

# BIOGÁS NO SEMIÁRIDO: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O DESENVOLVIMENTO LOCAL E AUTONOMIA ENERGÉTICA

*BIOGAS IN THE SEMI-ARID REGION: TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR LOCAL DEVELOPMENT AND ENERGY AUTONOMY*

*BIOGÁS EN EL SEMIÁRIDO: INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL DESARROLLO LOCAL Y LA AUTONOMÍA ENERGÉTICA*

Marcos Felipe Sobral dos Santos<sup>1</sup>  
Rosivânia da Paixão Silva Oliveira<sup>2</sup>  
Eliana Midori Sussuchi<sup>3</sup>  
Isabelly Pereira da Silva<sup>4</sup>  
Gabriel Francisco da Silva<sup>5</sup>

## Resumo

O estudo analisa os biodigestores de pequeno porte como tecnologias sociais para o semiárido nordestino, destacando seu potencial na promoção da autonomia energética, sustentabilidade e desenvolvimento local. A pesquisa, de caráter qualitativo, exploratória e descritiva, baseou-se em revisão de literatura, documentos institucionais e experiências acadêmicas e comunitárias. Os resultados evidenciam benefícios socioambientais, como redução do uso de lenha e GLP, mitigação de gases de efeito estufa, geração de biofertilizantes e valorização de saberes tradicionais. Também se observam desafios, como a falta de políticas públicas específicas, crédito e assistência técnica para difusão em larga escala. Conclui-se que a consolidação dos biodigestores depende da integração entre inovação frugal, inovação social e tecnologias sociais, bem como do fortalecimento da tríplice hélice universidade-indústria-governo e do reconhecimento dos conhecimentos comunitários como parte do ecossistema de inovação.

**Palavras-chave:** biodigestores; tecnologias sociais; semiárido; inovação frugal; inovação social.

## Abstract

This study analyzes small-scale biodigesters as social technologies for the Brazilian semiarid region, highlighting their potential to promote energy autonomy, sustainability, and local development. The research, qualitative, exploratory, and descriptive in nature, was based on a review of academic literature, institutional documents, and academic and community experiences. The results show socio-environmental benefits such as the reduction of firewood and LPG use, mitigation of greenhouse gases, production of biofertilizers, and appreciation of traditional knowledge. Challenges remain, including the lack of specific public policies, credit, and technical assistance for large-scale dissemination. It is concluded that the consolidation of biodigesters depends on the integration of frugal and social innovation with social technologies, as well as on strengthening the university-industry-government triple helix and recognizing community knowledge as part of the innovation ecosystem.

**Keywords:** biodigesters; social technologies; semiarid region; frugal innovation; social innovation.

---

<sup>1</sup> Doutor em Biotecnologia, Sergipe Parque Tecnológico, São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0009-0005-1212-5171. E-mail: marcosfelipesobral@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Ciências dos Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-3982-3579. E-mail: rosipaixao@academico.ufs.br.

<sup>3</sup> Doutora em Química, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0001-9425-0921. E-mail: esmidori@gmail.com.

<sup>4</sup> Doutora em Biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-5951-9785. E-mail: isabellypereira@outlook.com.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil. ORCID: 0000-0002-9622-2518. E-mail: gabrieldasilva1961@gmail.com.

## Resumen

El estudio analiza los biodigestores de pequeño porte como tecnologías sociales para el semiárido del Nordeste, destacando su potencial en la promoción de la autonomía energética, la sostenibilidad y el desarrollo local. La investigación, de carácter cualitativo, exploratorio y descriptivo, se basó en una revisión de la literatura, documentos institucionales y experiencias académicas y comunitarias. Los resultados evidencian beneficios socioambientales, como la reducción del uso de leña y GLP, la mitigación de gases de efecto invernadero, la generación de biofertilizantes y la valorización de saberes tradicionales. También se observan desafíos, como la falta de políticas públicas específicas, crédito y asistencia técnica para su difusión a gran escala. Se concluye que la consolidación de los biodigestores depende de la integración entre innovación frugal, innovación social y tecnologías sociales, así como del fortalecimiento de la triple hélice universidad-industria-gobierno y del reconocimiento de los conocimientos comunitarios como parte del ecosistema de innovación.

**Palabras clave:** biodigestores; tecnologías sociales; semiárido; innovación frugal; innovación social.

## 1 Introdução

O semiárido nordestino brasileiro, Figura 1, caracteriza-se por forte escassez hídrica, limitações estruturais e profundas desigualdades socioeconômicas, fatores que impõem desafios à segurança alimentar, ao acesso à energia e à sustentabilidade produtiva das comunidades rurais (Quadros *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2019; Praciano, 2021). Tais restrições ambientais e históricas dificultam a autonomia produtiva regional, tornando indispensável a adoção de soluções tecnológicas sustentáveis, de baixo custo e adaptadas à realidade local, capazes de fortalecer a resiliência territorial e promover o desenvolvimento socioeconômico em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

**Figura 1:** Semiárido brasileiro



**Fonte:** ASA - Articulação Semiárido Brasileiro (2025)

Entre essas soluções, destaca-se o uso do biogás, obtido pela biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos, como esterco animal, restos vegetais e efluentes domésticos, que pode substituir combustíveis fósseis, gerar biofertilizantes e reduzir a pressão sobre os recursos naturais (Neves, 2023; Silva, 2024). Os biodigestores de pequeno porte, Figura 2, nesse contexto, apresentam múltiplos benefícios: ampliam a autonomia energética, reduzem impactos ambientais, mitigam emissões de gases de efeito estufa e fortalecem a agricultura familiar, articulando ciência, tradição e inovação (Dagnino, 2004; Radjou; Prabhu, 2015; Quadros *et al.*, 2015; Abramovay, 2020).

**Figura 2:** Biodigestor de Tecnologia Social



**Fonte:** Rodrigo (2025)

No Brasil, a adoção de biodigestores insere-se no campo das tecnologias sociais, entendidas como soluções de baixo custo, impacto coletivo e potencial de reaplicação em diferentes contextos (Fundação Banco do Brasil, 2019). Essas tecnologias contribuem para a justiça socioambiental, promovem a autonomia das comunidades e fortalecem a economia do conhecimento da natureza, em que os recursos locais e saberes tradicionais se convertem em estratégias de inovação e sustentabilidade (Abramovay, 2020; Oliveira, 2020).

Esse debate ganha relevância diante da agenda global de sustentabilidade, especialmente dos ODS definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). A difusão de biodigestores contribui diretamente para o ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), ODS 7 (energia limpa e acessível), ODS 9 (inovação e infraestrutura) e ODS 12 (consumo e produção responsáveis), além de dialogar com políticas públicas nacionais voltadas às energias renováveis e ao desenvolvimento rural, como o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) e o RenovaBio.

A literatura evidencia, ainda, que a efetividade dos biodigestores como tecnologias sociais depende da articulação entre ciência, Estado e sociedade civil, fortalecendo um modelo de inovação aberta e inclusiva, que valorize tanto os conhecimentos acadêmicos quanto os comunitários (Dagnino, 2004). Essa perspectiva permite compreender os biodigestores como ferramentas de inovação social e frugal, capazes de reduzir desigualdades, promover eficiência energética e melhorar a qualidade de vida em territórios vulneráveis (Murray; Caulier-Grice; Mulgan, 2010).

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo analisar o papel dos biodigestores de pequeno porte como tecnologias sociais no semiárido nordestino, identificando seus benefícios socioambientais, entraves institucionais e oportunidades de difusão. Busca-se, ainda, discutir a interface entre inovação tecnológica, propriedade intelectual e saberes comunitários, ressaltando como práticas de inovação social podem contribuir para políticas públicas mais inclusivas e para a valorização do conhecimento local.

## **2 Metodologia**

A pesquisa desenvolvida caracteriza-se como qualitativa, exploratória e descritiva, buscando compreender o papel dos biodigestores de pequeno porte como tecnologias sociais no semiárido nordestino. Esse enfoque permite uma interpretação crítica dos contextos sociais e ambientais, ressaltando a interação entre ciência, comunidades locais e políticas públicas (Barros, 2021; Praciano, 2021). O estudo fundamentou-se exclusivamente em fontes secundárias, incluindo:

- artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais indexados em bases como SciELO, CAPES Periódicos e Google Scholar;
- teses e dissertações disponíveis em repositórios digitais de universidades federais e estaduais;
- relatórios técnicos e documentos institucionais elaborados por órgãos governamentais e de cooperação internacional, a exemplo do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA);
- legislações e normativas relacionadas a políticas públicas de energias renováveis e tecnologias sociais, em âmbito federal e estadual.

A coleta de dados contemplou o período de 2000 a 2025, refletindo a evolução recente das políticas de bioenergia e inovação social no Brasil. Os critérios de inclusão priorizaram documentos que:

- i. abordassem diretamente biodigestores no semiárido;
- ii. discutissem inovação social, tecnologias sociais ou inovação frugal; e
- iii. tratassem de aspectos jurídicos vinculados à propriedade intelectual e saberes comunitários.

Foram excluídos materiais incompletos, duplicados ou sem relação direta com os objetivos do estudo. O processo analítico foi estruturado em quatro eixos temáticos, definidos a partir do referencial teórico:

- i. tecnologias sociais e biodigestores – experiências e projetos de extensão em comunidades rurais;
- ii. inovação frugal e adaptação tecnológica – soluções de baixo custo desenvolvidas a partir de materiais locais;
- iii. articulação interinstitucional (tríplice hélice) – papel de universidades, governo e setor produtivo na difusão da tecnologia;
- iv. propriedade intelectual e saberes comunitários – tensões entre mecanismos formais de proteção e práticas de inovação aberta.

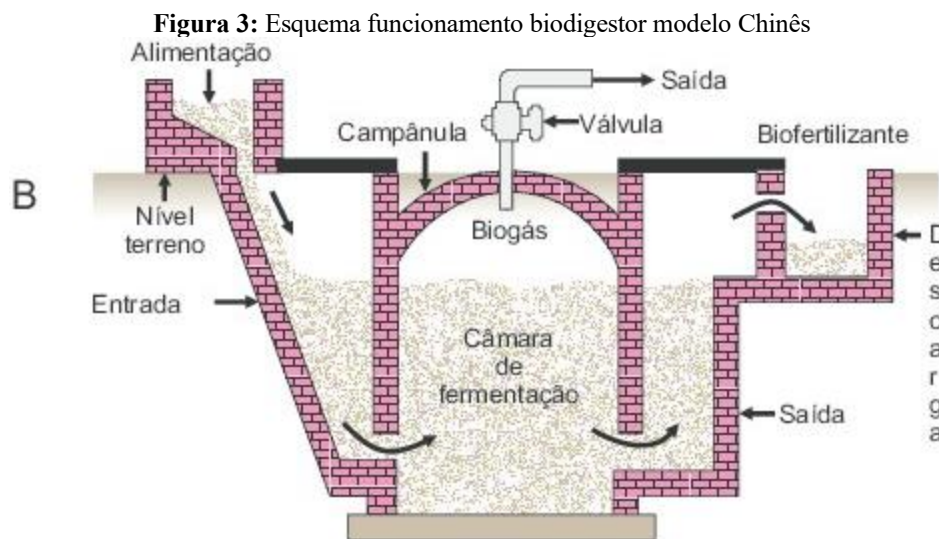
A análise seguiu a técnica de análise de conteúdo, com identificação de padrões, contradições e lacunas nas fontes, além da comparação entre experiências relatadas em diferentes territórios (Bardin, 2011). Essa abordagem possibilitou identificar entraves institucionais e oportunidades de difusão da tecnologia.

Embora o trabalho tenha ênfase qualitativa, reconhece-se a importância de incorporar abordagens quantitativas em pesquisas futuras. Entre elas, destacam-se: (i) sistematização do número de projetos de biodigestores implementados por região; (ii) estimativas de redução de custos domésticos e emissões de gases de efeito estufa; (iii) mensuração dos impactos sociais, incluindo saúde pública e relações de gênero. Essa triangulação metodológica poderá ampliar a robustez dos resultados e fornecer subsídios mais consistentes para políticas públicas e estratégias de inovação social no semiárido.

### 3 Fundamentação teórica

Os biodigestores no semiárido nordestino configuram-se como tecnologias sociais, entendidas como soluções inovadoras desenvolvidas de forma participativa, adaptadas às condições locais e voltadas para a resolução de problemas sociais de maneira sustentável (Dagnino, 2004). Segundo a Fundação Banco do Brasil (2019), tais tecnologias são caracterizadas por sua simplicidade, baixo custo, impacto coletivo e possibilidade de replicação, atributos que se ajustam diretamente à realidade das comunidades rurais. Nesse sentido, os biodigestores transcendem sua função técnica, constituindo práticas de inovação social com forte potencial de transformação territorial.

Do ponto de vista técnico, o funcionamento baseia-se na digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, como esterco animal, restos vegetais e efluentes domésticos, resultando na produção de biogás e biofertilizantes, conforme Figura 3. Quando implementados em comunidades rurais, oferecem múltiplos benefícios: reduzem a dependência de combustíveis fósseis, promovem ganhos sanitários e econômicos, diminuem custos produtivos, fortalecem a agricultura familiar e contribuem para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Quadros *et al.*, 2015; Praciano, 2021; Neves, 2023; Silva, 2024).



Fonte: Cassini *et al* (2014)

#### 3.1 Inovação frugal e inovação social

O debate sobre biodigestores no semiárido brasileiro também se relaciona ao conceito de inovação frugal, que designa soluções simples, funcionais e acessíveis, desenvolvidas em contextos de escassez (Radjou; Prabhu, 2015). No sertão nordestino, isso se traduz em modelos construídos a partir de lona plástica, pneus reaproveitados ou tambores reciclados, que

exemplificam a adaptação tecnológica ao contexto local (Ventura *et al.*, 2013; Carvalho, 2019; Calgaro Neto; Oliveira, 2022). Essa prática combina saberes técnicos e tradicionais, fortalecendo a apropriação comunitária do conhecimento e reforçando a convivência com a seca (Duarte; Muñoz Rojas; Rivera, 2023).

A literatura internacional sobre biodigestores demonstra que a difusão dessa tecnologia em países em desenvolvimento, como Índia e Quênia, foi determinante para ampliar o acesso à energia em áreas rurais, reduzir a dependência de lenha e melhorar indicadores de saúde pública (Ventura *et al.*, 2013; Radjou; Prabhu, 2015). Na América Latina, experiências em países como Colômbia e México mostram que a implantação de biodigestores de baixo custo está fortemente vinculada a programas de agricultura sustentável e redução de emissões de gases de efeito estufa (Carvalho, 2019; Duarte; Muñoz Rojas; Rivera, 2023). Essas comparações reforçam que o semiárido nordestino possui condições similares para a replicação e adaptação dessas práticas.

Do ponto de vista jurídico, observa-se que os saberes comunitários e tradicionais relacionados à agricultura e ao manejo de resíduos encontram pouca proteção nos instrumentos convencionais de propriedade intelectual. No Brasil, embora a Lei n.º 9.610/1998 regule os direitos autorais e a Lei n.º 13.123/2015 disponha sobre acesso ao patrimônio genético e conhecimento tradicional associado, ainda existem lacunas na valorização e reconhecimento das comunidades como protagonistas do processo de inovação (Santos, 2009; Apolinário, 2024).

Nesse contexto, a utilização de licenças abertas (como *Creative Commons*) e o fortalecimento de práticas de inovação aberta tornam-se fundamentais para garantir que metodologias e manuais de biodigestores possam ser livremente disseminados, ampliando sua apropriação comunitária e assegurando justiça cognitiva (Murray; Caulier-Grice; Mulgan, 2010). Assim, os biodigestores se consolidam como um exemplo emblemático da intersecção entre inovação frugal, inovação social e tecnologias sociais no semiárido.

Já a inovação social refere-se à implementação de novas práticas que melhoram a qualidade de vida e enfrentam desigualdades (Murray; Caulier-Grice; Mulgan, 2010). No caso dos biodigestores, manifesta-se em diferentes dimensões: (i) geração de energia limpa que reduz custos domésticos e doenças respiratórias associadas ao uso de lenha e GLP; (ii) valorização de resíduos locais, que se convertem em biofertilizantes, ampliando a produtividade agrícola; (iii) impacto positivo nas relações de gênero, ao diminuir a carga de trabalho das mulheres na coleta de lenha e ampliar seu protagonismo na gestão da energia e da produção.

### 3.2 Tríplice hélice e políticas públicas

A difusão dos biodigestores depende da articulação de múltiplos atores, conforme o modelo da tríplice hélice, Figura 4, que enfatiza a interação entre universidades, setor produtivo e governo como motor de inovação (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000). No semiárido nordestino, universidades e institutos federais têm papel central: a Universidade Federal do Ceará (UFC), a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) e o Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) conduzem projetos de pesquisa, extensão e formação técnica voltados à adaptação da tecnologia (Souza, 2020; Praciano, 2021; Neves, 2023). Em paralelo, iniciativas de cooperação internacional, como o Projeto Mais Viver Semiárido, coordenado pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), demonstram a importância das redes interinstitucionais na ampliação da inovação social (Praciano, 2021).

**Figura 3:** Biodigestor de Tecnologia Social



**Fonte:** ConectaPI (2025).

Apesar desses avanços, observa-se que as políticas públicas brasileiras ainda carecem de maior especificidade para contemplar tecnologias sociais de pequeno porte. Programas como o RenovaBio e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) incentivam a bioenergia, mas não estabelecem instrumentos de apoio específicos para biodigestores. A ausência de linhas de crédito, assistência técnica estruturada e incentivos fiscais limita a escalabilidade da tecnologia, restringindo-a a experiências pontuais. Nesse cenário, torna-se fundamental alinhar políticas de desenvolvimento rural, meio ambiente e ciência e tecnologia à promoção de soluções inovadoras adaptadas ao semiárido.

### 3.3 Propriedade intelectual, saberes comunitários e inovação aberta

No campo jurídico, evidencia-se uma tensão entre a lógica colaborativa das tecnologias sociais e os instrumentos tradicionais de propriedade intelectual. Embora patentes, modelos de utilidade e registros de desenho industrial possam proteger inovações incrementais derivadas da adaptação de biodigestores (Cristofoli *et al.*, 2018; Apolinário, 2024), os saberes comunitários permanecem à margem dos sistemas formais, pois são coletivos, transmitidos oralmente e de difícil enquadramento nos requisitos de novidade e originalidade (Santos, 2009).

Nesse sentido, o uso de estratégias de inovação aberta, como licenças Creative Commons, constitui alternativa relevante para difusão de manuais, metodologias e projetos de biodigestores, assegurando tanto a disseminação do conhecimento quanto o reconhecimento dos criadores locais. A discussão sobre justiça cognitiva reforça essa necessidade, ao reivindicar que os saberes tradicionais e comunitários sejam valorizados no mesmo patamar que os conhecimentos científicos.

## 4 Resultados e discussão

A análise das fontes documentais e acadêmicas revelou um conjunto significativo de experiências com biodigestores de pequeno porte no semiárido nordestino, envolvendo universidades, institutos federais, organizações da sociedade civil e programas de cooperação internacional. Tais experiências demonstram a viabilidade da tecnologia em diferentes contextos, mas também evidenciam que sua difusão ainda depende de maior apoio institucional e de políticas públicas estruturadas.

**Adaptação tecnológica e inovação frugal:** universidades como a Universidade Federal do Ceará (UFC), a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) e o Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) vêm desenvolvendo protótipos acessíveis, baseados no reaproveitamento de materiais e mão de obra local, o que reduz custos e amplia a replicabilidade (Souza, 2020; Praciano, 2021; Neves, 2023). Modelos clássicos, como o indiano de câmara fixa e o tipo balão, foram adaptados para o uso de lona plástica, pneus reutilizados e tambores reciclados, exemplificando a prática da inovação frugal (Prabhu, 2014; Quadros *et al.*, 2015; Radjou; Prabhu, 2015; Carvalho, 2019). Esse processo fortalece a apropriação comunitária do conhecimento, aumenta a viabilidade econômica e reforça a lógica de convivência com a seca.

**Benefícios socioambientais:** as experiências identificadas apontam ganhos expressivos no campo social e ambiental. A substituição da lenha e do gás liquefeito de petróleo (GLP)

reduz custos domésticos, melhora a qualidade do ar e contribui para a diminuição de doenças respiratórias, sobretudo entre mulheres e crianças (Abramovay, 2020; Quadros *et al.*, 2015). O uso do biofertilizante na agricultura familiar aumenta a produtividade agrícola, fortalece a segurança alimentar e reduz a dependência de insumos químicos. Do ponto de vista climático, os biodigestores contribuem para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Esses benefícios se articulam diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2, 7, 9 e 12, reforçando a sustentabilidade territorial.

Em termos comparativos, observa-se que países como Índia e Quênia implementaram políticas nacionais de incentivo aos biodigestores, incluindo subsídios financeiros, assistência técnica e campanhas de capacitação em larga escala, o que permitiu a difusão da tecnologia a milhões de famílias (Radjou; Prabhu, 2015). A ausência de estratégias semelhantes no Brasil explica, em parte, a limitação atual da difusão no semiárido, restrita a projetos de extensão e iniciativas isoladas.

**Entraves e limitações:** Apesar dos resultados positivos, a escalabilidade das iniciativas permanece limitada por fatores institucionais e estruturais. Entre os principais entraves estão: (i) ausência de assistência técnica continuada; (ii) inexistência de linhas de crédito ou subsídios específicos para biodigestores de pequeno porte; (iii) baixa integração das tecnologias sociais nas políticas nacionais de bioenergia (Silva *et al.*, 2019; Oliveira, 2020). Esses elementos restringem a difusão da tecnologia a projetos pontuais ou experiências isoladas, dificultando sua consolidação em escala regional.

**Políticas públicas e governança:** Embora programas como o RenovaBio e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) representem avanços no incentivo à bioenergia, observa-se que ainda não contemplam de maneira específica as tecnologias sociais em pequena escala. Iniciativas estaduais e municipais oferecem subsídios pontuais, mas não há uma política nacional consolidada para biodigestores comunitários. Isso reforça a necessidade de um arcabouço regulatório e de instrumentos de financiamento direcionados, capazes de apoiar a implementação em larga escala, com base em subsídios, capacitação técnica e governança compartilhada.

**Inovação social, propriedade intelectual e justiça cognitiva:** A inovação social promovida pelos biodigestores ultrapassa a esfera técnica, gerando impactos diretos na qualidade de vida das comunidades rurais. Além da redução de custos energéticos e do aumento da produtividade agrícola, destaca-se a ampliação da participação das mulheres em processos produtivos, uma vez que o uso da tecnologia diminui a necessidade de coleta de lenha e libera tempo para atividades econômicas ou educacionais (Gomes; Rufino, 2025).

No campo jurídico, persiste o desafio de conciliar a natureza coletiva dos saberes comunitários com os instrumentos formais de propriedade intelectual. Patentes e registros de modelos de utilidade pouco se ajustam às práticas locais, enquanto estratégias de inovação aberta, como o uso de licenças Creative Commons, surgem como alternativas para a disseminação de manuais, projetos e metodologias (Santos, 2009; Apolinário, 2024). Essa perspectiva fortalece a justiça cognitiva, ao reconhecer e valorizar as inovações que emergem dos próprios territórios.

#### 4.1 Síntese dos resultados

Os achados desta pesquisa permitem destacar cinco pontos centrais:

- i. adaptação tecnológica: uso de materiais locais e práticas de inovação frugal aumentam a replicabilidade da tecnologia.
- ii. benefícios socioambientais: redução de custos energéticos, mitigação de doenças respiratórias, aumento da produtividade agrícola e contribuição para a redução de emissões.
- iii. entraves institucionais: ausência de assistência técnica, financiamento específico e integração com políticas de bioenergia limitam a escalabilidade.
- iv. políticas públicas: necessidade de regulamentações claras e apoio governamental direcionado a tecnologias sociais de pequeno porte.
- v. inovação social e justiça cognitiva: fortalecimento das comunidades, protagonismo feminino e reconhecimento de saberes locais como parte legítima do processo de inovação.

Em conjunto, os resultados confirmam que os biodigestores no semiárido nordestino configuram-se como uma tecnologia social de alto potencial transformador, conforme Tabela 1, mas que depende de maior institucionalização, políticas públicas específicas e mecanismos de inovação aberta para garantir sua difusão e sustentabilidade em longo prazo.

**Tabela 1:** Título da tabela

Instituição/Projeto	Tipo de ação	Benefícios principais	Desafios identificados	Referências
UFC (Extensão Agroecologia)	Extensão universitária	Protótipos de baixo custo; redução do uso de GLP	Falta de assistência técnica permanente	Praciano (2021)
UNILAB – Engenharia de Energias	TCC	Autonomia energética comunitária	Falta de financiamento para replicação	Silva (2024)
IFPE –	Projeto	Uso do biofertilizante na	Dificuldade de	Neves (2023);

<b>Instituição/Projeto</b>	<b>Tipo de ação</b>	<b>Benefícios principais</b>	<b>Desafios identificados</b>	<b>Referências</b>
<b>Agroecologia UTFPR</b>	comunitário Dissertação	agricultura Uso experimental em sistemas agropecuários	escalabilidade Baixa difusão em larga escala	Souza (2020) Neto; Oliveira (2022)
<b>IICA – Projeto Mais Viver Semiárido</b>	Cooperação internacional	Apoio técnico e fortalecimento institucional	Dependência de recursos externos	Praciano (2021)
<b>Iniciativas comunitárias RN</b>	Projetos locais	Redução de tempo de coleta de lenha (impacto em mulheres)	Sustentabilidade financeira limitada	Gomes; Rufino (2025)
<b>Índia/Quênia (comparação)</b>	Políticas públicas nacionais	Ampliação massiva do acesso à energia rural	Necessidade de forte apoio estatal	Radjou; Prabhu (2015); Ventura <i>et al.</i> (2013)

**Fonte:** Elaborada pelos autores (2025)

Os resultados indicam que a principal contribuição dos biodigestores no semiárido é a autonomia energética em comunidades rurais, reduzindo custos com gás de cozinha e tempo de coleta de lenha, tarefa geralmente atribuída às mulheres, o que revela um impacto positivo direto na dinâmica de gênero (Gomes; Rufino, 2025). Além disso, o biofertilizante resultante da digestão anaeróbica tem potencial de substituir insumos químicos, gerando economia para agricultores familiares e fortalecendo a agricultura sustentável (Neves, 2023).

A análise crítica demonstra que a consolidação dos biodigestores como tecnologia social exige políticas públicas específicas, capazes de articular financiamento, capacitação técnica e integração com programas nacionais de bioenergia, como o RenovaBio e o PNPB (Oliveira, 2020; Silva *et al.*, 2019). Sem esse alinhamento institucional, a sustentabilidade das experiências tende a depender de recursos externos e da atuação pontual de universidades e organizações da sociedade civil.

## 5 Conclusão

Os resultados deste estudo evidenciam que os biodigestores de pequeno porte, quando adaptados às condições do semiárido nordestino, configuram-se não apenas como equipamentos técnicos, mas como tecnologias sociais de transformação local. Seu potencial reside na articulação entre ciência e tradição, promovendo autonomia energética, redução de impactos ambientais, geração de biofertilizantes para a agricultura familiar e melhoria da qualidade de vida em comunidades rurais (Quadros *et al.*, 2015; Abramovay, 2020).

Do ponto de vista conceitual, os biodigestores materializam os princípios da inovação frugal, ao adaptar tecnologias de baixo custo a realidades de escassez (Radjou; Prabhu, 2015), e da inovação social, ao atender demandas comunitárias e estimular o protagonismo local (Murray; Caulier-Grice; Mulgan, 2010). Essa convergência entre ciência e saberes tradicionais reforça a

importância da justiça cognitiva (Santos, 2009), reconhecendo a diversidade de conhecimentos como elemento essencial para a construção de soluções em territórios vulneráveis.

Apesar do potencial transformador, a difusão dessa tecnologia encontra barreiras significativas: ausência de assistência técnica continuada, dificuldades de acesso a financiamento e falta de políticas públicas específicas voltadas ao biogás no contexto da agricultura familiar (Silva *et al.*, 2019; Oliveira, 2020). Embora programas nacionais como o RenovaBio e o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) representem avanços no setor de bioenergia, eles ainda não contemplam de forma clara as particularidades das tecnologias sociais em pequena escala. Isso reforça a necessidade de políticas públicas mais inclusivas e direcionadas, que integrem os biodigestores às estratégias de desenvolvimento rural sustentável.

Outro ponto relevante refere-se à interface com a propriedade intelectual. Grande parte das soluções desenvolvidas surge de práticas coletivas e não se enquadra nos regimes tradicionais de proteção, como patentes ou modelos de utilidade (Apolinário, 2024). Nesse contexto, o uso de licenças abertas, como as Creative Commons, constitui alternativa viável para ampliar a disseminação de projetos e metodologias, assegurando reconhecimento às comunidades e instituições envolvidas.

Em termos de governança, destaca-se a pertinência do modelo da tríplice hélice (universidade–indústria–governo) como estrutura para potencializar a inovação no semiárido (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000). Projetos acadêmicos e de extensão têm desempenhado papel fundamental na difusão dos biodigestores, mas ainda carecem de maior integração com políticas governamentais e parcerias produtivas que assegurem sua replicabilidade em longo prazo.

Para avançar, recomenda-se: (i) a inclusão dos biodigestores em programas nacionais e estaduais de incentivo à bioenergia e à agricultura sustentável; (ii) o fortalecimento da extensão universitária e das parcerias interinstitucionais; (iii) a criação de marcos legais que valorizem os saberes comunitários; e (iv) o estímulo a arranjos de inovação aberta, capazes de assegurar a difusão democrática da tecnologia.

Por fim, embora este estudo tenha adotado uma abordagem qualitativa, recomenda-se que pesquisas futuras incorporem análises quantitativas capazes de mensurar os impactos econômicos (redução de custos e geração de renda), sanitários (melhoria da saúde com a substituição da lenha e do GLP), sociais (dinâmica de gênero e protagonismo feminino) e ambientais (redução de emissões de gases de efeito estufa). A combinação dessas perspectivas poderá fortalecer o embasamento científico e oferecer subsídios consistentes para a formulação de políticas públicas voltadas à consolidação dos biodigestores como instrumentos estratégicos de sustentabilidade socioambiental e autonomia energética no semiárido brasileiro.

## Agradecimentos

Agradeço ao Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec) e a SEDETEC (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia de Sergipe) no apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências

ABRAMOVAY, R. **Amazônia: por uma economia do conhecimento da natureza**. São Paulo: Editora Elefante, 2020.

APOLINÁRIO, V. Inovação para o desenvolvimento produtivo e dos territórios do Nordeste: reflexões propositivas. **Revista Eletrônica Internacional de Economia Política da Informação da Comunicação e da Cultura**, São Cristóvão, v. 26, n. 3, p. 55–68, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54786/revistaeptic.v26i3.22126>. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/eptic/article/view/22126/16400>. Acesso em: 15 set. 2025.

ASA - ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Semiárido brasileiro**. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/semiariado/>. Acesso em: 15 set. 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.

BARROS, S. K. M. **Tecnologias sociais sustentáveis e convivência com o semiárido no município de Tabuleiro do Norte-Ceará**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2021. Disponível em: [https://www.uern.br/controladepaginas/ppgeo-dissertacoes/arquivos/3645dissertaa%C2%A7a%C2%A3o\\_silma%C2%A1ria.pdf](https://www.uern.br/controladepaginas/ppgeo-dissertacoes/arquivos/3645dissertaa%C2%A7a%C2%A3o_silma%C2%A1ria.pdf). Acesso em: 15 set. 2025.

CALGARO NETO, S.; OLIVEIRA, A. M. S. Inovação, tecnologia e gestão social: a experiência de implantação dos biodigestores sertanejos na Comunidade Tabuleiro, Monte Alegre de Sergipe, Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 49, p. 1–21, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/rts.v18n51.14756>. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/14756>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CARVALHO, E. S. **Tecnologia Social no contexto da Agricultura Familiar: análise da reaplicação no território Cantuquiriguaçu – Paraná**. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/4371>. Acesso em: 15 set. 2025.

CASSINI, S. T. *et al.* **Biogás–Biocombustíveis ANP. Biocombustíveis no Brasil - Fundamentos, Aplicações e Perspectivas**. Rio de Janeiro: Synergia Editora, v. 1, p. 136-167, 2014.

CONNECTAPI. Hélices Tríplice e Quádrupla. **CONNECTAPI**, s. d.. Disponível em: <https://conectapi.com.br/helices-triplice-e-quadrupla/>. Acesso em: 15 set. 2025.

CRISTOFOLI, J. B. *et al.* Aproveitamento energético de biogás em uma propriedade rural

com a implantação de biodigestor alternativo. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/1998>. Acesso em: 15 set. 2025.

DAGNINO, R. **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade**. 2. ed. rev. e ampl. Campinas, SP: Komedi, 2010.

DUARTE, L. *et al.* Theoretical positions and approaches on the territorial embeddedness of sustainable agri-food systems: a review. *In: Encontro Rural RePort*, 11., CONGRESSO DE HISTORIA AGRARIA – SEHA, 18, CONGRESSO INTERNACIONAL, 4., 6-7-8 setembro 2023, Universidade de Coimbra, Faculdade de Economia (Portugal). **Anais [...]**. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/37112>. Acesso em: 15 set. 2025.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. **Research Policy**, v. 29, n. 2, p. 109–123, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733399000554>. Acesso em: 03 mar. 2025.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Veja a lista das Tecnologias Sociais certificadas da 12ª Edição do Prêmio**. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/blog/veja-a-lista-das-tecnologias-sociais-certificadas-da-12a-edicao-do-premio>. Acesso em: 15 set. 2025.

GOMES, M. V.; RUFINO, S. A Tecnologia Social e suas contribuições para o desenvolvimento da resiliência climática no semiárido potiguar. **InterAção**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. e90273, 2025. DOI: 10.5902/2357797590273. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/interacao/article/view/90273>. Acesso em: 5 mar. 2026.

MURRAY, R. *et al.* **The open book of social innovation**. Londres: NESTA, 2010.

NEVES, J. R. N. **Avaliação do uso da tecnologia social biodigestor na agricultura de base**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/1196>. Acesso em: 16 set. 2025.

OLIVEIRA, J. A. **Interações entre políticas públicas para agricultura familiar e a realidade agrária e socioeconômica do Estado de São Paulo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/4c77f3a4-f95c-4052-8546-0e2d5cac5ee6>. Acesso em: 15 set. 2025.

PRACIANO, A. C. **Uso de biodigestor como proposta de tecnologia social de convivência com o semiárido**. 2021. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/61552>. Acesso em: 15 set. 2025.

QUADROS, D. G. *et al.* Análise econômica do biodigestor para aproveitamento dos dejetos da caprinocultura na agricultura familiar nordestina. **Energia na agricultura**, [S. l.], v. 30, n.

1, p. 01–10, 2015. DOI: 10.17224/EnergAgric.2015v30n1p01-10. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1014>. Acesso em: 5 mar. 2026.

RADJOU, N.; PRABHU, J. **Frugal Innovation: How to do more with less**. The Economist, 2015. Disponível em: <https://www.repository.cam.ac.uk/bitstreams/78a7a07d-a9ce-415a-bd40-2365006c8f81/download>. Acesso em: 15 set. 2025.

RODRIGO, R. No Semiárido, biodigestores produzem gás de cozinha e biofertilizantes a baixo custo. **Brasil de Fato**, 13 out. 2022. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2022/10/13/no-semiarido-biodigestores-produzem-gas-de-cozinha-e-biofertilizantes-a-baixo-custo/>. Acesso em: 15 set. 2025.

SANTOS, B. S. Para além do pensamento abissal: das linhas globais a uma ecologia de saberes. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 78, p. 3–46, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4000/rccs.753>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/rccs/753>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SILVA, G. F. *et al.* **Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2019.

SILVA, N. L. D. O. N. *et al.* O processo de implementação da tecnologia social Biodigestor Sertanejo em comunidades rurais do município de Lajes Pintadas/RN. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL (ENEDS)*, 2024. **Anais [...]**. Disponível em: <https://anais.eneds.org.br/index.php/eneds/article/download/903/660>. Acesso em: 16 set. 2025.

SOUZA, R. A. **Uso do biodigestor como tecnologia social para produção de gás de cozinha**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/267>. Acesso em: 15 set. 2025.

VENTURA, A. C. *et al.* Tecnologias sociais para enfrentamento às mudanças climáticas no semiárido: caracterização e contribuições. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 44, n. 4, p. 755–773, 2013. DOI: <https://doi.org/10.61673/ren.2013.29>. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/29>. Acesso em: 03 mar. 2025.

**Data de submissão:** 29/09/2025

**Data de aceite:** 10/02/2026