61 – Gráfico de consumo de energia e produção de energia por mês**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O tamanho do sistema foi calculado de modo a fornecer a energia elétrica necessária para as 4 casas e a cozinha industrial, considerando o sistema atual de compensação, ou seja, a medição líquida, regulada pela Lei 14.300 [79].

O sistema de compensação estabelece que há um valor que deve ser pago, independentemente do consumo e da geração de energia, que é chamado de “tarifa mínima”. O valor da tarifa mínima varia de acordo com os tipos de

distribuição/conexão de energia elétrica: se possui uma, duas ou três fases, e se os valores são de 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh, respectivamente.

As unidades consumidoras envolvidas neste estudo de caso possuem todas as conexões de uma única fase, e a cozinha industrial será conectada a uma das unidades consumidoras,

dessa forma, isso resultará em 120 kWh de energia elétrica que serão cobrados todo mês (30 kWh x 4 unidades consumidoras), independentemente da geração FV associada às contas de energia elétrica. O consumo de energia elétrica, a produção e as tarifas mínimas estão dispostos na Tabela 21.

Tabela 22 – Consumo médio de energia da cozinha industrial

Descrição	Valor	Unidade
Consumo médio de energia elétrica (por mês)	1889,2	kWh
Geração de energia elétrica (por mês)	1767,3	kWh
Tarifa mínima para as 4 unidades consumidoras (por mês)	120	kWh
[Consumo de energia elétrica - produção de energia elétrica]	122	kWh

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

É importante enfatizar que este estudo de viabilidade econômica foi desenvolvido para verificar a viabilidade do projeto em uma perspectiva global, e que a distribuição de créditos de energia elétrica entre as casas não foi considerada individualmente. Se o projeto for implementado, diferentes cenários de investimento proporcional de cada família e o valor dos créditos de energia elétrica que seriam transferidos para cada unidade consumidora teriam que ser analisados mais detalhadamente.

### 5.4.3 CAPEX dos sistemas propostos

A casa de vegetação agrivoltaica proposta neste estudo

de caso foi projetada para atender às suas necessidades sem adicionar muita complexidade à estrutura. Assim, a estrutura da casa de vegetação é de madeira, semelhante às existentes, e a estrutura FV metálica e os módulos FV considerados no projeto são os convencionais. Os dados de custo para o sistema FV padrão no Brasil foram obtidos do estudo Greener de 2024 (ano em que foi feito o estudo) [177].

Para estimar o CAPEX do sistema elevado proposto, dados do relatório do NREL “Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for Ground-Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops”<sup>7</sup> [23] foram utilizados (Figura 63).

Figura 62 – Custos típicos de instalação de sistemas FV comparados aos custos de diferentes configurações de sistemas agrivoltaicos



Fonte: [23]

7 <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77811.pdf>

A porcentagem de valor adicional obtido do sistema FV padrão e do sistema agrivoltaico elevado (última coluna na Figura 62) foi utilizada para calcular o custo adicional

associado ao sistema agrivoltaico elevado quando comparado a um sistema FV padrão no Brasil (Tabela 22).

**Tabela 23 – Custo estimado de sistemas agrivoltaicos elevados**

Descrição	Valor	Unidade
Custo do sistema FV regular de 6kWp, Greener (Brasil) – Casa de vegetação	4,15	R\$/Wp
Custo adicional (sistema FV normal -> sistema agrivoltaico elevado)	52,29%	
Custo do sistema FV regular de 8kWp, Greener (Brasil)	3,92	R\$/Wp
Custo do sistema agrivoltaico estimado (Brasil)	5,97	R\$/Wp

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O CAPEX para cada dos sistemas propostos e o CAPEX total para o projeto estão disponíveis na Tabela 23.

**Tabela 24 – CAPEX das diferentes configurações de sistema FV propostas**

	Potência (kWp)	Unidade	CAPEX (R\$)	
Sistema de casa de vegetação	6,60	kWp	R\$ 27.423,00	Total
Sistema agrivoltaico elevado	8,8	kWp	R\$ 52.533,12	R\$ 79.956,12

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 5.4.4 OPEX dos sistemas propostos

Os custos operacionais considerados no projeto são aqueles relacionados à manutenção dos sistemas FV. O custo de manutenção do sistema FV foi considerado como 1% a.a. do valor de investimento inicial do sistema no primeiro ano, o mesmo valor adotado em outros estudos de pesquisa sobre a viabilidade econômica de sistemas FV no Brasil [178].

Além disso, uma vez que os inversores geralmente têm uma vida útil mais curta em comparação com os módulos FV, a substituição de dois inversores dos sistemas propostos foi considerada no ano 10 e no ano 20 da análise econômica. O custo da substituição do inversor foi obtido considerando os dados da proporção dos custos do inversor a partir da Figura 62 [23] e o CAPEX de cada sistema, mostrado na Tabela 23. Além disso, na análise, foi considerada uma taxa de inflação de 3,16% para estimar os custos de manutenção futuros.

#### 5.4.5 Cenários potenciais de perda de produtividade agrícola e economia de energia elétrica associados ao sistema agrivoltaico

Em muitos casos, especialmente em safras resistentes à sombra, a presença de uma estrutura agrivoltaica pode beneficiar as safras e aumentar a produtividade agrícola. Um estudo de 2016 relatou que fazendas com sistemas agrivoltaicos realizando a plantação de safras resistentes à sombra poderiam se beneficiar de um valor econômico 30% maior do que as fazendas convencionais, de acordo com suas simulações [179]. Mesmo que a produção agrícola possa aumentar, uma possível redução de rendimento

também pode ocorrer. Regulamentos na França, no Japão e na Alemanha estabeleceram os níveis máximos de redução de rendimento permitidos alcançáveis [138].

No presente estudo, três cenários de perda de produtividade foram considerados, para comparar uma perda de renda estimada devido à perda possível de produtividade, para a economia de energia associada aos sistemas agrivoltaicos e FV propostos. Na presente análise, o CAPEX foi não considerado, apenas os valores operacionais: perda de produtividade, economia de energia e OPEX do sistema FV.

Para estimar a perda de produtividade em R\$, foi considerado que a instalação agrivoltaica elevada e as casas de vegetação cobririam aproximadamente 5% das terras produtivas dos agricultores. Além disso, para encontrar a redução de renda equivalente associada à perda de produtividade, o número e o preço das cestas de legumes e verduras foram considerados. As quatro famílias abastecem 82 famílias com cestas mensais contendo legumes e verduras orgânicos, que estão disponíveis em dois tamanhos (pequeno e grande). Considerando que metade deles seria de pequeno porte (R\$ 140) e metade de grande porte (R\$200), o total mensal da renda obtida com a venda das cestas seria de R\$ 13.940,00 por mês. Os resultados da análise estão na Tabela 24.

**Tabela 25 – Cenários de perda de produtividade e economia de energia**

Perda de produtividade estimada (%)	Perda de produtividade por ano (R\$)	Economia de energia (R\$) no ano 1, considerando os custos de manutenção FV
5%	R\$ 418,20	R\$ 15.127,95
10%	R\$ 836,40	R\$ 15.127,95
15%	R\$ 1.254,60	R\$ 15.127,95
20%	R\$ 1.672,80	R\$ 15.127,95

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 5.4.6 Indicadores econômicos: VPL, TIR e Período de Payback Descontado

Na presente análise econômica, o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno) e o período de *payback* descontado foram calculados para analisar se os sistemas agrivoltaicos propostos no estudo de caso foram viáveis. É relevante observar que o custo da implementação da cozinha industrial será coberto pelo Fundo Amazônia, e não entra nesta análise.

O uso da TMA (Taxa Mínima de Atratividade) nos cálculos foi de 13,5%, o que corresponde à Taxa Selic no momento do

estudo, que representa uma taxa mínima de retorno que um investimento deve gerar para ser considerado atrativo ou viável. Uma taxa de aumento de 9,2% para a tarifa de energia elétrica foi considerada nesta análise, de acordo com os dados do estudo desenvolvido por Montenegro et al. (2020).

A VPL, a TIR e o período de *payback* descontado foram calculados para três cenários diferentes de subsídios: 100% de investimento dos agricultores; 80% de investimento dos agricultores e 60% de investimento dos agricultores. Os resultados dos indicadores econômicos estão disponíveis na Tabela 25.

**Tabela 26 – VPL, TIR e período de payback descontado**

Investimento dos agricultores	VPL	TIR	Payback descontado
100%	R\$ 98.232,76	24,41%	7 anos 10 meses
80%	R\$ 114.223,99	29,01%	5 anos 10 meses
60%	R\$ 130.215,21	36,59%	4 anos 1 mês

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Todos os cenários analisados neste estudo mostram resultados econômicos atraentes, com VPLs positivos, TIRs mais altas que a TMA e períodos de *payback* descontado abaixo dos 25 anos do período do projeto.

### 5.5 Recomendações sobre operação e manutenção

No Brasil, não há regulamentos que forneçam diretrizes para a caracterização e a manutenção de sistemas agrivoltaicos, no entanto, documentos de outros países sugerem que assegurar a continuidade das safras ao longo do período do projeto e manter a qualidade do solo após a construção e a desinstalação do sistema FV devem ser uma prioridade. Portanto, é recomendado realizar o planejamento da implementação e da manutenção das safras associadas a sistemas agrivoltaicos.

No presente capítulo, algumas diretrizes de manutenção são sugeridas, com base em documentos de outros países e práticas já existentes para sistemas FV regulares, os quais foram adaptados para sistemas agrivoltaicos.

#### 5.5.1 Diretrizes de manutenção do sistema FV

Inversores de sistemas FV modernos têm como alternativa o monitoramento da geração de energia por meio de aplicativos. Por meio do aplicativo, as pessoas podem acessar informações gerais do sistema e a geração anual, mensal e diária de cada sistema vinculado a ele.

Além disso, o aplicativo também permite a visualização do histórico de erros. É necessário designar uma pessoa responsável pelo monitoramento da geração mensal e, além disso, das contas de energia elétrica associadas ao sistema, para assim assegurar que a geração está ocorrendo conforme o esperado e que os créditos estão sendo gerados e distribuídos corretamente.

#### 5.5.2 Identificação de problemas e tipos de manutenção

Ao monitorar a geração de energia, deve haver cautela com relação aos períodos nos quais a geração é significativamente reduzida em comparação com o rendimento esperado. Isso

poderia indicar um erro do sistema, e uma vez que um erro é identificado, é recomendado que uma empresa especializada realize a manutenção e identifique o problema existente.

Além disso, outros indicadores de problemas na planta, que podem ser facilmente identificados por meio de inspeção visual, podem incluir:

- Verificação de ruídos anormais ou elétricos;
- Observação de rachaduras dos módulos ou módulos que estão retorcidos ou soltos;
- Perceber se há quebras ou torções nas estruturas de instalação.

É importante enfatizar que os cabos não devem ser desconectados por indivíduos não treinados, para evitar que ocorram choques elétricos ou a criação de arcos elétricos, o que pode resultar em acidentes. Além disso, andar sobre os módulos FV ou exercer forte pressão sobre eles deve ser evitado, para prevenir danos nas células FV.

#### 5.5.2.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva de sistemas FV destinados a reparar defeitos ou falhas no sistema FV após ocorrerem também tem como objetivo prevenir a recorrência destes. A manutenção corretiva também inclui a substituição de peças e equipamentos com defeitos de fabricação.

Esse tipo de manutenção deve ser realizado apenas por funcionários ou empresas terceiras especializadas na área, com equipamentos de segurança apropriados. Entre as ações de manutenção corretiva, temos:

- A medição atual das junções;
- Manutenção geral das caixas de junção;
- Tensão e polaridade;
- Resistência de isolamento;
- Inspeção e substituição de DPS (Dispositivos de Proteção Contra Surtos) operados;
- Avaliação da integridade dos fusíveis CC;
- Crimpagem do conector MC4;
- Substituição de módulos FV danificados.

#### 5.5.2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva dos sistemas envolve um conjunto de ações que têm como objetivo assegurar a operação apropriada e a longevidade do equipamento e do sistema FV como um todo, bem como evitar o mau funcionamento do sistema. Essas ações são realizadas em conformidade com os manuais de manutenção dos equipamentos, seguindo as diretrizes e as recomendações do fabricante, para assegurar a

validade da garantia. Como parte da manutenção preventiva, alguns agricultores podem ser responsáveis por atividades que incluem observar se há sujeira nos módulos FV e na placa elétrica.

Não é necessário limpar o sistema frequentemente; é recomendado que isso seja realizado uma vez por ano, ou em momentos nos quais haja uma espessa camada de sujeira e uma diminuição da eficiência da geração (Figura 64). Em locais com chuvas frequentes, como é o caso da área do estudo de estudo, é muitas vezes desnecessário limpar os módulos, pois a chuva, combinada com a inclinação do módulo FV, naturalmente removem o acúmulo de poeira.

**Figura 63 – Exemplo de módulos FV sujos e módulos limpos**



Fonte: Elaborados pelos autores (2024)

Para limpar os módulos FV, é aconselhável contratar uma empresa terceirizada especializada. Durante o processo de limpeza, é essencial assegurar que o sistema não está em operação e as junções estão com o circuito aberto; a limpeza não deve ser realizada durante a chuva ou em caso de tempestades com raios. A limpeza pode danificar os módulos e outros componentes do sistema. O material de encapsulamento e o vidro que fazem parte dos módulos FV fornecem proteção contra choques elétricos quando estão intactos. No entanto, se o módulo for rachado ou quebrado, a sua integridade estará comprometida, levando a uma perda de propriedades de isolamento elétrico e representando um risco de choque elétrico. Além disso, ao limpar os módulos, cuidados devem ser tomados com os produtos de limpeza, para evitar que acabem caindo no solo, o que poderia causar impactos nas safras logo embaixo.

Outro componente para o qual pode ser exigida a manutenção preventiva é a placa elétrica. Insetos, pequenos roedores e excrementos de pássaros podem entrar nas placas, dessa forma, a limpeza periódica é necessária para mantê-las em boas condições. A limpeza pode ser realizada a cada seis meses ou conforme determinado por avaliações e necessidade.

Inicialmente, a visual inspeção das placas deve ser realizada, e se apenas sujeira for observada na superfície, os próprios agricultores podem realizar a limpeza utilizando uma escova macia ou esponja. No entanto, qualquer dano mais grave ou

se alterações nas conexões e em componentes elétricos forem exigidas durante a manutenção, esses procedimentos deverão ser realizados por uma empresa especializada. A manutenção deve ser realizada preferencialmente ao amanhecer ou ao anoitecer, para evitar interferências na produção. É recomendado não realizar esse procedimento durante chuvas, garoas ou tempestades com raios. Para minimizar o risco de choque elétrico, a limpeza das placas elétricas deve ser realizada com os sistemas desenergizados.

### 5.5.2.3 Outras orientações de segurança

Com relação à realização de atividades agrícolas abaixo do sistema, é importante evitar trabalhar abaixo do sistema durante intempéries. Além disso, ao realizar a limpeza do módulo FV, deve haver cautela com relação ao uso de agentes de limpeza, para evitar qualquer tipo de impacto sobre as safras.

## 5.6 Conclusões

O projeto agrivoltaico neste estudo de caso apoiaria diretamente 4 famílias ribeirinhas e teria um impacto em 82 famílias consumidoras, além de apoiar a produção orgânica e as práticas de agrossilvicultura na região da Amazônia. Além disso, o projeto apoiaria financeiramente a operação da cozinha industrial, que aumentará e agregará valor à produção dessas famílias.

No presente estudo, o foco principal foi a implementação de sistemas agrivoltaicos de pequena escala adaptados às necessidades específicas dos pequenos agricultores. Embora seja evidente que o custo inicial desses sistemas seja ligeiramente maior do que para configurações convencionais FV, o projeto dos sistemas foi proposto para alinhamento com as realidades econômicas desses agricultores, bem como sua disponibilidade de recursos. Nesse contexto, estruturas de madeira foram utilizadas como uma solução econômica e acessível localmente.

No total, as 2 topologias propostas no estudo consistem em 15,4 kWp e gerariam 21,2 MWh de energia elétrica por ano. Uma das principais conclusões deste estudo é que o CAPEX (Investimentos em Bens de Capitais) final para sistemas

agrivoltaicos, embora mais alto do que o dos sistemas FV convencionais, permanece dentro de uma faixa razoável. Isso sugere que a barreira financeira da adoção da energia agrivoltaica pode não ser significativamente maior para os pequenos agricultores, especialmente quando se consideram os benefícios de longo prazo.

Na análise econômica, cenários de perda de produtividade foram considerados, e mesmo naquele em que foi considerada uma perda de 20% na produção agrícola, os resultados seriam consideravelmente mais baixos do que a economia de energia que ocorreria com a implementação do projeto. Os indicadores econômicos, tais como o período de payback descontado de 7 anos e 10 meses para o cenário de 100% de investimento dos agricultores, resultaram em números que se parecem muito com aqueles de sistemas FV convencionais, o que reforça que o sistema agrivoltaico pode ser uma escolha viável economicamente para pequenos agricultores que buscam integrar a geração de energia renovável com as atividades agrícolas.

Os resultados positivos do estudo mostram que os sistemas agrivoltaicos têm sinergia com os modelos de negócios de energia compartilhada, que podem se beneficiar da estrutura de associação existente. No Brasil, esse modelo se refere à prática de vários consumidores coletivamente gerarem energia renovável, muitas vezes por meio de módulos FV, e o excedente ser distribuído de volta para a rede, de forma que outras pessoas possam usá-la; nesse caso, com a expansão do projeto nos próximos anos, o excedente de energia do sistema agrivoltaico beneficiaria as despesas individuais de energia de outras famílias da associação.

Um tópico relevante para investigação futura é a quantificação do impacto dos sistemas agrivoltaicos na produtividade agrícola. Futuros estudos devem procurar determinar se esses sistemas contribuem positivamente para o rendimento das safras ou, de outra forma, se há qualquer perda de produtividade relacionada às safras específicas. Isso forneceria importantes insights sobre as consequências do sistema agrivoltaico no ecossistema de pequenos agricultores e a sustentabilidade de suas práticas agrícolas.

## 6. Conclusões e recomendações sobre o sistema agrivoltaico no contexto brasileiro

**Esta seção fornece recomendações para as melhores práticas em futuros sistemas agrivoltaicos. Ela engloba recomendações técnicas e agrícolas para práticas agrícolas de pequena e grande escala, com destaque para os principais potenciais de cada macrorregião nacional, mostrando com mais ênfase os projetos mais adequados para sistemas agrivoltaicos. Também apresenta recomendações sobre as melhores práticas agrícolas e incentivos de políticas para promover os sistemas agrivoltaicos no Brasil.**

Considerando sistemas de agricultura de grande escala, no Brasil, soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, café e feijão são os líderes de produção. Esses seis produtos agrícolas representaram mais de 70% do total de terras cultivadas no Brasil de 1985 a 2017, e estão localizados principalmente nas regiões Centro-Oeste, e alguns nas regiões Sul e Sudeste. A agricultura de grande escala é uma das principais contribuições para o Valor Bruto da Produção do País. No entanto, são poucos os que se beneficiam da renda gerada pela chamada agricultura moderna, uma vez que 8% dos estabelecimentos rurais são responsáveis por gerar 85% do valor agrícola. Como a agricultura de grande escala ocupa uma extensão considerável de terras para a produção agropecuária, é sempre entendido que, para esse contexto, quando modelos de negócios forem considerados, os sistemas agrivoltaicos para geração de energia para o mercado livre de energia poderão ser os mais adequados. No entanto, o mercado livre é complexo, no qual, geralmente, apenas grandes players do mercado de energia se envolvem. Além disso, com a eletrificação do transporte e, eventualmente, de todo o maquinário envolvido na agricultura (caminhões, tratores etc.), é esperado que a demanda de energia na agricultura aumente e a autoprodução e a autossuficiência de energia serão um aspecto importante no cenário agrícola nos próximos anos.

Sistemas agrivoltaicos aplicados à agricultura de grande escala deverão ser mais robustos e ter estruturas mais elevadas, para permitir que grandes maquinários possam passar abaixo do sistema, ou dispor as fileiras de módulos FV mais afastadas, com maior pitch, para os maquinários passarem entre fileiras de módulos. Além disso, ao aumentar o espaçamento entre os módulos FV para permitir uma maior distribuição de irradiância na safra também pode ser uma boa prática ao aplicar a tecnologia agrivoltaica no cenário de agricultura de grande escala e monoculturas, tais como soja e cana-de-açúcar. Veja um exemplo na Figura 65.

A agricultura de grande escala também engloba a indústria pecuária de corte, e ela é amplamente desenvolvida em todos os estados e ecossistemas, especialmente nas

regiões Centro-Oeste e Sudeste. A pecuária de corte está diretamente relacionada ao aumento do desmatamento em algumas regiões do País e, além disso, pode causar degradação do solo; ela é responsável por altas frações de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Aplicações agrivoltaicas para a produção agropecuária também podem ser tornar uma opção para aumentar o bem-estar animal e apoiar a promoção de práticas mais sustentáveis nessa indústria de agricultura de grande escala. Aplicações FV verticais servindo como cercas para os animais também devem ser consideradas como uma aplicação FV em potencial para a produção pecuária (Figura 66).

**Figura 64 – Módulos FV bifaciais instalados verticalmente para aplicações como cercas**



Fonte: [23]

Do outro lado do espectro, a agricultura de pequena escala e familiar representa 77% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil, fornece aproximadamente 70% dos alimentos consumidos pela população brasileira e desempenha um papel significativo na criação de empregos, pois emprega cerca de 10,5 milhões de pessoas, representando mais de 70% da força de trabalho do setor agrícola brasileiro. Os estabelecimentos caracterizados como agricultura familiar são prevalentes nas regiões Norte e Nordeste, locais em que há os maiores níveis de pobreza rural no País. Considerando os benefícios comprovados dos sistemas agrivoltaicos, tais como proteção contra o calor e irradiância extremos, redução da evaporação e da necessidade de irrigação, esses sistemas demonstram um potencial compatível com o clima e as características sociais da região do Nordeste.

Para pequenos agricultores, o atual enquadramento legal

para geração distribuída fornece a eles meios de gerar sua própria energia por meio do sistema de compensação de energia elétrica, adaptando a tecnologia de energia solar a uma aplicação agrivoltaica. Portanto, sistemas agrivoltaicos apresentam oportunidades sociais e econômicas para agricultores familiares ao oferecer maior autonomia de geração de energia para autoconsumo e o potencial de fazer com que esta geração se torne renda por meio do arrendamento ou da geração de créditos de energia por meio do sistema de geração distribuída.

Outra discussão no Brasil são os impactos na rede de distribuição causados pela inserção de sistemas de geração de energia elétrica por meio da GD. A chamada inversão de fluxo de potência ocorre quando a energia gerada localmente por um sistema conectado à rede (por exemplo, um sistema FV) é maior do que o consumo instantâneo da unidade consumidora ou do trecho da rede ao qual ela está conectada. Nessa situação, o fluxo de energia elétrica deixa de seguir o sentido tradicional (da subestação para o consumidor) e passa a fluir no sentido contrário. Em termos técnicos, trata-se de uma alteração na direção do fluxo de potência ativa no sistema, podendo provocar: elevação de tensão em alimentadores, sobrecarga de transformadores, descoordenação de sistemas de proteção, limitações para novas conexões de GD e atendimento de outras residências na mesma localidade. Os sistemas agrivoltaicos tendem a ser implementados predominantemente em áreas rurais, que apresentam algumas características como: alimentadores longos, baixa carga instalada e, conseqüentemente, menor capacidade de absorção de geração excedente.

Dessa forma, sistemas agrivoltaicos de médio e grande porte podem enfrentar restrições técnicas relacionadas à inversão de fluxo, especialmente quando a geração ocorre em horários de baixa demanda local. Buscar formas para mitigar estes impactos é um tema de discussão e devem ser considerados para a instalação de sistemas agrivoltaicos conectados a rede, como por exemplo: possibilidade de sistemas de armazenamento de energia, estratégias para aumentar o autoconsumo local, como uso da energia para irrigação, bombeamento ou refrigeração, controle de potência ativa (curtailment), integração com cooperativas ou microrredes rurais e, por fim, planejamento conjunto com a distribuidora, considerando estudos de acesso e capacidade de hospedagem da rede. Por fim, em áreas com alta penetração de sistemas FV, especialmente em regiões rurais com baixa densidade de carga, a inversão de fluxo pode se tornar um fator limitante para a expansão da geração.

Em termos de próximos passos para o desenvolvimento da tecnologia agrivoltaica no Brasil, algumas recomendações incluem:

- Realização de pesquisas regionais testando diferentes configurações e produções agrícolas, além de fornecimento de oportunidades de financiamento para

projeto de P&D, considerando a diversidade regional da nação e procurando identificar o potencial e as particularidades de cada região;

- Elaboração de diretriz e/ou enquadramento legal nacional que regule a tecnologia agrivoltaica no País. Dentro deste escopo, deve ser criada uma definição de sistema agrivoltaico considerando o cenário diverso de beneficiários e produção agropecuária nacional. Essa diretriz/enquadramento legal deve estar alinhado com a Lei 14.300;
- Criação de linhas de crédito para agricultura familiar focadas em agrivoltaicos (incluindo eletrificação transportes e maquinário envolvidos na agricultura e equipamentos para beneficiamento de subprodutos);
- Promover programas de treinamento sobre tecnologia agrivoltaica para institutos federais, bem como em outras instituições de educação.

## Referências

- [1] C. A. Brandão, “Espaços da destituição e as políticas urbanas e regionais no Brasil: uma visão panorâmica,” *Nova econ.*, vol. 26, no. spe, pp. 1097–1132, 2016, doi: 10.1590/0103-6351/3961.
- [2] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO, **The State of Food Security and Nutrition in the World 2022 - Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable.** Rome, 2022. doi: 10.4060/cc0639en.
- [3] GOVBR, “Brasil volta ao menor patamar de fome da história,” *Notícias*. Acesso em: 04 Fev. 2026. [Online]. Available: <https://www.gov.br/secom/pt-br/acompanhe-a-secom/noticias/2025/10/brasil-volta-ao-menor-patamar-de-fome-da-historia>
- [4] IBGE, “PNAD Contínua - Insegurança Alimentar 2024.” 2025. Acesso em: 04 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com\\_mediaibge/arquivos/724f23c52823528787ba0ef28b7940e3.pdf](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/724f23c52823528787ba0ef28b7940e3.pdf)
- [5] A. Nunes, C. Schmitz, S. Moura, and M. Maraschin, “The use of pesticides in Brazil and the risks linked to human health / O uso de pesticidas no Brasil e os riscos associados à saúde humana,” *BJDV*, vol. 7, no. 4, pp. 37885–37904, Apr. 2021, doi: 10.34117/bjdv7n4-311.
- [6] C. Guzowski, M. M. I. Martin, and M. F. Zabaloy, “Energy poverty: conceptualization and its link to exclusion. Brief review for Latin America,” *Ambient. soc.*, vol. 24, p. e00272, 2021, doi: 10.1590/1809-4422asoc20200027r2vu202112de.
- [7] E. B. Pereira et al., “Atlas Brasileiro de Energia Solar 2a. Edição Revisada e Ampliada,” São José dos Campos: INPE, 2017.
- [8] EPE, “Observatório Brasileiro de Erradicação da Pobreza Energética.” 2018. Acesso em: 04 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/OBEPE/>
- [9] G. Masson, A. Van Rechem, M. De l’Epine, and A. Jäger-Waldau, “Snapshot of Global PV Markets 2025,” International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, Apr. 2025. doi: 10.69766/PBHV9141.
- [10] M. Trommsdorff et al., “Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and the energy transition,” Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, Third edition, 2024.
- [11] M. Trommsdorff, I. S. Dhal, Ö. E. Özdemir, D. Ketzner, N. Weinberger, and C. Rösch, “Agrivoltaics: solar power generation and food production,” in *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*, Elsevier, 2022, pp. 159–210. doi: 10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2.
- [12] Fraunhofer ISE, “Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition,” Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2022.
- [13] A. Goetzberger and A. Zastrow, “Kartoffeln unter dem Kollektor,” *Sonnenenergie*, 1981.
- [14] J. Macknick et al., “The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons from the InSPIRE Research Study,” National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), NREL/TP-6A20-83566, 1882930, MainId:84339, Aug. 2022. doi: 10.2172/1882930.
- [15] C. Toledo and A. Scognamiglio, “Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns),” *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6871, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13126871.
- [16] DIN, “DIN SPEC 91434 - Agri-photovoltaic systems - Requirements for primary agricultural use,” Berlin, Germany, 2021.
- [17] S. Schindele et al., “Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications,” *Applied Energy*, vol. 265, p. 114737, May 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114737.
- [18] P. Jae-hyuk, “Agrivoltaics emerge as new income source for aging Korean farmers - The Korea Times.” Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.koreatimes.co.kr/business/companies/20220904/agrivoltaics-emerge-as-new-income-source-for-aging-korean-farmers>
- [19] Fraunhofer ISE, “Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition,” Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2020.

- [20] I. Ademe, “Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et agrivoltaïques - État de l’art bibliographique,” 2021.
- [21] M. J. J. Parra, Legal Counsel, and DVP Italia S.r.l., “Italy publishes new national guidelines for agrovoltaic plants,” *pv magazine International*. Acesso em: 16 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2022/07/05/italy-publishes-new-national-guidelines-for-agrovoltaic-plants/>
- [22] J. F. Weaver, “Vertical bifacial solar seeking greenhouse albedo, deployment space.” Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2023/07/31/vertical-bifacial-solar-seeking-greenhouse-albedo-deployment-space/>
- [23] K. Horowitz, R. Vignesh, J. Macknick, and R. Margolis, “Capital Costs for Dual-Use Photovoltaic Installations: 2020 Benchmark for Ground Mounted PV Systems with Pollinator-Friendly Vegetation, Grazing, and Crops,” National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, NREL/TP-6A20-77811, 2020. [Online]. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77811.pdf>
- [24] India Agrivoltaics Alliance, “Business Models of Agrivoltaics and its Potential Socio-economic Impacts,” New Delhi, 2024.
- [25] F. Ise, “Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition,” 2024, [Online]. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html>
- [26] WRI China, “Agrivoltaics in China: Status, Potential and Pathways for Synergistic Energy– Agriculture Development,” 2025. [Online]. Disponível em: <https://wri.org.cn/en/research/agrivoltaics-china-status-potential-and-pathways-synergistic-energy-agriculture>
- [27] I. Todorović, “Enerjisa launches first agrivoltaic pilot project in Turkey,” *Balkan Green Energy News*. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://balkangreenenergynews.com/enerjisa-launches-first-agrivoltaic-pilot-project-in-turkey/>
- [28] SolarPowerEurope, “Agrisolar Policy Map.” Acesso em: 01 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: [https://api.solarpowereurope.org/uploads/Agrisolar\\_Policy\\_Map\\_Final\\_34d0583fc4.pdf?updated\\_at=2025-10-21T08:23:58.227Z](https://api.solarpowereurope.org/uploads/Agrisolar_Policy_Map_Final_34d0583fc4.pdf?updated_at=2025-10-21T08:23:58.227Z)
- [29] IEA, “Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems,” 2025. [Online]. Disponível em: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2025/03/IEA-PVPS-T13-29-2025-REPORT-Dual-Land-Use.pdf>
- [30] BayWa r.e., “BayWa r.e. wins smarter E AWARD for ‘fruitvoltaic’ system.” Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.baywa-re.com/en/news/baywa-re-wins-smarter-e-award-for-fruitvoltaic-system>
- [31] vattenfall, “Tützpatz, Germany’s largest combined solar and agricultural farm has been inaugurated.” Acesso em: 01 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2025/vattenfall-commissions-germanys-largest-agri-pv-park>
- [32] A. Ademollo, N. Ulivi, L. Ferretti, F. Serafini, C. Carcasci, and C. Pacini, “Policy-constrained agrivoltaics in Italy: a potato case study linking shading, crop and economics,” *Applied Energy*, vol. 405, p. 127225, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.apenergy.2025.127225.
- [33] IEA, “TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS,” 2024. [Online]. Available: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/10/IEA-PVPS-Task-1-Trends-Report-2024.pdf>
- [34] reNEWS, “Cero Generation finances 48MW solar farm in Italy,” *reNEWS - Renewable Energy News*. Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://renews.biz/79524/cero-generation-finances-48mw-solar-farm-in-italy/>
- [35] A. Petroni, “The Italian farmers saving an ancient fruit with solar power.” Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.bbc.com/future/article/20230424-how-agrivoltaics-helped-save-italys-citron-and-lemon-trees>
- [36] M. Maisch, “Croatia adopts legal framework for agrivoltaics,” *pv magazine International*. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2023/07/28/croatia-adopts-legal-framework-for-agrivoltaics/>
- [37] PV Europe, “Innovative 500 kW agrophotovoltaic installation in Croatia.” Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pveurope.eu/solar-modules/innovative-500-kw-agrophotovoltaic-installation-croatia>
- [38] M. Hrabanski, S. Verdeil, and A. Ducastel, “Agrivoltaics in France: the multi-level and uncertain regulation of an energy decarbonisation policy,” *Rev Agric Food Environ Stud*, vol. 105, no. 1, pp. 45–71, Aug. 2024, doi: 10.1007/s41130-024-00204-1.
- [39] AFNOR, “Agrivoltaism: crops first.” [Online]. Disponível em: <https://www.afnor.org/en/news/renewable-energy/agrivoltaic-label-crops/>

- [40] République française, **Décret n° 2024-318 du 8 avril 2024 relatif au développement de l'agrivoltaïsme et aux conditions d'implantation des installations photovoltaïques sur des terrains agricoles, naturels ou forestiers.** 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049386027>
- [41] Makoto Tajima, **"Global Overview I - Pioneer Countries,"** presented at the Agrivoltaics World Conference, Freiburg - Germany, Jul. 01, 2025.
- [42] Sun Agri, **"Projet agrivoltaïque de Sun'Agri à Tresserre."** Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://sunagri.fr/realisations-agrivoltaiques/projet-agrivoltaique-tresserre>
- [43] X. Zhang and X. Ma, **"Vectorized Agrivoltaics Dataset in China from 2010 to 2022,"** *Sci Data*, vol. 13, no. 1, p. 116, Jan. 2026, doi: 10.1038/s41597-025-06305-w.
- [44] Z. Hu, **"Politics over photovoltaics: unpacking the politically directed deployment of agrivoltaics in China,"** *Sustain Sci*, vol. 20, no. 4, pp. 1313-1328, Jul. 2025, doi: 10.1007/s11625-025-01659-x.
- [45] E. Bellini, **"Giant agrivoltaic project in China,"** *pV magazine International*. Acesso em: 16 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2020/09/03/giant-agrivoltaic-project-in-china/>
- [46] Solar Energy Technologies Office, **"The Potential of Agrivoltaics for the U.S. Solar Industry, Farmers, and Communities,"** *Energy.gov*. Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/potential-agrivoltaics-us-solar-industry-farmers-and-communities>
- [47] P. Akbari, R. P. Hall, and J. Ignosh, **"Agrivoltaics Policy Frameworks in the United States: Selected Policies and Programs through 2024,"** Virginia Tech, Blacksburg, 2026. [Online]. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10919/141096>
- [48] A. Macy, T. Swanson, C. Seay-Fleming, A. K. Gerlak, and G. A. Barron-Gafford, **"Designing for dual-use solar: An examination of the agrivoltaic policy landscape in the United States,"** *Energy Policy*, vol. 205, p. 114682, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.enpol.2025.114682.
- [49] NREL, **"Clean Energy to Communities Agrivoltaics 101 Resources Provide a Guide Toward Implementation."** [Online]. Disponível em: <https://www.nrel.gov/news/detail/program/2024/clean-energy-to-communities-agrivoltaics-101-resources-provide-a-guide-toward-implementation>
- [50] DOE, **"Agrivoltaics Pathway,"** 2024. [Online]. Disponível em: <https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/91671.pdf>
- [51] DOE, **"Foundational Agrivoltaic Research for Megawatt Scale (FARMS) Funding Program,"** U.S. Department of Energy. [Online]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/solar/foundational-agrivoltaic-research-megawatt-scale-farms-funding-program>
- [52] AFT, **"Policy Recommendations to Increase Agrivoltaic Development,"** American Farmland Trust, 2025. [Online]. Disponível em: [https://farmland.org/files/aft\\_final\\_policy\\_recommendations\\_to\\_increase\\_agrivoltaic\\_development\\_definition\\_and\\_incentives\\_final-2.27.25.pdf](https://farmland.org/files/aft_final_policy_recommendations_to_increase_agrivoltaic_development_definition_and_incentives_final-2.27.25.pdf)
- [53] Jack's Solar Garden, **"Solar energy Colorado | Jack's Solar Garden, LLC | United States,"** Jack's Solar Garden. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.jacksolargarden.com>
- [54] AES, **"Grafton Solar."** Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.aes.com/sustainability-impact/people-communities/projects/grafton-solar-aes>
- [55] M. Kim, S.-Y. Oh, and J. H. Jung, **"History and legal aspect of agrivoltaics in Korea,"** presented at the AGRIVOLTAICS2021 CONFERENCE: Connecting Agrivoltaics Worldwide, Freiburg, Germany, 2022, p. 050001. doi: 10.1063/5.0127822.
- [56] IEA, **"Korea - 2024 Country Update."** [Online]. Disponível em: <https://iea-pvps.org/about-iea-pvps/members/korea/>
- [57] PVKnowHow, **"South Korea agrivoltaics: Unique Law Set for 2026 Rollout."** [Online]. Disponível em: <https://www.pvknowhow.com/news/south-korea-agrivoltaics-unique-law-set-for-2026-rollout/>
- [58] Hanwha, **"Hanwha's Year in Review 2022."** Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: [https://www.hanwha.com/en/news\\_and\\_media/stories/sustainability/hanwhas-year-in-review-2022.html](https://www.hanwha.com/en/news_and_media/stories/sustainability/hanwhas-year-in-review-2022.html)
- [59] S.-H. Chae, H. J. Kim, H.-W. Moon, Y. H. Kim, and K.-M. Ku, **"Agrivoltaic Systems Enhance Farmers' Profits through Broccoli Visual Quality and Electricity Production without Dramatic Changes in Yield, Antioxidant Capacity, and Glucosinolates,"** *Agronomy*, vol. 12, no. 6, p. 1415, Jun. 2022, doi: 10.3390/agronomy12061415.
- [60] Clean Energy Council, **"AUSTRALIAN GUIDE TO AGRISOLAR FOR LARGE-SCALE SOLAR: For proponents and farmers,"** 2021.

- [61] Renew Economy, “**Lots of solar and lots of sheep, but Australia still too slow on agrivoltaics.**” Acesso em: 26 Fev .2026. [Online]. Disponível em: <https://reneweconomy.com.au/lots-of-solar-and-lots-of-sheep-but-australia-still-too-slow-on-agrivoltaics/>
- [62] Iberdrola, “**Iberdrola pone en marcha en Toledo la primera planta agrovoltaica inteligente de España.**” [Online]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-pone-en-marcha-en-toledo-la-primera-planta-agrovoltaica-inteligente-de-espana>
- [63] Torres, “**Familia Torres launches agrivoltaic pilot installation in the Penedès as part of the SOLARWINE project.**” [Online]. Disponível em: <https://www.torres.es/en/news/beyond-sustainability/familia-torres-launches-agrivoltaic-pilot-installation-penedes-part>
- [64] Statkraft, “**Agrivoltaics: Combining solar panels and agriculture into a win-win result.**” [Online]. Disponível em: <https://www.statkraft.com/newsroom/explained/agrivoltaics-combining-solar-panels-and-agriculture>
- [65] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, “**Status of Installation of Agrivoltaic Facilities.**” [Online]. Disponível em: [www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/einogata.html](http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/einogata.html)
- [66] M. Tajima and T. Iida, “**Evolution of agrivoltaic farms in Japan,**” presented at the AGRIVOLTAICS2020 CONFERENCE: Launching Agrivoltaics World-wide, Perpignan, France, Online, 2021, p. 030002. doi: 10.1063/5.0054674.
- [67] Ryo Hagiwara, “**Understanding the Foundation of Agrivoltaics: The Agricultural Land Act and Latest Guidelines in Detail.**” [Online]. Disponível em: <https://japan-agrivoltaics-insight.com/article/article6>
- [68] E. Bellini, “**Novel plant design for agrivoltaics,**” pv magazine International. Acesso em: 16 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2021/08/05/novel-plant-design-for-agrivoltaics/>
- [69] Next2Sun, “**Luxor Solar KK is new exclusive partner of Next2Sun AG and realizes first Agri-PV project in Japan,**” Next2Sun. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://next2sun.com/en/luxor-solar-kk-is-new-exclusive-partner-of-next2sun-ag-and-realizes-first-agri-pv-project-in-japan/>
- [70] D. Jung, F. Schönberger, and F. Spera, “**Effects of Agrivoltaics on the Microclimate in Horticulture: Enhancing Resilience of Agriculture in Semi-Arid Zones,**” AgriVoltaics Conf Proc, vol. 2, May 2024, doi: 10.52825/agripv2i.1033.
- [71] P. Gese, F. Mancilla Martínez-Conde, G. Ramírez-Sagner, and F. Dinter, “**Agrivoltaic in Chile – Integrative Solution to Use Efficiently Land for Food and Energy Production and Generating Potential Synergy Effects Shown by a Pilot Plant in Metropolitan Region,**” in Proceedings of the ISES Solar World Congress 2019, Santiago, Chile: International Solar Energy Society, 2019, pp. 1–9. doi: 10.18086/swc.2019.19.04.
- [72] GIZ, “**MANUAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS AGRIVOLTAICOS EN CHILE,**” Energy Partnership Chile- Alemania, 2025. [Online]. Disponível em: [https://energypartnership.cl/fileadmin/chile/media\\_elements/Studies/2025\\_Manual\\_para\\_el\\_Desarrollo\\_de\\_Proyectos\\_Agrivoltaicos\\_en\\_Chile.PDF](https://energypartnership.cl/fileadmin/chile/media_elements/Studies/2025_Manual_para_el_Desarrollo_de_Proyectos_Agrivoltaicos_en_Chile.PDF)
- [73] NSEFI, “**Agrivoltaics in India: Overview of projects and relevant policies,**” National Solar Energy Federation of India (NSEFI), New Delhi, 2023.
- [74] ndia Agrivoltaics Alliance, “**Business Models of Agrivoltaics and its Potential Socio-economic Impacts,**” NSEFI, New Delhi, 2024.
- [75] M. Rithiga, “**BUSINESS MODELS FOR AGRIVOLTAICS IN INDIA,**” JINAGRI, vol. 12, no. 4, pp. 1–9, Dec. 2025, doi: 10.37446/jinagri/ra/12.4.2025.1-9.
- [76] NSEFI, “**Agrivoltaics in India Overview of projects and relevant policies,**” 2023. [Online]. Disponível em: [https://energyforum.in/fileadmin/india/media\\_elements/Photos\\_And\\_Gallery/20201210\\_SmarterE\\_AgroPV/20201212\\_NSEFI\\_on\\_AgriPV\\_in\\_India\\_1\\_.pdf](https://energyforum.in/fileadmin/india/media_elements/Photos_And_Gallery/20201210_SmarterE_AgroPV/20201212_NSEFI_on_AgriPV_in_India_1_.pdf)
- [77] ABSOLAR, “**Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR.**” [Online]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico>
- [78] L. C. Vidotto, K. Schneider, R. W. Morato, L. R. Do Nascimento, and R. Rütther, “**An evaluation of the potential of agrivoltaic systems in Brazil,**” Applied Energy, vol. 360, p. 122782, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.122782.
- [79] Brasil, “**Lei No 14.300, de 6 de Janeiro de 2022,**” 2022.
- [80] Solargis, “**Global Solar Atlas 2.0.**” [Online]. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info>
- [81] R. A. Ferreira Junior et al., “**Agrophotovoltaic systems in sugarcane crop – A Brazilian case study,**” Energy Conversion and Management, vol. 344, p. 120307, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2025.120307.
- [82] ANEEL, “**Resolução Normativa no 482, de 17 de abril de 2012,**” 2012.

- [83] A. M. F. Gomes, G. X. de A. Pinto, D. O. dos Santos, A. F. G. Antonioli, H. F. Napolini, and R. Rütther, “Uncovering the beneficiaries: exploring the impact of new distributed solar energy legislation in Brazil,” *Renewable Energy*, vol. 251, p. 123474, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.renene.2025.123474.
- [84] Greener, “Estudo estratégico – Geração Distribuída – Mercado Fotovoltaico – 1º Semestre de 2023,” 2023.
- [85] Japan, “MAFF.” [Online]. Disponível em: <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/einou.html>
- [86] ADEME, “Caracteriser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et agrivoltaïsme - Etat de l'art bibliographique,” 2021.
- [87] TSEEnergy, “The regulatory framework for agrivoltaics to preserve French agriculture.” [Online]. Disponível em: <https://www.tse.energy/en/articles/le-cadre-reglementaire-de-lagrivoltaïsme-pour-preserver-lagriculture-francaise>
- [88] DOE, “Agrivoltaics: Solar and Agriculture Co-Location.” [Online]. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/solar/agrivoltaics-solar-and-agriculture-co-location>
- [89] AFT, “Smart Solar.” [Online]. Disponível em: <https://farmland.org/smart-solar>
- [90] MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA, “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici,” Jun. 2022. [Online]. Disponível em: [https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/linee\\_guida\\_impianti\\_agrivoltaici-pdf-1](https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/linee_guida_impianti_agrivoltaici-pdf-1)
- [91] M. Martinez, “Sistema que combina produção de comida e energia solar pode ajudar famílias no semiárido,” *Mongabay*. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2022/06/sistema-que-combina-producao-de-comida-e-energia-solar-pode-ajudar-familias-no-semiarido/>
- [92] F. F. Lacerda, F. M. Neves, L. X. C. Canel, and G. M. B. Lopes, “Conceito de sistemas agrovoltáticos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino,” *Rev. Dep. Geogr.*, vol. 42, p. e189543, Sep. 2022, doi: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.189543.
- [93] Atmosfair, “Brazil: Agriphotovoltaics in the village of the indigenous Pankará,” *atmosfair*. Acesso em: 17 Fev 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.atmosfair.de/en/climate-protection-projects/solar-energy/brazil-agriphotovoltaics-in-the-village-of-the-indigenous-pankara/>
- [94] M. L. Aragão, “Sistemas agrofotovoltaicos e o papel fundamental do povo Pankará junto à comunidade científica em Itacuruba, PE – Agrega.” Acesso em: 26 Jan. 2026. [Online]. Disponível em: <http://www.agrega.org.br/2023/06/13/sistemas-agrofotovoltaicos-e-o-papel-fundamental-do-povo-pankara-junto-a-comunidade-cientifica-em-itacuruba-pe-%ef%bf%bc/>
- [95] I. J. Bueno, R. A. F. Junior, I. C. Torres, M. A. dos Santos, and J. L. de Souza, “AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR PROPORCIONADA PELO SISTEMA AGROFOTOVOLTAICO EM ALAGOAS,” ANAIS DO XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2023.
- [96] T. Gonzaga, “Pesquisa vai avaliar sistema agrofotovoltaico em plantação de cana-de-açúcar,” *Notícias*. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://noticias.ufal.br/ufal/noticias/2022/6/pesquisa-vai-avaliar-sistema-agrofotovoltaico-em-plantacao-de-cana-de-acucar>
- [97] PVMagazineBrasil, “Nexttracker quer liderar o mercado AgriPV de grande escala.” [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/01/21/nextracker-quer-liderar-o-mercado-agripv-de-grande-escala/>
- [98] PVMagazineBrasil, “Nexttracker amplia Centro de Excelência Solar em Sorocaba (SP).” [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/11/14/nextracker-amplia-centro-de-excelencia-solar-em-sorocaba-sp/>
- [99] MME, “Webinário Explorando o Potencial Agri-PV: Agricultura e Energia Sustentável no Brasil,” Canal do Youtube do MME. [Online]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=96vlayWuP2s>
- [100] M. Chanes De Souza, R. Nery De Castro, B. Azambuja Possato, M. B. Krause, and S. Hutson, “Feasibility of AgriVoltaic Wheat Farming with Standard-Height, Utility-Scale Tracking Systems,” *AgriVoltaics Conf Proc*, vol. 3, May 2025, doi: 10.52825/agripv3i.1355.
- [101] M. Chanes De Souza, R. Nery De Castro, B. Azambuja Possato, M. B. Krause, and S. Hutson, “A Study of Agrivoltaics Peanut Production With Single-Axis Tracking Systems,” *AgriVoltaics Conf Proc*, vol. 3, Jul 2025, doi: 10.52825/agripv3i.1356.
- [102] CEMIG, “Com projeto inovador da Cemig, Epamig e CPQD, produtores rurais poderão cultivar embaixo de usinas solares,” *Cemig*. Acesso em: 26 Fev 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/noticia/com-projeto-inovador-da-cemig-epamig-e-cpqd-produtores-rurais-poderao-cultivar-embaixo-de-usinas-solares>

- [103] Agência Minas, “Projeto sobre uso de energia solar na agricultura avança em Minas Gerais.” Acesso em: 26 Jan. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/projeto-sobre-uso-de-energia-solar-na-agricultura-avanca-em-minas-gerais>
- [104] CenarioEnergia, “EDP Lança Projeto BeeVolt para Preservação das Abelhas e Sustentabilidade em Usinas Solares.” [Online]. Disponível em: <https://cenarioenergia.com.br/2024/10/04/edp-lanca-projeto-beevolt-para-preservacao-das-abelhas-e-sustentabilidade-em-usinas-solares/>
- [105] EDP, “EDP multiplica abelhas nativas em usina solar em Roseira.” [Online]. Disponível em: <https://edp.com/pt-br/america-do-sul/brasil/imprensa/noticias/edp-multiplica-abelhas-nativas-em-usina-solar-em-roseira>
- [106] Agrovoltáicos Sin Fronteras, “Webinar Livestock and Solar Grazing.” [Online]. Disponível em: [https://www.youtube.com/live/aMjgkf\\_Glnk](https://www.youtube.com/live/aMjgkf_Glnk)
- [107] CDSA, “Mutirão de plantio em produção agrofotovoltaica e formação em solos integram diferentes projetos do CDSA e comunidade camponesa.” [Online]. Disponível em: <https://www.cdsa.ufcg.edu.br/index.php/noticias/1720-mutirao-de-plantio-em-producao-agrofotovoltaica-e-formacao-em-solos-integram-diferentes-projetos-do-cdsa-e-comunidade-camponesa>
- [108] Vitrine do Cariri, “Sócia da Vênus Energia Regenerativa visita o Cariri para promover geração de energia solar fotovoltaica.” [Online]. Disponível em: <https://www.vitrinedocariri.com.br/2024/07/01/socia-da-venus-energia-regenerativa-visita-o-cariri-para-promover-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica>
- [109] PVMagazineBrasil, “Agrivoltaico no Brasil: energia, alimento e uma nova lógica para o uso da terra.” [Online]. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/05/14/agrivoltaico-no-brasil-energia-alimento-e-uma-nova-logica-para-o-uso-da-terra>
- [110] SunFarming, “Conclusão da construção do Centro de Pesquisa e Treinamento Agri-Solar da SunFarming no Ceará, Brasil.” [Online]. Disponível em: <https://sunfarming.com.br/conclusao-da-construcao-do-centro-de-pesquisa-e-treinamento-agri-solar-da-sunfarming-no-ceara-brasil/>
- [111] C. A. Alvares, J. L. Stape, P. C. Sentelhas, J. L. De Moraes Gonçalves, and G. Sparovek, “Köppen’s climate classification map for Brazil,” *metz*, vol. 22, no. 6, pp. 711–728, Dec. 2013, doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- [112] Embrapa, “Grãos.” [Online]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/agro-em-dados/agricultura/graos>
- [113] EMBRAPA, “A Embrapa - Portal Embrapa.” Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>
- [114] IBGE, “Censo agropecuário: resultados definitivos 2017,” 2017.
- [115] BGE CNA, “Panorama do Agro,” Portal CNA Brasil. Acesso em: 26 Fev 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna>
- [116] Estadão, “Agronegócio: veja os 10 principais Estados produtores do Brasil | Agro Estadão.” Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/agronegocio-veja-os-10-principais-estados-produtores-do-brasil>
- [117] J. D. Coêlho, “Milho: produção e mercados,” Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 2021.
- [118] CONAB, “Portal de Informações Agropecuárias.” Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br>
- [119] CEPEA/CNA, “MERCADO DE TRABALHO DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO,” 2023.
- [120] A. Miccolis et al., *Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção no cerrado e na caatinga*. Ispn, 2016.
- [121] Brasilagro, “Controvérsia, agricultura familiar abastece boa parte do Brasil.” Acesso em: 17 Fev 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/controversa-agricultura-familiar-abastece-boa-parte-do-brasil.html>
- [122] E. DSSBR, “Insegurança alimentar e Covid-19 no Brasil,” *Determinantes Sociais da Saúde*. Acesso em: 26 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://dssbr.ensp.fiocruz.br/inseguranca-alimentar-e-covid-19-no-brasil/>
- [123] L. Dierings, “Agricultura em Ascensão: Norte do Brasil se Consolida como Polo de Produção de Grãos e Enfrenta Desafios para Manter o Crescimento,” *eProdutor*. Acesso em: 17 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://eprodutor.com.br/norte-brasil-crescimento-agricola-desafios/>
- [124] InfoEscola, “Economia de Roraima - Atividades Econômicas de Roraima.” Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/economia/economia-de-roraima/>

- [125] EMBRAPA, “Perguntas e respostas Matopiba - Portal Embrapa.” Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/perguntas-e-respostas>
- [126] A. A. Rodrigues et al., “Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems,” *Global Change Biology*, vol. 28, no. 22, pp. 6807–6822, Nov. 2022, doi: 10.1111/gcb.16386.
- [127] Embrapa, “Coleção 500 Perguntas 500 Respostas - Portal Embrapa.” Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/publicacoes-e-bibliotecas/colecao-500-perguntas-500-respostas>
- [128] SYNGENTA, “Regiões agrícolas do Brasil: descubra quais são as principais.” Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/regioes-agricolas-brasil/>
- [129] o A. C. Wendell and Y. C. Lima, “Análise da Agricultura do Nordeste no Início do Século XXI,” 2017.
- [130] M. Martinez, “In Brazil’s semiarid region, agrivoltaics show promise for food, energy security,” *Conservation news*. Acesso em: 27 Fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2022/07/in-brazils-semiarid-region-agrivoltaics-show-promise-for-food-energy-security/>
- [131] PASI, “Portal de acompanhamento e informações dos sistemas isolados.” Acesso em: 21 Jan. 2026. [Online]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/>
- [132] Next2Sun, “AgriPV” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://next2sun.com/en/agripv/>
- [133] SandBoxSolar, “SandBox Solar” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://sandboxsolar.com/>
- [134] PVMagazine, “Agrivoltaics prevail in Frances tender for innovative PV technologies” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://www.pv-magazine.com/2021/01/05/agrivoltaics-prevail-in-frances-tender-for-innovative-pv-technologies/>
- [135] ConnexionFrance, “France imposes regulation on use of solar panels on farms” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://www.connexionfrance.com/practical/france-imposes-regulations-on-use-of-solar-panels-on-farms/156720>
- [136] AES, “Grafton Solar” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://www.aes.com/sustainability-impact/people-communities/projects/grafton-solar-aes>
- [137] Hanwha, “From sun to soil, agrivoltaics takes root to transform the energy landscape” Acesso em: 27. Fev 2026. [Online]. Disponível em <https://www.hanwha.com/newsroom/news/feature-stories/from-sun-to-soil-agrivoltaics-takes-root-to-transform-the-energy-landscape.do>
- [138] Fotovoltaica UFSC, “Sistema piloto Agrivoltaico FV UFSC”, comunicação pessoal, UFSC, 2026.
- [139] EDP, “Livestock and Solar Grazing” [Online]. Disponível em [https://www.youtube.com/watch?v=aMjgkf\\_Glnk](https://www.youtube.com/watch?v=aMjgkf_Glnk)
- [140] R. Zilles, “Sistemas Piloto IEE USP”, comunicação pessoal, USP, 2026.
- [141] M. Diniz, “Sistema Piloto FMVZ Unesp Botucatu”, comunicação pessoal, UNESP, 2026.
- [142] R. Morato. “Foto de propriedade da APOI”, comunicação pessoal, 2026.

[www.energypartnership.com.br](http://www.energypartnership.com.br)