

# ARQUITETURA DA RESILIÊNCIA AGRÁRIA: TRANSIÇÃO TECNOLÓGICA INTEGRADA, GOVERNANÇA ECOLÓGICA E SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO

ARCHITECTURE OF AGRARIAN RESILIENCE: INTEGRATED  
TECHNOLOGICAL TRANSITION, ECOLOGICAL GOVERNANCE, AND  
SUSTAINABILITY IN THE SEMI-ARID REGION

Ciências Agrárias, Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas ·

06/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/783049947](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/783049947)

Nilder Silva Pereira

## **RESUMO**

O presente estudo analisa a viabilidade fitotécnica e jurídica de uma infraestrutura integrada no Semiárido brasileiro voltada à agricultura familiar. O problema central estrutura-se na vulnerabilidade da produção agrícola decorrente de estresses abióticos severos e na necessidade de examinar os marcos regulatórios nacionais e a literatura científica especializada. No âmbito das soluções estratégicas, examinam-se estudos como os de acoplamento tecnológico entre matrizes fotovoltaicas, dessalinização por osmose reversa, biodigestores rurais e bioinsumos. O procedimento analítico processa leis federais e diretrizes estaduais para compreender como esses arranjos integrados atenuam gargalos operacionais e normativos de convivência com a seca. Os resultados indicam que o aproveitamento do efluente salino e a reciclagem de passivos orgânicos consolidam ciclos econômicos circulares sustentáveis nas propriedades rurais. Conclui-se que o exame documental confirma a capacidade de a engenharia e as políticas públicas setoriais viabilizarem a segurança no campo através de modelos de cogeração, respaldando o desenvolvimento agrário regional.

**Palavras-chave:** Bioinsumos; Osmose; Caatinga; Potabilidade.

## **ABSTRACT**

This study analyzes the phytotechnic and legal feasibility of an integrated infrastructure in the Brazilian Semi-arid region focused on family farming. The central problem is structured around agricultural production vulnerability resulting from severe abiotic stresses and the need to examine national regulatory frameworks and specialized scientific literature. Within the scope of strategic solutions, studies such as those on the technological coupling among photovoltaic matrices, reverse osmosis desalination, rural biodigestors, and bioinputs are examined. The analytical procedure

processes federal laws and state guidelines to understand how these integrated arrangements mitigate operational and regulatory bottlenecks of coexistence with drought. The results indicate that the utilization of saline effluent and the efficient recycling of organic wastes consolidate sustainable circular economic cycles on rural properties. It is concluded that the documentary examination confirms the capacity of engineering and sectoral public policies to enable security in the countryside through cogeneration models, supporting regional agricultural development.

**Keywords:** Bioinputs; Osmosis; Caatinga; Potability.

## 1. INTRODUÇÃO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que compreendem a Erradicação da Pobreza (ODS 1), a Fome Zero (ODS 2) e a Redução das Desigualdades (ODS 10) configuram-se como as metas globais fundamentais estabelecidas pela Organização das Nações Unidas para promover o desenvolvimento sustentável (ONU, 2026). Em consonância com esses compromissos, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) aponta que o fortalecimento da produção agrícola em ecossistemas sob condições adversas é indispensável para mitigar a inflação dos alimentos e garantir a melhoria dos indicadores sociais (FAO, 2025).

A pobreza rural brasileira apresenta bolsões em todas as macrorregiões, contudo, a situação é particularmente preocupante no Nordeste, especialmente no Semiárido, onde a superação dos desafios históricos de desenvolvimento depende de instrumentos como o fortalecimento do associativismo, do cooperativismo e do acesso à educação básica, tecnologias e assistência técnica (Embrapa, 2020). Nesse cenário, a falta de água torna-se um dos

principais fatores restritivos ao desenvolvimento vegetal, desencadeando efeitos deletérios como o fechamento estomático, o murchamento foliar e a redução dos índices fotossintéticos nas culturas locais (Campos et al., 2021).

A mitigação dos efeitos do aquecimento global sobre a produção agrícola é regida pela Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima para incentivar o desenvolvimento de sistemas produtivos de baixa emissão de carbono (Brasil, 2009). Nesse cenário de adaptação, o uso de biofertilizantes microbianos exemplifica como a inovação biotecnológica pode elevar a eficiência metabólica vegetal e estabelecer um ambiente produtivo resiliente em fronteiras agrícolas sujeitas a estresses abióticos (USP, 2025).

A viabilização desses sistemas em zonas de escassez hídrica exige inovações que protejam a produtividade, a exemplo da aplicação de inoculantes que potencializam culturas adaptadas ao semiárido para garantir a segurança alimentar e a manutenção da renda (Borba et al., 2023). Complementarmente, a integração de biodigestores na produção animal demonstra a viabilidade de converter passivos ambientais em insumos estratégicos, assegurando a continuidade das atividades rurais mesmo sob restrições hídricas críticas (Silva et al., 2025).

O gerenciamento de resíduos nas propriedades rurais deve observar os princípios da Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos para fomentar a economia circular e o reaproveitamento de subprodutos orgânicos (Brasil, 2010). Essa mesma lógica de otimização ecológica ampara as diretrizes do Programa Água Doce, iniciativa estruturada para a

dessalinização sustentável desde seis de dezembro de 2004 e que alcançou escala nacional ao ser incorporada às metas do Plano Água Para Todos instituído pelo Decreto Federal nº 7.535, de vinte e seis de julho de 2011 (Brasil, 2004; 2011).

O Decreto Federal nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018, ao instituir o Programa Cisternas, formaliza a infraestrutura de armazenamento hídrico descentralizado como um eixo central das políticas de convivência com a seca (Brasil, 2018). Dentro do escopo desta revisão, propõe-se que essa infraestrutura seja articulada à substituição de insumos químicos por protetores biológicos microbianos, uma vez que a literatura aponta essa transição como uma estratégia para mitigar a degradação de aquíferos e preservar a qualidade da água armazenada, mantendo a integridade produtiva sob os regimes de estresse abiótico do Semiárido (Fioravanti, 2025).

O problema central deste estudo reside na vulnerabilidade socioeconômica de práticas agrícolas na região do semiárido, onde a carência de infraestrutura hídrica e energética impede a estabilidade da agricultura familiar conforme as metas do Programa Progestão (Brasil, 2013). A ineficiência técnica exige métodos modernos de agricultura incentivados em estados do semiárido como o Maranhão, por meio do Decreto Estadual nº 29.302 que fixa normas de fiscalização, o monitoramento do uso de recursos hídricos e a regularização de sistemas de irrigação (Maranhão, 2013).

Em consonância com a busca por segurança hídrica na extremidade sul do semiárido, o estado de Minas Gerais instituiu a Lei nº 21.156, de 17 de janeiro de 2014, que estabelece a política de fomento à agricultura irrigada para promover o uso sustentável da água (Minas Gerais, 2014). Esse arcabouço foi robustecido pela Lei nº 24.931, de 25

de julho de 2024, que consolidou a política de agricultura irrigada sustentável mediante diretrizes de outorga coletiva para otimizar a gestão hídrica e a produtividade nas áreas de produção (Minas Gerais, 2024).

O dever constitucional de preservação ambiental, previsto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, fundamenta a busca por soluções que integrem o equilíbrio ecológico à autonomia financeira do produtor rural (Brasil, 1988). Diante desse arcabouço, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, permite que a gestão descentralizada das águas ofereça o suporte jurídico necessário para a redução do estresse hídrico no interior do estado (Brasil, 1997).

A tese defendida nesta pesquisa propõe que a utilização de tecnologias alternativas, como o acoplamento de sistemas fotovoltaicos à dessalinização por osmose inversa, converge para as diretrizes de eficiência da Lei Federal nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022). Esta "Arquitetura da Resiliência" torna-se essencial dada a importância do setor de irrigação para o consumo nacional, visto que a agricultura irrigada demanda 50,3% do volume total de água retirado no país conforme os dados do Relatório Conjuntura 2025 (ANA, 2025).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

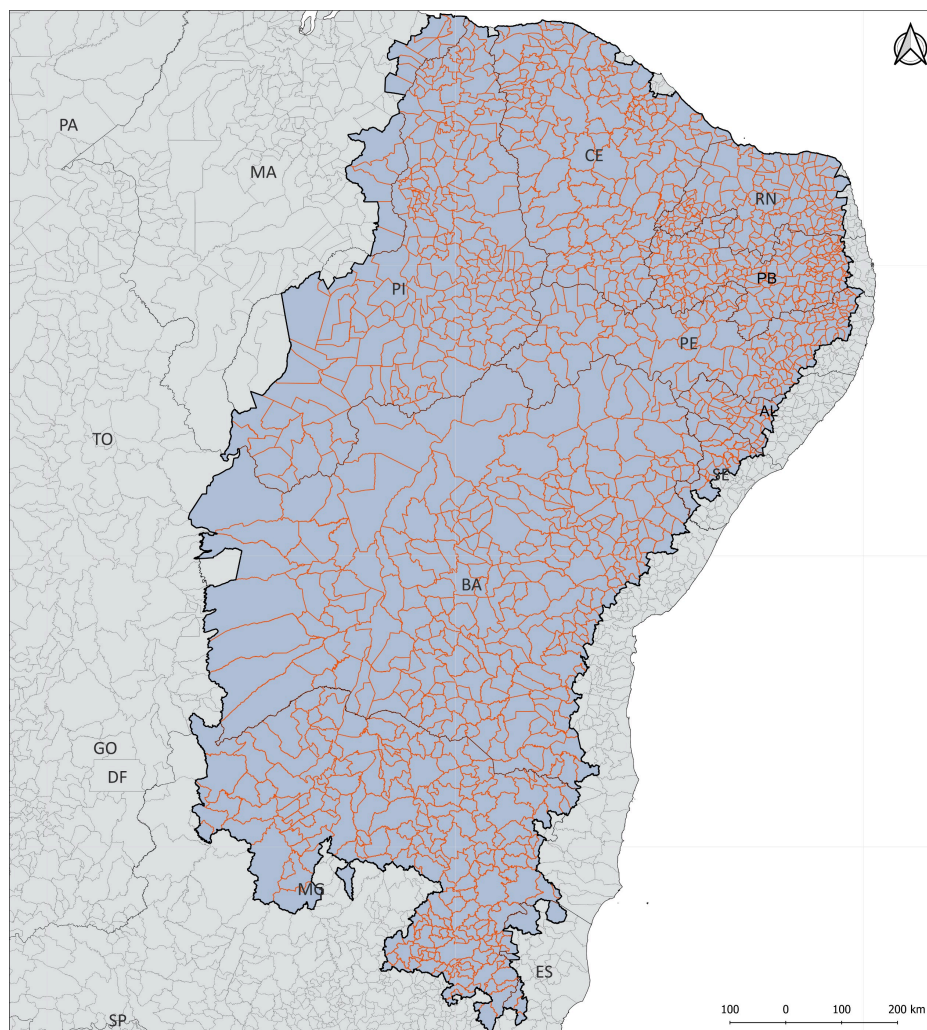
### **2.1. Delimitação Territorial e Diagnóstico Climático**

A metodologia desta pesquisa caracteriza-se como uma análise qualitativa de cunho bibliográfico e documental, fundamentada no exame rigoroso de marcos regulatórios nacionais e literatura científica especializada para sustentar a arquitetura de resiliência

proposta no título. O procedimento analítico inicia-se pela revisão do dever constitucional de preservação ambiental, utilizando o artigo 225 da Constituição Federal para nortear a discussão sobre a sustentabilidade das tecnologias integradas de energia e água (Brasil, 1988).

Sob essa ótica territorial, a Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017, da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), estabelece os critérios técnicos e científicos para a delimitação do Semiárido brasileiro com base em precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 ou percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% (Sudene, 2017). Dando continuidade a esse mapeamento, a Resolução nº 176, de 3 de janeiro de 2024, da Sudene, atualizou essa delimitação territorial e consolidou a abrangência geográfica oficial da região ao fixar em 1.477 o número total de municípios integrados a essa poligonal (Sudene, 2024).

A partir dessa demarcação, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) aponta que o Semiárido brasileiro corresponde a aproximadamente 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes, distribuídos entre áreas urbanas e rurais, cuja configuração espacial e limites territoriais oficiais encontram-se mapeados na Figura 1 (INSA, 2024). Diante desse cenário, a identificação das estratégias de convivência com a seca e de segurança hídrica nessa população fundamenta-se no mapeamento de técnicas descentralizadas de captação e armazenamento de água pluvial e na verificação de fontes alternativas voltadas ao consumo humano e à pequena produção agropastoril (Alves; Rezende; Ribeiro, 2022).



**Fonte:** INSA (2024).

O levantamento metodológico incorpora ainda a análise das vulnerabilidades socioambientais associadas à irregularidade pluviométrica, ao déficit hídrico e à limitação de infraestrutura em comunidades rurais difusas do Semiárido brasileiro (INSA, 2024). Sob essa perspectiva, avaliam-se tecnologias adaptativas voltadas à sustentabilidade produtiva e ao abastecimento descentralizado, observando-se a compatibilidade entre gestão hídrica, segurança alimentar e resiliência ambiental em regiões submetidas à variabilidade climática recorrente e eventos prolongados de escassez hídrica (Campos; Santos; Nacarath, 2021).

## **2.2. Estrutura Analítica de Arranjos Tecnológicos e Normativos**

O levantamento documental analisa as leis concernentes ao tema a ser tratado no decorrer da pesquisa, aplicando-se o exame analítico sobre os diplomas federais e estaduais, tais como a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que estabelece a descentralização hídrica e o uso múltiplo como pilares essenciais para garantir o acesso à água e a viabilidade de sistemas de dessalinização (Brasil, 1997). Esta base normativa é conjugada ao Marco Legal da Geração Distribuída, instituído pela Lei Federal nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, que permite a autogeração fotovoltaica para suprir a demanda energética de infraestruturas rurais (Brasil, 2022).

Por fim, a fundamentação técnica processará as leis e resoluções aplicáveis aos métodos de regulação e supervisão do uso da água, abrangendo parâmetros de conformidade ambiental e instrumentos normativos, tais como a Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que define as competências da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no gerenciamento de recursos hídricos (Brasil, 2000). Esse escopo analítico incorpora os atos voltados à universalização do acesso, a exemplo do Decreto Federal nº 7.535, de 26 de julho de 2011, que institui o Programa Água para Todos, servindo de base analítica para avaliar a viabilidade das infraestruturas de dessalinização em comunidades rurais vulneráveis (Brasil, 2011).

A investigação metodológica abrange também os parâmetros de conformidade de ecossistemas antropizados sob estresse climático, avaliando-se os instrumentos regulatórios de mitigação e adaptação propostos pela Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), voltada às estratégias de enfrentamento da vulnerabilidade climática em territórios semiáridos (Brasil, 2009). O procedimento técnico analisa

os mecanismos operacionais de implementação de tecnologias sociais de acesso à água previstos no Decreto Federal nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018, que regulamenta o Programa Cisternas, focando na mobilização comunitária e na estruturação de tecnologias voltadas à convivência sustentável com o Semiárido (Brasil, 2018).

Adicionalmente, o escopo procedimental compreende o exame de técnicas de ecologia agrária voltadas ao processamento de passivos e promoção da economia circular, utilizando como referencial analítico as diretrizes de gerenciamento e reaproveitamento de subprodutos orgânicos preconizadas na Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), enquanto a triagem qualitativa estende-se ao plano subnacional de regulação hídrica, aplicando-se o exame dos mecanismos de monitoramento e fiscalização propostos no Decreto Estadual nº 29.302/2013, que dispõe sobre a adesão ao Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Maranhão, 2013; Brasil, 2010).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Eficiência do Acoplamento Fotovoltaico e Hídrico**

A Embrapa estabeleceu como meta estratégica para o desenvolvimento regional aumentar o impacto econômico gerado pela adoção de tecnologias voltadas para as demandas do Semiárido até o ano de 2025 (Embrapa, 2020). Essa expansão tecnológica fundamenta-se na necessidade de mitigar os danos severos causados pela escassez hídrica, que limita o desenvolvimento vegetal ao restringir processos fisiológicos vitais

para a produtividade das culturas em regiões áridas (Campos et al., 2021).

A implementação de sistemas agrivoltaicos integrados à produção familiar eleva a eficiência do uso da terra e promove a diversificação econômica no campo por meio de arranjos tecnológicos que otimizam simultaneamente a geração de energia limpa e o cultivo protegido sob os módulos fotovoltaicos (Schneider; Vidotto, 2024). Adicionalmente, essa modelagem reduz a evapotranspiração do solo e protege as plantações contra o estresse térmico extremo da Caatinga, permitindo que a horta comunitária alcance rendimentos anuais de até 130 kg de peixes e 336 kg de hortaliças com reaproveitamento hídrico (Lacerda et al., 2022).

A consolidação de matrizes fotovoltaicas descentralizadas no semiárido depende diretamente da superação da vulnerabilidade energética e estrutural que historicamente limita o avanço da infraestrutura produtiva nas pequenas propriedades rurais locais (Alves; Rezende; Ribeiro, 2022). Esse cenário de restrição severa de insumos exige a difusão imediata de tecnologias adaptadas para assegurar de forma robusta a autonomia hídrica e o desenvolvimento econômico de longo prazo de produtores rurais estabelecidos no sertão (Borba et al., 2023).

### **3.2. Manejo Agroecológico, Bioinsumos e Desertificação**

Dados do Instituto Nacional do Semiárido indicam que 85% do Semiárido brasileiro apresenta estágio moderado de desertificação, enquanto cerca de 9% da área já se encontra efetivamente desertificada, cenário associado ao desmatamento, manejo inadequado do solo, superpastejo e processos de salinização em

áreas irrigadas (INSA, 2026). O Manejo Agroecológico e Biofertilização: O “manejo agroecológico” é uma prática crescente que visa “valorizar a biodiversidade” e “elevar a capacidade produtiva da terra”, permitindo a utilização de “fertilizantes orgânicos ou verdes, como o esterco bovino”, técnica que “propicia a reciclagem de nutrientes e a melhora da estrutura física do solo” com o “aumento de carbono e nitrogênio” (Borba et al., 2023).

A integração da geração de fertilizantes orgânicos com a gestão estratégica da água otimiza o ciclo de nutrientes no solo e reduz a dependência de insumos externos, assegurando que o bem-estar animal ocorra de forma incidental através de um ambiente produtivo higienizado e economicamente resiliente (Silva et al., 2025). A aplicação de microrganismos do gênero *Bacillus* e *Azospirillum* agem como indutores de resiliência, que atuam na síntese de fitormônios para expandir o sistema radicular e aumentar a exploração de água e macronutrientes, garantindo a viabilidade econômica das pastagens e a manutenção da oferta de alimento mesmo sob severa restrição hídrica (USP, 2025).

O estímulo ao uso estratégico de defensores ecológicos e bioinsumos microbianos de baixo impacto atua como uma barreira protetiva essencial contra os efeitos da escassez hídrica prolongada nas culturas agrícolas do sertão (Fioravanti, 2025). Essa transição biotecnológica mitiga a dependência de defensivos químicos e atende aos critérios científicos da Resolução CONDEL/SUDENE nº 107, de 27 de julho de 2017, que estabelece parâmetros de delimitação regional, operando alinhada com a Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Brasil, 2009).

### 3.3. Governança Normativa, Infraestrutura e Ciclos Circulares

A consolidação de infraestruturas hídricas e energéticas integradas no Semiárido brasileiro requer o cumprimento estrito de um arcabouço normativo multifacetado, o qual harmoniza a eficiência fotovoltaica aos critérios de potabilidade vigentes (BRASIL, 2022). Com o intuito de sintetizar as diretrizes operacionais e os limites analíticos que fundamentam esta arquitetura de resiliência agrária, a Tabela 1 organiza as principais legislações e os parâmetros técnicos aplicados ao escopo deste estudo (SUDENE, 2017).

**Tabela 1.** Parâmetros Regulatórios e Técnicos do Ecossistema Integrado.

<b>Instância Reguladora / Autor</b>	<b>Instrumento / Parâmetro Técnico</b>	<b>Aplicação no Ecossistema Integrado</b>
SUDENE (2017)	Resolução nº 107 (Precipitação $\leq$ 800mm; Aridez $\leq$ 0,50)	Critérios científicos para delimitação geográfica e vulnerabilidade climática da poligonal.
Brasil (2022)	Lei Federal nº 14.300 (Marco Legal da Geração Distribuída)	Segurança jurídica para o dimensionamento de matrizes agrivoltaicas comunitárias.
Brasil (2021)	Portaria GM/MS nº 888 (Padrão de Potabilidade Humana)	Mecanismos de controle físico-químico do efluente tratado por osmose reversa.
Brasil (2010)	Lei Federal nº 12.305 (Política de Resíduos Sólidos)	Diretrizes de reaproveitamento de passivos orgânicos em biodigestores rurais.

Lacerda et al. (2022)	Produtividade Agrivoltaica (130 kg de peixe / 336 kg de hortaliças)	Métricas de eficiência para o reaproveitamento hídrico em cultivos protegidos.
--------------------------	--	--

**Fonte:** Autor, 2026.

A estruturação desses parâmetros demonstra que a eficiência dos arranjos tecnológicos está diretamente vinculada à observância de diretrizes de inovação descentralizada, as quais fornecem subsídios teóricos e práticos para maximizar o uso de recursos escassos no Semiárido (Moura et al., 2024). Diante dessa realidade, o cruzamento entre as restrições operacionais e os marcos legais aplicáveis viabiliza a consolidação de ciclos econômicos circulares seguros para a agricultura familiar local (Silva et al., 2025).

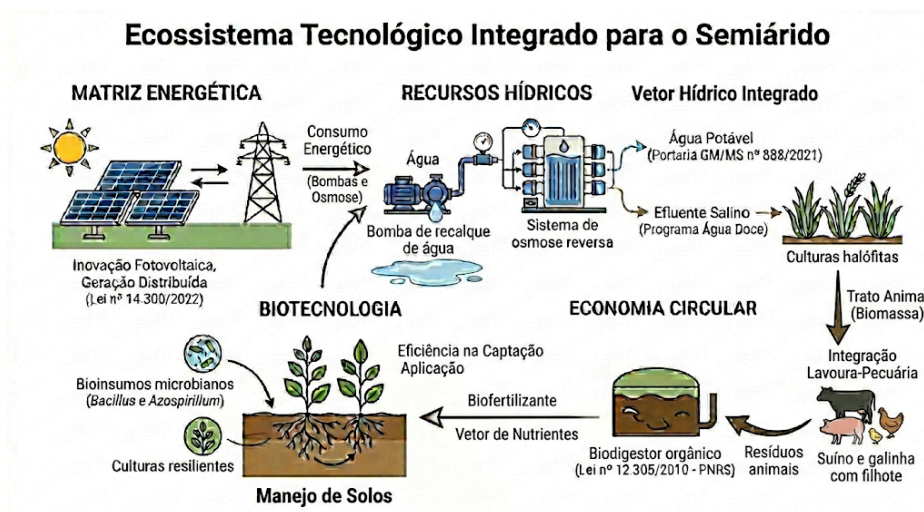
A instituição de centrais de microgeração e minigeração distribuída no campo assegura a autonomia energética de associações comunitárias rurais a partir das garantias técnicas elencadas pela Lei Federal nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, que institui o marco legal da microgeração e minigeração (Brasil, 2022). Esse avanço tecnológico reduz significativamente os custos operacionais com bombeamento hídrico e impulsiona a sustentabilidade financeira local em perfeita consonância com as metas de universalização consolidadas pelo Decreto Federal nº 7.535, de 26 de julho de 2011, que institui o Programa Água para Todos (Brasil, 2011).

O aproveitamento produtivo do efluente salino derivado dos processos de dessalinização por osmose reversa viabiliza a criação de um ciclo econômico circular através do cumprimento das diretrizes do Programa Água Doce, voltado à implantação de sistemas de dessalinização (Brasil, 2004). Essa destinação ecológica

integrada evita o descarte inadequado e a contaminação mineral direta dos solos agrícolas da comunidade, atendendo plenamente aos princípios de gestão coordenada descritos pela Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

A implantação de infraestruturas hídricas circulares em assentamentos rurais isolados ganha amparo estratégico a partir dos critérios de definição e legitimação de público estabelecidos pela Lei Federal nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais (Brasil, 2006). A garantia de segurança e sustentabilidade para esses empreendimentos consolidados passa obrigatoriamente pelo cumprimento rigoroso do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, atualizado pelas Portarias nº 888 de 2021 e nº 2.472 de 2021 quanto aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Brasil, 2017, 2021).

O cruzamento sistemático desses indicadores normativos e biotecnológicos confirma que a integração entre matrizes energéticas limpas e insumos orgânicos locais é capaz de reverter o histórico isolamento socioeconômico das pequenas propriedades sertanejas (Alves; Rezende; Ribeiro, 2022). Conforme ilustra a figura 2, essa convergência planejada de políticas setoriais e arranjos de engenharia mitiga os efeitos severos da degradação dos solos e consolida modelos estáveis de cogeração que asseguram a permanência sustentável do produtor familiar em ecossistemas semiáridos (Schneider; Vidotto, 2024).



Fonte: Autor (IA).

## 4. CONCLUSÃO

A análise da infraestrutura produtiva voltada ao semiárido demonstra que a superação da vulnerabilidade socioeconômica regional está vinculada à modernização dos modelos de exploração da terra. O exame da literatura especializada aponta o acoplamento de matrizes fotovoltaicas descentralizadas aos processos de dessalinização por osmose inversa como um vetor estratégico para mitigar custos operacionais do campo e fornecer suporte técnico perene. (460 caracteres)

A transição biotecnológica promovida pela substituição de insumos químicos por protetores biológicos microbianos consolida a estabilidade das culturas sob regimes climáticos restritivos. Os dados documentados indicam que a aplicação desses microrganismos expande o sistema radicular vegetal e eleva a exploração de nutrientes essenciais no solo, o que atenua a dependência externa e protege o ecossistema produtivo contra o estresse térmico severo da região.

A integração dos biodigestores na rotina das propriedades rurais reforça o aproveitamento energético através do tratamento correto

de resíduos complexos de origem animal no ambiente semiárido. Tal tecnologia converte passivos ambientais em fontes alternativas de energia limpa e em biofertilizantes substituídos de alta qualidade, o que mitiga a microemissão de gases poluentes e fortalece a autonomia dos produtores locais frente aos mercados tradicionais.

Os parâmetros rigorosos de potabilidade e os mecanismos de fiscalização hídrica nacional atuam como garantias técnicas para a manutenção da saúde humana e viabilidade zootécnica. A referida governança coordenada das fontes descentralizadas de captação assegura que o acesso à água ocorra de forma segura, sustentável e alinhada com as metas de universalização de recursos hídricos e com o monitoramento contínuo das bacias em áreas de vulnerabilidade.

Ademais, a consolidação dos marcos regulatórios nas esferas federal e estadual assegura ao proprietário particular o direito de outorga individual de água sob uma governança ecológica rigorosa. O amparo dessas normas jurídicas unifica a regularização dos recursos necessários ao manejo agrícola de sobrevivência, garantindo a eficiência setorial, a justiça agrária e a plena segurança para a subsistência econômica da produção familiar.

Em suma, o estudo confirma que a convergência entre a produção energética limpa, o tratamento de efluentes salinos e a reciclagem de resíduos orgânicos é plenamente viável. A integração equilibrada dessas matrizes multidisciplinares mitiga restrições históricas de infraestrutura, consolidando modelos econômicos circulares de alta eficiência voltados a subsidiar a segurança operacional e a autonomia sustentável para as famílias agricultoras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Weber da Silveira; REZENDE, Luiz Paulo Fontes de; RIBEIRO, Áureo Eduardo Magalhães. **Estratégias de gestão das águas por agricultores familiares em comunidades rurais de Francisco Sá (Minas Gerais, Brasil)**. Argumentos, Montes Claros, v. 19, n. 2, p. 65-99, jul./dez. 2022. DOI: 10.46551/issn.2527-2551v19n2p.65-99. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/73664a35-29d7-4dbb-95ca-d6e4520b9753/content>. Acesso em: 17 maio 2026.

BORBA, Marcelo Costa et al. **A difusão de tecnologias no meio agrícola na Caatinga – aregião de clima semiárido brasileiro**. Interações, Campo Grande, v. 24, n. 1, p. 69-93, jan./mar. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v24i1.3767>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/LtXy3msjSQfrqTxbMxLgpYg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 maio 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Resolução ANA nº 379, de 21 de março de 2013**. Aprova o regulamento do Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – PROGESTÃO. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://progestao.ana.gov.br/progestao-1/o-programa/normativos/379-2013.pdf>. Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2025: relatório síntese**. Brasília, DF: ANA, 2026. 55 p. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Acervo/Detailhe/113042?returnUrl=/sophia\\_web/Home/Index&guid=1773938283263](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detailhe/113042?returnUrl=/sophia_web/Home/Index&guid=1773938283263). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [1988]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011**. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – “ÁGUA PARA TODOS”. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 27 jul. 2011. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/decreto/d7535.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7535.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Decreto nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018**. Regulamenta o Programa Cisternas, instituído pela Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/d9606.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9606.htm). Acesso em: 25 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 jul. 2006. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm). Acesso em: 18 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nº 10.848, de 15 de março de 2004, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e nº 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela

instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm). Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional do Semiárido (INSA). **Delimitação do Semiárido Brasileiro (2024)**. Campina Grande: INSA/MCTI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>. Acesso em: 17 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional do Semiárido (INSA). **Semiárido brasileiro**. Campina Grande, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 17 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Programa Água Doce**. Brasília, DF: MIDR, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce>. Acesso em: 13 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 2.472, de 28 de setembro de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 30 set. 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472\\_30\\_09\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472_30_09_2021.html). Acesso em: 19 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 85, p. 127, 7 maio 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 19 maio 2026.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Conselho Deliberativo. **Resolução CONDEL/SUDENE nº 107, de 27 de julho de 2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência**. Recife: SUDENE, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3c8b249e-8ec3-4db1-b188-bab3c3c3240f/attachments/Resolucao-107-2017-CONDEL-SUDENE.pdf>. Acesso em: 17 maio 2026.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Conselho Deliberativo. **Resolução CONDEL/SUDENE nº 176, de 3 de janeiro de 2024**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-176-de-3-de-janeiro-de-2024-536223462>. Acesso em: 17 maio 2026.

CAMPOS, Anna Júlia de Moraes; SANTOS, Sarah Medeiros; NACARATH, Inaia Rhavene Freire Fagundes. **Estresse hídrico em plantas: uma revisão**. Research, Society and Development, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 15, e53101523155, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>. Disponível em:  
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23155>. Acesso em: 25 maio 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **VII Plano Diretor da Embrapa 2020–2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 31 p. Disponível em:  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126091/1/VII-PDE-2020.pdf>. Acesso em: 25 maio 2026.

FIORAVANTI, Carlos. **Inseticidas naturais avançam na agricultura e rivalizam com os agrotóxicos**. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, ed. 358, dez. 2025. Disponível em:  
<https://revistapesquisa.fapesp.br/inseticidas-naturais-avancam-na-agricultura-e-rivalizam-com-os-agrotoxicos/>. Acesso em: 15 maio 2026.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO); INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT (IFAD); UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF); WORLD FOOD PROGRAMME (WFP); WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **The State of Food Security and Nutrition in the World 2025: addressing high food price inflation for food security and nutrition**. Rome: FAO, 2025. DOI:  
<https://doi.org/10.4060/cd6008en>. Disponível em:  
<https://openknowledge.fao.org/items/4b1f7d26-267d-4a81-aed4-4f9de4d93f85>. Acesso em: 25 maio 2026.

LACERDA, Francinete Francis; NEVES, Fabrício Monteiro; CANEL, Lautemyr Xavier Cavalcanti; LOPES, Geraldo Majella Bezerra. **Conceito de sistemas agrovoltaicos no Nordeste: uma solução de**

**desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino.**

Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, v. 42, e189543, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.189543>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/189543>. Acesso em: 18 maio 2026.

MARANHÃO (Estado). **Decreto nº 29.302, de 15 de agosto de 2013.**

Dispõe sobre a adesão do Estado do Maranhão ao Pacto Nacional pela Gestão das Águas e ao Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – PROGESTÃO. São Luís, MA, 2013. Disponível em: [https://progestao.ana.gov.br/progestao-1/acompanhamento-programa/status-da-adesao/documentos-das-ufs/decretos-de-adesao/decreto-29-302\\_15\\_08\\_2013\\_maranhao.pdf](https://progestao.ana.gov.br/progestao-1/acompanhamento-programa/status-da-adesao/documentos-das-ufs/decretos-de-adesao/decreto-29-302_15_08_2013_maranhao.pdf). Acesso em: 13 maio 2026.

MINAS GERAIS. **Lei nº 21.156, de 17 de janeiro de 2014.** Institui a política estadual de desenvolvimento rural sustentável da agricultura familiar. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/21156/2014/>. Acesso em: 21 maio 2026.

MINAS GERAIS. **Lei nº 24.931, de 25 de julho de 2024.** Institui a política estadual de agricultura irrigada sustentável, dispõe sobre a outorga coletiva do direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/24931/2024/?cons=1>. Acesso em: 21 maio 2026.

MOURA, L. C. de; FRADE, L. F. da S.; MARQUES, D. F.; SILVA, R. M. S. da; CAVALCANTI, R. C.; ARAÚJO, L. C.; SILVA, C. M. da; SILVA, A. V. da.

**Aplicação do georreferenciamento na gestão ambiental do semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica.** OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, [S. l.], v. 22, n. 10, p. e7238, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n10-133. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7238>. Acesso em: 21 maio. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Brasília, DF: ONU Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 25 maio 2026.

SCHNEIDER, Kathlen; VIDOTTO, Laís Cassanta. **Perfis profissionais para o futuro do agronegócio sustentável.** Brasília, DF: Ministério da Educação, 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/ept/profissionais-futuro/Perfis\\_profissionais\\_AgriPV2.pdf?hl=pt-BR](https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/ept/profissionais-futuro/Perfis_profissionais_AgriPV2.pdf?hl=pt-BR). Acesso em: 18 maio 2026.

SILVA, Carla Michelle da et al. (org.). **Bem-Estar Animal no Semiárido: estruturas e estratégias para produção sustentável.** Formiga, MG: Editora MultiAtual, 2025. ISBN 978-65-6009-177-1. DOI: 10.29327/5548642. Disponível em: <https://www.editoramultiatual.com.br/2025/05/bemestar-animal-no-semiarido-estruturas.html?m=1>. Acesso em: 15 dez. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). **Visão Agrícola: Bioinsumos.** Piracicaba: ESALQ/USP, n. 15, jul. 2025. ISSN 1806-6402. Coordenadores: Ítalo Delalibera Junior; Natasha Sant’Anna Iwanicki. Disponível em:

<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA-15-MIOLO-CAPA-final-alta-resolucao.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.