


# ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA ABORDAGEM NO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

## RENEWABLE ENERGY: AN APPROACH TO THE USE OF AGRICULTURAL WASTE IN BIOGAS PRODUCTION

Submissão:  
16/09/2025  
Aceite:  
28/11/2025

Jocélio dos Santos Araújo<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-2441-7340>

Rosane Cláudia Rodrigues<sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0001-8561-9678>

Alexandre Veras<sup>3</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-7668-9380>

Lucas Sousa Brito<sup>4</sup>  <https://orcid.org/0009-0001-1600-0502>

Lis Lanny Oliveira Pereira<sup>5</sup>  <https://orcid.org/0009-0008-3394-459X>

Ismael dos Santos Cabral<sup>6</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-0335-2127>

### Resumo

O projeto de extensão *Energia renováveis: uma abordagem no aproveitamento de resíduos agrícolas na produção de biogás* teve como objetivo difundir conhecimentos científicos e práticos sobre biodigestores, promovendo sua aplicação como alternativa sustentável no meio rural. As ações foram desenvolvidas por meio de metodologia extensionista, envolvendo estudantes do ensino médio, técnico, tecnológico e de graduação em minicursos, oficinas e ações formativas. Também foram realizadas exposições educativas, feiras de ciências e atividades lúdicas para ampliar o diálogo com escolas técnicas e agricultores familiares. Os experimentos práticos utilizaram esterco bovino e resíduos ruminais, possibilitando avaliar o potencial de produção de biogás e do digestato como biofertilizante. Como produto, elaborou-se uma cartilha didática destinada à difusão junto a agricultores. A extensão universitária desempenha papel estratégico na popularização da ciência, fortalecendo a sustentabilidade energética e a transformação social em comunidades rurais.

**Palavras-chave:** Biodigestor; Educação ambiental; Extensão universitária; Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Professor da Universidade Federal do Maranhão - UFMA [js.araujo@ufma.br](mailto:js.araujo@ufma.br)

<sup>2</sup> Professora da Universidade Federal do Maranhão - UFMA [rosane.rodrigues@ufma.br](mailto:rosane.rodrigues@ufma.br)

<sup>3</sup> Acadêmico de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão - UFMA [alexandre.veras@discente.ufma.br](mailto:alexandre.veras@discente.ufma.br)

<sup>4</sup> Acadêmico de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão - UFMA [ls.brito@discente.ufma.br](mailto:ls.brito@discente.ufma.br)

<sup>5</sup> Acadêmica de Agronomia da Universidade Federal do Maranhão - UFMA [lislannioliveira@gmail.com](mailto:lislannioliveira@gmail.com)

<sup>6</sup> Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA [ismaelcabral0206@gmail.com](mailto:ismaelcabral0206@gmail.com)

## Abstract

The extension project *Renewable Energy: An Approach to the Use of Agricultural Waste in Biogas Production* aimed to disseminate scientific and practical knowledge about biodigesters, promoting their application as a sustainable alternative in rural areas. The activities were carried out through an extension methodology, involving high school, technical, technological, and undergraduate students in short courses, workshops, and training activities. Educational exhibitions, science fairs, and interactive activities were also organized to strengthen dialogue with technical schools and family farmers. Practical experiments used beef cattle manure and ruminal residues, allowing the evaluation of biogas potential and digestate as a biofertilizer. As an educational product, a didactic booklet was prepared for dissemination among farmers. University extension plays a strategic role in the popularization of science, reinforcing the energy sustainability and social transformation in rural communities.

**Keywords:** Biodigester; Environmental education; University extension; Sustainability.

## Introdução

Nos últimos anos, a busca por soluções sustentáveis para atender às crescentes demandas energéticas da sociedade tem se intensificado, sobretudo em virtude da necessidade de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e da degradação ambiental (IEA, 2021). Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos agrícolas por meio da digestão anaeróbia e da consequente produção de biogás se apresenta como alternativa viável e estratégica para promover a transição energética em áreas rurais, agregando valor a resíduos antes considerados problemáticos e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (Holm-Nielsen *et al.*, 2009; Angelidaki *et al.*, 2019).

O Brasil, em razão de sua expressiva atividade agropecuária, apresenta elevado potencial para o aproveitamento dos resíduos agrícolas e pecuários na produção de biogás, configurando-se como uma importante fonte alternativa de energia renovável. Esse biocombustível pode ser utilizado de três formas principais: na geração de energia térmica, na produção de energia elétrica e na purificação para obtenção de biometano, combustível com características semelhantes ao biogás natural (Milanez *et al.*, 2021).

Estudos demonstram que a utilização de biodigestores em propriedades rurais contribui não apenas para a produção de energia renovável, mas também para a geração de biofertilizantes de alta qualidade, promovendo a economia circular e a sustentabilidade nos sistemas produtivos, além dos benefícios econômicos advindos da implantação de sistemas de biodigestores são significativos, uma vez que permitem a redução dos custos com a compra de energia e promovem o aproveitamento de recursos naturais para a geração de energia sustentável. Essa alternativa baseia-se em tecnologias renováveis e de baixo impacto ambiental, contribuindo para a transição para uma matriz energética mais limpa e eficiente (Barbosa; Langer, 2011; Souza, 2023).

Para que as tecnologias sustentáveis alcancem de forma mais efetiva as pessoas do campo, a extensão universitária desempenha papel estratégico ao atuar como elo entre a ciência e a sociedade. Por meio dela, a universidade amplia sua presença na vida comunitária e contribui para a construção de soluções concretas diante dos desafios locais. Ao se confrontar com realidades diversas, a extensão revela oportunidades de intervenção e aprendizado mútuo, consolidando-se como prática educativa voltada à transformação social em diálogo com o ensino e a pesquisa (Sugahara, 2012).

Nesse sentido, a extensão universitária configura-se como uma dimensão essencial da universidade contemporânea, ao integrar ciência, tecnologia e sociedade em um processo contínuo de troca e construção compartilhada de saberes. Mais do que difundir conhecimentos técnicos, ela promove a coprodução de saberes e o desenvolvimento de soluções contextualizadas, fortalecendo o compromisso social das instituições de ensino superior com o desenvolvimento sustentável e humano. Em vez de se restringir à simples transmissão de resultados científicos, a extensão assume caráter interativo e colaborativo, envolvendo diferentes atores sociais na busca por respostas a problemas concretos.

Essa interação transforma o ambiente acadêmico em espaço de experimentação social e de inovação tecnológica, onde o conhecimento deixa de ser apenas teórico para se tornar prática transformadora. Como destacam Dantas e Guenther (2021), a extensão universitária é uma via de transformação social e de democratização do conhecimento, pois promove o diálogo entre saberes e a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão como eixo estruturante de uma universidade comprometida com o desenvolvimento sustentável.

O projeto de extensão “Energias Renováveis: uma abordagem no aproveitamento de resíduos agrícolas na produção de biogás”, desenvolvido na Universidade Federal do Maranhão, materializa a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão ao integrar ações formativas – como minicursos, oficinas e a construção de protótipos — à produção de materiais educativos e científicos. Essa integração promove a articulação entre conhecimento teórico e prática social, transformando a experiência acadêmica em um processo participativo de inovação e aprendizagem coletiva.

A relevância do projeto manifesta-se em três dimensões complementares: (i) ambiental, ao propor alternativas sustentáveis para o manejo de resíduos e a mitigação de impactos ambientais; (ii) social, ao capacitar estudantes e agricultores familiares como multiplicadores de práticas sustentáveis; e (iii) científica, ao fortalecer a popularização da ciência e reafirmar o papel social da universidade no desenvolvimento regional sustentável.

Diante desse cenário, o presente trabalho objetivou relatar e analisar as ações do projeto de extensão ‘Energias Renováveis: uma abordagem no aproveitamento de resíduos agrícolas na produção de biogás’, evidenciando suas contribuições para a difusão de tecnologias sustentáveis, a valorização dos resíduos agropecuários e a formação cidadã voltada à sustentabilidade energética no meio rural.

## Metodologia

O projeto foi desenvolvido pelos integrantes do Grupo de Estudos em Tecnologias Sustentáveis e Agroenergia (GETSA), vinculado ao Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). As atividades envolveram estudantes dos cursos técnicos e tecnológicos em Redes de Computadores, além de alunos do Ensino Médio Regular e dos cursos de graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola. Esses discentes participaram ativamente das ações extensionistas, assumindo não apenas o papel de aprendizes, mas também de agentes multiplicadores

do conhecimento adquirido, contribuindo para a difusão de práticas sustentáveis e para a integração entre teoria e prática no processo formativo.

As atividades foram conduzidas a partir de uma metodologia extensionista participativa, estruturada com base nos princípios de aprendizagem colaborativa e interdisciplinaridade, buscando difundir, conscientizar e promover o uso de biodigestores como alternativa sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos e a geração de biogás – uma fonte de energia renovável e de baixo impacto ambiental. Nesse processo, as ações formativas, oficinas e minicursos funcionaram como espaços de aprendizagem ativa, estimulando a reflexão crítica e preparando os participantes para replicar os conhecimentos adquiridos em diferentes contextos, tanto em comunidades rurais quanto em ambientes acadêmicos, integrando ciência, tecnologia e meio ambiente.

O período de execução do projeto estendeu-se de junho de 2023 a maio de 2025, contemplando duas etapas acadêmicas consecutivas e possibilitando a consolidação das ações de ensino, pesquisa e extensão de forma contínua. Logo no início, foi realizado um encontro de integração social entre os novos discentes vinculados ao GETSA, docentes, técnicos e demais agentes institucionais e comunitários participantes. Essa atividade inicial teve caráter estratégico, pois visou não apenas apresentar os objetivos gerais do projeto e alinhar expectativas, mas também fortalecer o sentimento de pertencimento e cooperação entre os participantes, criando uma base sólida para o trabalho colaborativo.

Durante o encontro, foi conduzido um diagnóstico participativo, etapa essencial para compreender o perfil do público envolvido e levantar informações sobre suas experiências prévias, percepções e conhecimentos acerca de biodigestores e produção de biogás. Essa fase foi desenvolvida por meio de rodas de conversa, aplicação de questionários e dinâmicas de grupo, favorecendo a expressão coletiva e valorizando o saber empírico dos participantes. A partir desse diagnóstico, tornou-se possível adequar a metodologia às necessidades formativas identificadas, garantindo maior efetividade às etapas seguintes do projeto.

Na sequência, foram promovidas atividades de sensibilização e orientação, em consonância com Kretzer *et al.* (2015), abordando temas como fontes de energia renováveis e não renováveis, benefícios ambientais do tratamento de resíduos orgânicos, consequências do manejo inadequado e alternativas sustentáveis disponíveis. Essas atividades enfatizaram a construção e o uso de biodigestores como solução prática e acessível, reforçando o caráter educativo e transformador da extensão universitária.

Como etapa prática central do projeto, foi realizada uma oficina de construção de biodigestores anaeróbicos, conduzida e supervisionada pelos membros do GETSA. Essa ação articulou os conteúdos teóricos previamente discutidos nas formações com a prática experimental, permitindo aos participantes vivenciar de forma concreta o processo de montagem, vedação e operação da tecnologia. Tal experiência contribuiu para o desenvolvimento de competências técnicas e o fortalecimento da autonomia dos discentes em relação às práticas de sustentabilidade energética.

Outra ação relevante foi a implementação de uma Unidade de Teste e Demonstração (UTD), inspirada na metodologia das Farmer Field Schools (FFS) desenvolvida pela FAO (1994). Esse espaço de aprendizagem prática e colaborativa reuniu todos os agentes do projeto em um ambiente de troca de experiências e resultados. Durante a UTD, foram apresentados os trabalhos realizados pelos discentes, incluindo demonstrações sobre o aproveitamento de resíduos sólidos na produção de energia e a observação dos processos de fermentação anaeróbia. Essa estratégia pedagógica promoveu a reflexão coletiva, o intercâmbio de saberes e a identificação de boas práticas que subsidiaram a melhoria contínua das ações extensionistas.

As atividades do projeto foram organizadas em eixos complementares, que se articularam de forma integrada e progressiva: (i) formação e multiplicação de capacidades; (ii) realização de minicursos, oficinas de montagem e experimentos aplicados; (iii) monitoramento e prototipagem com suporte digital; (iv) desenvolvimento de produtos educativos e estratégias de difusão; (v) análise dos aspectos culturais e o papel crítico da extensão universitária; e (vi) proposição de novos caminhos, identificação de limitações e apresentação de soluções decorrentes do projeto. Esses eixos permitiram um fluxo contínuo de aprendizado e retroalimentação entre teoria e prática, fortalecendo a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

No eixo dedicado aos produtos educativos e às estratégias de difusão, elaborou-se uma cartilha didática em plataforma de edição gráfica simplificada, com apoio do CorelDRAW® para ajustes visuais e diagramação. O material sistematiza, de forma clara e acessível, os principais conteúdos desenvolvidos no projeto, constituindo recurso de apoio às atividades formativas e às ações de multiplicação junto às comunidades atendidas.

Para a sistematização e análise dos resultados, adotou-se uma abordagem qualitativa, descritiva e participativa, com ênfase na observação direta, nos registros fotográficos e na análise de conteúdo dos depoimentos e avaliações realizadas pelos participantes. Os dados coletados durante as oficinas, minicursos, experimentos e atividades da UTD foram organizados em categorias analíticas, como aprendizagem técnica, impacto socioambiental, engajamento extensionista e replicabilidade das ações.

Essas informações foram tratadas à luz do referencial teórico sobre extensão universitária, tecnologias sociais e sustentabilidade, permitindo avaliar criticamente os resultados e impactos do projeto. A análise qualitativa buscou compreender não apenas os produtos obtidos (protótipos, cartilha, oficinas), mas também os processos formativos e sociais gerados, valorizando o aprendizado coletivo e a transformação das práticas locais.

Dessa forma, a metodologia adotada assegurou a integração entre ensino, pesquisa e extensão, fortalecendo o caráter formativo, científico e social do projeto. Ao articular teoria e prática, o projeto promoveu a formação cidadã, a responsabilidade socioambiental e a produção compartilhada de conhecimento, consolidando-se como uma experiência de extensão universitária capaz de gerar inovação e impacto sustentável nas comunidades rurais.

## Resultados e Discussão

Os resultados do projeto foram organizados em eixos complementares, articulados de maneira integrada para assegurar o cumprimento dos objetivos estabelecidos. O princípio norteador de todas as ações consistiu na difusão de tecnologias socioambientais, direcionada tanto à comunidade acadêmica da universidade quanto às escolas técnicas parceiras. Essa estratégia buscou fomentar a apropriação e a adoção sustentável de biodigestores em contextos rurais, destacando sua dupla função: a produção de energia renovável e o manejo adequado de resíduos agropecuários.

Ao longo do processo, a metodologia extensionista adotada garantiu que cada ação fosse compreendida não apenas como transmissão de conhecimento, mas como um exercício de construção coletiva e prática educativa transformadora. A seguir, apresentam-se os principais achados de cada eixo de atuação e discute-se sua relevância estratégica para o fortalecimento da extensão universitária como ponte entre ciência e sociedade.

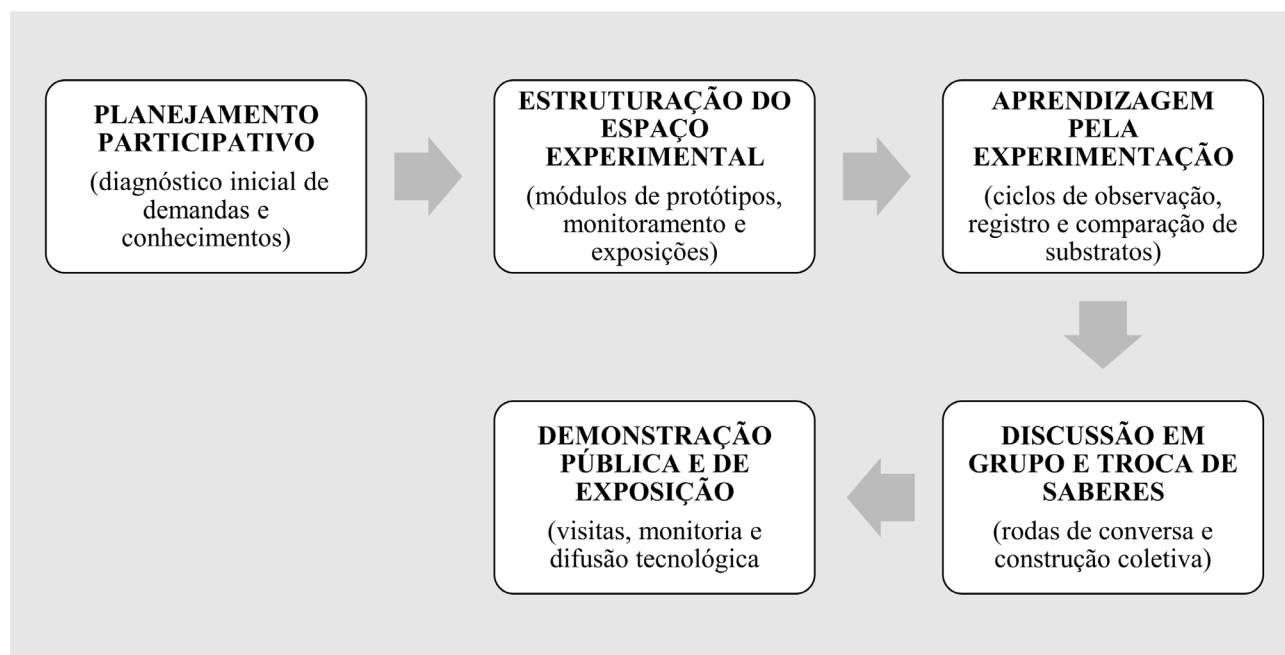
## Formação e multiplicação de capacidades

Inicialmente, foram desenvolvidas ações formativas com os discentes integrantes do GETSA, com o objetivo de promover o nivelamento conceitual sobre fontes de energia renováveis, fundamentos da digestão anaeróbia e princípios de funcionamento de biodigestores. Essas atividades constituíram a etapa preparatória das oficinas e minicursos subsequentes, favorecendo a consolidação de uma base teórica comum e assegurando maior autonomia técnica e segurança na execução das práticas extensionistas. Esse processo inicial foi fundamental para alinhar expectativas, organizar o fluxo metodológico e garantir que todos os participantes compreendessem os aspectos essenciais da tecnologia trabalhada.

Essas atividades constituíram a fase preparatória das oficinas e minicursos subsequentes, favorecendo a consolidação de uma base teórica comum e assegurando maior autonomia técnica e segurança na execução das práticas extensionistas. Ao internalizar noções essenciais – como etapas da digestão anaeróbia, papel dos microrganismos, parâmetros de operação, cuidados de vedação e manejo de resíduos – os discentes estavam mais aptos a participar das atividades práticas com maior clareza conceitual e capacidade de tomada de decisão. Além disso, o processo inicial foi fundamental para alinhar expectativas, organizar o fluxo metodológico e garantir a participação ativa e informada dos envolvidos, reduzindo dúvidas recorrentes e fortalecendo a fluidez do trabalho colaborativo.

A filosofia da “mão na massa” mostrou-se decisiva nesse processo, pois possibilitou aos estudantes e agricultores internalizar aspectos operacionais – como alimentação do reator, vedação, agitação, descarte de sólidos e manejo do efluente – superando, assim, uma das principais barreiras à adoção de inovações no meio rural: a lacuna entre o conhecimento teórico e sua efetiva operacionalização (Vanclay, 2004; Prokopy *et al.*, 2019).

**Figura 1** – Fluxograma da Unidade de Teste e Demonstração (UTD), adaptada da metodologia Farmer Field Schools – FAO (1994).



Fonte: Adaptação dos autores à metodologia do projeto



No aprofundamento dessa estratégia formativa, foi idealizada a Unidade de Teste e Demonstração (UTD), concebida como um espaço pedagógico de integração entre teoria e prática. Estruturada a partir da adaptação da metodologia das Farmer Field Schools (Figura 1), proposta pela FAO em 1994, a UTD operacionalizou princípios da aprendizagem participativa, na qual estudantes, agricultores familiares, professores e técnicos assumiram o papel de protagonistas do processo educativo. Nesse ambiente, os participantes puderam observar, testar e discutir aspectos relacionados ao funcionamento do biodigestor em condições reais, favorecendo a construção colaborativa e contextualizada do conhecimento.

**Figura 2** – Oficinas para montagens de biodigestores caseiros



*Fonte: Arquivos dos autores*

### **Minicursos, oficinas de montagem e experimentos aplicados**

A condução de oficinas voltadas à construção de biodigestores de baixo custo em escala didática (Figura 2), associada aos experimentos realizados com substratos disponíveis localmente – como esterco bovino e resíduos ruminais – desempenhou papel central na validação da tecnologia a partir de insumos acessíveis à comunidade. Ao trabalhar com materiais presentes na realidade dos agricultores, o projeto aproximou a teoria da prática e demonstrou a viabilidade da produção de biogás em contextos rurais de baixa complexidade operacional. Essa abordagem prática permitiu aos participantes compreender, de forma concreta, a dinâmica do processo fermentativo e os fatores que influenciam a eficiência do sistema, tais como proporção dos substratos, tempo de retenção hidráulica, condições de anaerobiose e temperatura.

Durante as atividades, foram estabelecidos momentos de observação, discussão e análise dos resultados, nos quais se aprofundaram aspectos técnicos relacionados ao rendimento de biogás e à estabilidade da fermentação, em consonância com recomendações apresentadas na literatura internacional e em manuais de referência sobre biodigestores de pequena escala (FAO, 1996). O contato direto com o funcionamento do biodigestor permitiu a interpretação crítica de variações no volume de biogás produzido, na formação de crostas superficiais, na qualidade da mistura fermentada e na importância da relação carbono-nitrogênio. Esses elementos favoreceram o desenvolvimento de competências essenciais para a adoção segura e eficiente da tecnologia.

Paralelamente, a ênfase no aproveitamento agrônomo do digestato ampliou a compreensão dos participantes sobre os múltiplos benefícios associados ao uso do biodigestor, destacando sua relevância ambiental e econômica. O efluente resultante do processo – rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes – foi apresentado como insumo valioso para a fertilização do solo, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, a redução da dependência de fertilizantes minerais e a melhoria de atributos edáficos importantes, como a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), a retenção de matéria orgânica e a capacidade de armazenamento de água. Ao associar teoria, experi-

mentação e análise conjunta dos resultados, as oficinas promoveram uma compreensão ampliada da tecnologia, reforçando seu potencial como ferramenta de sustentabilidade produtiva e energética no meio rural.

A colaboração com estudantes do Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA), Polo de Chapadinha - MA, ilustrou o potencial pedagógico do projeto. Por meio da montagem de uma maquete de biodigestor em escala piloto com rotação mecânica, um recurso didático inovador, a equipe pôde demonstrar visualmente a importância da agitação para otimizar o processo. A ausência de agitação é uma causa frequente de subdesempenho em biodigestores domésticos, conforme relatado por Issahaku *et al.* (2024).

O desenvolvimento e a utilização dos protótipos desempenharam papel essencial no processo formativo, uma vez que possibilitaram aos participantes compreender, de maneira prática e intuitiva, a complexidade inerente ao funcionamento de biodigestores. Ao observar o comportamento do sistema em escala reduzida, os discentes puderam visualizar fenômenos técnicos que, em um primeiro momento, se apresentam de forma abstrata na literatura, como a estratificação do substrato, a formação de zonas mortas, a necessidade de homogeneização e os impactos desses fatores na estabilidade da digestão anaeróbia. Essa visualização concreta favoreceu uma compreensão mais profunda dos mecanismos internos do reator, permitindo que os estudantes relacionassem conceitos teóricos à dinâmica real do processo biotecnológico.

A manipulação direta do protótipo permitiu identificar, por exemplo, como a falta de agitação compromete a eficiência operacional do biodigestor ao limitar a disponibilidade de substratos para os microrganismos metanogênicos e reduzir a taxa de conversão da matéria orgânica. Ao experimentarem diferentes frequências e intensidades de mistura, os alunos puderam avaliar o efeito da transferência de massa, compreender a função de dispositivos de agitação e reconhecer que variáveis associadas ao manejo influenciam diretamente no rendimento do biogás. Essa experiência reforçou a importância de práticas adequadas de monitoramento e controle, contribuindo para o desenvolvimento de competências voltadas ao diagnóstico de falhas, tomada de decisão e otimização do processo.

A atividade experimental também estimulou a construção de uma visão crítica sobre os desafios operacionais envolvidos na adoção de biodigestores em propriedades rurais. Ao perceberem que aspectos aparentemente simples – como evitar sedimentação, garantir vedação eficaz, prevenir entupimentos ou ajustar a relação sólido-líquido – são determinantes para a funcionalidade do sistema, os discentes passaram a compreender a tecnologia como um conjunto integrado de fatores biológicos, físicos e mecânicos que exigem interpretação ampla e manejo cuidadoso. O protótipo, assim, cumpriu uma dupla função: consolidou o aprendizado técnico-científico e aproximou os participantes da realidade prática da tecnologia, preparando-os para atuar como multiplicadores e orientadores em contextos comunitários.

Complementando as atividades laboratoriais e de campo, o projeto incorporou estratégias de sensibilização ambiental como ferramentas de difusão e engajamento comunitário. Exposições educativas, participação em feiras de ciências (Figura 3), mostras itinerantes e apresentações lúdicas permitiram ampliar o alcance das ações, desmistificando conceitos associados à digestão anaeróbia e evidenciando suas aplicações cotidianas. Ao aproximar ciência, tecnologia e cotidiano, essas atividades contribuíram para fortalecer o interesse social pela inovação, promover o diálogo intergeracional e estimular uma compreensão mais ampla sobre o papel dos biodigestores na sustentabilidade energética e no manejo responsável de resíduos.



**Figura 3** – Participação em exposição de ciências

*Fonte: Arquivos dos autores*

Essa abordagem multifacetada, que combinou diferentes estratégias pedagógicas, revelou-se particularmente eficaz quando aplicada em atividades de caráter interativo. Ao envolver os participantes em oficinas práticas, exposições educativas e dinâmicas lúdicas, o projeto conseguiu ir além da simples transmissão de informações, estimulando de forma direta a curiosidade, a criatividade e o protagonismo dos discentes. Esse processo tornou o aprendizado mais acessível e significativo, permitindo que conceitos técnicos e científicos relacionados aos biodigestores fossem compreendidos em linguagem clara e vivenciados na prática.

Outro aspecto relevante foi o alcance de um público mais diversificado, composto por estudantes de diferentes níveis de ensino, com destaque para aqueles oriundos de famílias rurais. Para esse grupo, a metodologia adotada representou uma oportunidade de reconhecer, de maneira contextualizada, como a tecnologia pode dialogar com sua própria realidade produtiva. Ao aproximar ciência e cotidiano, o projeto reforçou a importância da extensão universitária como ponte entre conhecimento acadêmico e práticas locais, favorecendo não apenas a formação individual, mas também a valorização da agricultura familiar como espaço de inovação e sustentabilidade.

### **Monitoramento e Prototipagem com Suporte Digital**

A implementação e a apresentação de protótipos de biodigestores equipados com sistemas de monitoramento remoto, baseados no uso de sensores e microcontroladores, constituíram um avanço estratégico do projeto (Figura 4).

**Figura 4** – Protótipo com monitorado

Fonte: Arquivos dos autores

A introdução de sistemas de monitoramento remoto nos protótipos representou um avanço significativo para o projeto, pois possibilitou não apenas a coleta contínua de dados sobre variáveis operacionais essenciais – como temperatura, pH e pressão –, mas também a incorporação de práticas contemporâneas de automação no contexto da extensão universitária. Ao integrar sensores e microcontroladores ao sistema, o projeto aproximou os participantes de tecnologias digitais aplicadas à gestão de biodigestores, fortalecendo competências em análise de dados, interpretação de indicadores e tomada de decisão baseada em evidências. Essa integração ampliou tanto o domínio técnico quanto a confiança dos alunos e agricultores no uso da tecnologia, criando condições para uma operação mais precisa, estável e eficiente.

Esse componente dialoga diretamente com resultados de revisões sistemáticas recentes, que apontam falhas precoces em biodigestores de pequena escala como um problema recorrente nos países em desenvolvimento. Tais falhas geralmente decorrem de deficiências de projeto, execução inadequada, dimensionamento incorreto e, sobretudo, da ausência de visibilidade dos parâmetros operacionais – fator crítico quando se lida com processos microbiológicos sensíveis. A literatura especializada destaca que a solução para esses entraves passa pela utilização de monitoramento acessível, instrumentação simples e manutenção orientada por dados. Para Holm-Nielsen, Al Seadi e Oleskiewicz-Popiel (2009), o acompanhamento sistemático de indicadores como pH, temperatura e carga orgânica é fundamental para assegurar a estabilidade da digestão anaeróbia. Angelidaki *et al.* (2019) reforçam que o monitoramento contínuo associado a práticas de automação aumenta a robustez dos biodigestores e amplia sua adaptabilidade a diferentes escalas produtivas. De forma complementar, Kaparaju e Rintala (2011) demonstram empiricamente que sensores básicos têm potencial para prevenir falhas precoces e melhorar significativamente a eficiência do sistema, especialmente em unidades de pequeno porte.

Sem monitoramento, a gestão do biodigestor tende a ser reativa: os problemas só se tornam per-

ceptíveis quando a produção de biogás diminui ou o sistema entra em colapso. Com a coleta contínua de dados, a operação passa a ser proativa e preventiva. Por exemplo, a identificação de uma queda gradual no pH permite detectar uma tendência de acidificação antes que ela comprometa o funcionamento do reator. Do mesmo modo, variações anômalas de temperatura ou aumento súbito da pressão podem sinalizar problemas de carga orgânica, vedação ou formação de crostas, possibilitando ajustes imediatos. Isso reduz a ocorrência de falhas, prolonga a vida útil do sistema e evita interrupções prolongadas na produção.

Além do valor operacional, o monitoramento em tempo real configurou-se como ferramenta pedagógica central no projeto. A visualização de dados instantâneos permitiu que estudantes e agricultores correlacionassem a quantidade de substrato inserida com as respostas biológicas do sistema, compreendendo, de maneira concreta, relações de causa e efeito que geralmente permanecem invisíveis no funcionamento interno do biodigestor. Gráficos, curvas e séries temporais transformaram o reator em uma espécie de “sala de aula viva”, na qual fenômenos microbiológicos – normalmente abstratos – tornaram-se observáveis e interpretáveis. Esse processo contribuiu para o fortalecimento da autonomia técnica dos participantes, reduzindo a dependência de intervenções emergenciais e promovendo o domínio das variáveis críticas de operação.

Como resultado, o monitoramento remoto ampliou significativamente a confiança na tecnologia, favorecendo não apenas a adoção dos biodigestores como também a sustentabilidade de seu uso no longo prazo. Ao tornar o processo transparente, mensurável e controlável, a automação transformou o biodigestor em um sistema mais didático, confiável e adaptável às condições do meio rural, reforçando seu potencial como tecnologia social aplicada à transição energética e ao manejo sustentável de resíduos.

### **Produtos Educativos e Estratégias de Difusão**

A elaboração da cartilha didática de extensão (Figura 5), intitulada “Biodigestor Rural: Energia e Sustentabilidade no Campo – Guia Prático para o Produtor Rural”, representou um dos resultados mais significativos do projeto, ao consolidar o conhecimento construído em um recurso acessível, replicável e tecnicamente fundamentado. O guia foi estruturado com o objetivo de traduzir conteúdos complexos em uma linguagem clara, desprovida de jargões excessivos, permitindo que agricultores familiares e estudantes compreendessem desde as etapas de construção de um biodigestor de baixo custo até orientações práticas sobre segurança no manuseio do biogás e uso agrônômico do biofertilizante.

Conforme preconizado pela FAO (1996), materiais de referência constituem instrumentos essenciais de multiplicação territorial das tecnologias, pois sistematizam conhecimentos e permitem sua difusão em diferentes contextos sociais. Nesse mesmo sentido, Kretzer *et al.* (2015) destacam que a elaboração de cartilhas e guias práticos potencializa o alcance da extensão universitária, funcionando como mediadores pedagógicos entre ciência e comunidade. Vieira *et al.* (2025) também enfatizam que a disponibilização de recursos educativos acessíveis contribui para a efetivação de uma educação mais equitativa, ao passo que Sugahara (2012) reforça a função da extensão como prática transformadora, capaz de intervir de forma crítica e educativa na realidade social.

Dessa forma, a cartilha não deve ser entendida apenas como um produto final do projeto, mas como uma ferramenta estratégica de extensão e educação ambiental, direcionada simultaneamente



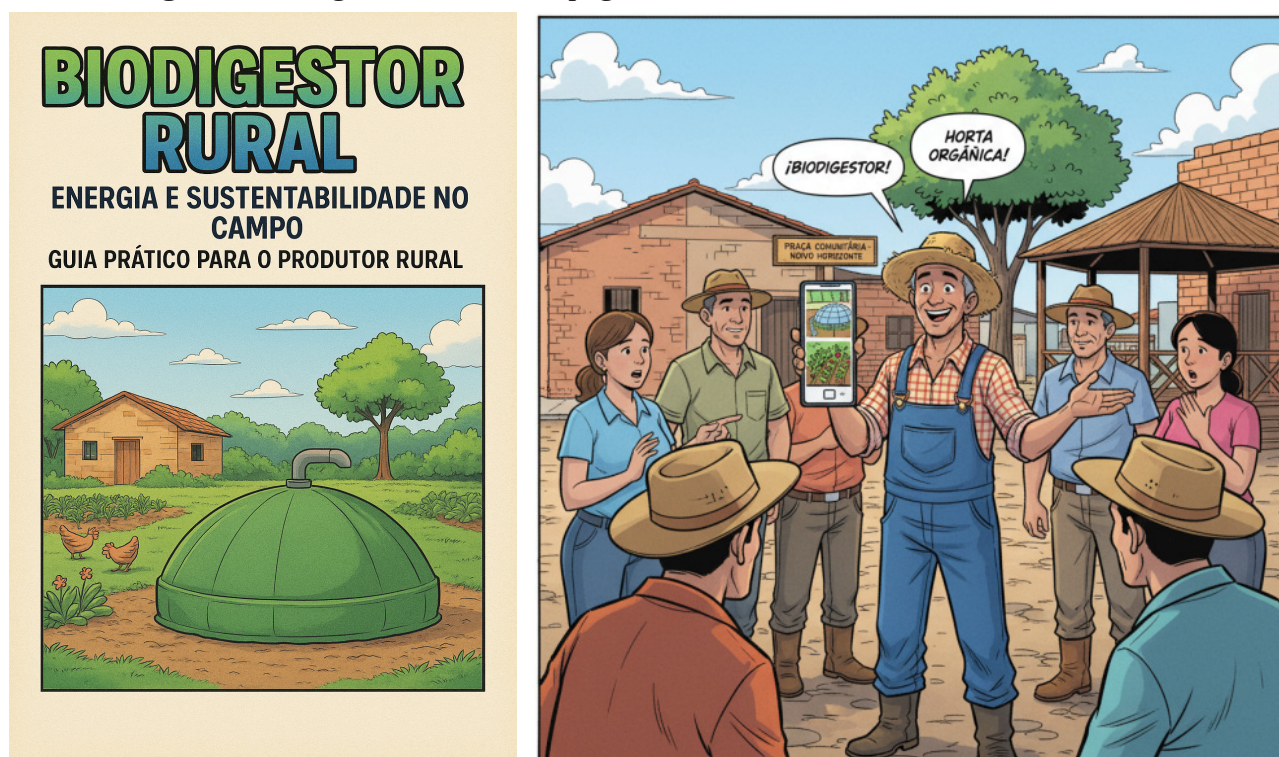
a extensionistas, professores e agricultores familiares. Ao reunir conteúdos técnicos em linguagem acessível, com ilustrações e orientações práticas, o material assumiu a função de recurso pedagógico estruturado, favorecendo a aprendizagem gradual e o diálogo entre ciência e prática cotidiana.

O fato de ser um material padronizado e de fácil replicação garantiu a consistência da informação transmitida, reduzindo o risco de interpretações equivocadas ou da perda de qualidade no processo de difusão do conhecimento. Para os agricultores familiares, em especial, a cartilha representou um instrumento didático e técnico, pois permitiu compreender cada etapa da construção e do uso do biodigestor, desde os cuidados com a segurança do biogás até as orientações para o aproveitamento do biofertilizante. Essa apropriação do conhecimento contribuiu para a autonomia na adoção da tecnologia, reduzindo a dependência de assistência externa contínua e fortalecendo a capacidade de inovação local.

Além disso, o guia também funcionou como apoio metodológico para professores e extensionistas, que passaram a contar com um material confiável para mediar oficinas, minicursos e atividades educativas em diferentes contextos. Essa característica reforçou o caráter multiplicador do projeto, permitindo que seus resultados ultrapassassem o público inicialmente envolvido e alcançassem novas comunidades e instituições de ensino.

Assim, a cartilha consolidou-se como um verdadeiro legado pedagógico e tecnológico, capaz de prolongar os efeitos positivos do projeto mesmo após o encerramento formal das ações extensionistas. Ao se tornar uma referência acessível, replicável e culturalmente adequada, garantiu a perenidade do impacto extensionista e contribuiu para a construção de uma cultura de sustentabilidade energética e ambiental no meio rural.

**Figura 5** – Imagem ilustrativa de páginas da cartilha didática de extensão



Fonte: Elaboração dos autores

## Aspectos culturais e o papel crítico da extensão universitária

A adoção de tecnologias no meio rural configura um processo sociotécnico complexo, no qual dimensões culturais, históricas, sociais e econômicas se entrelaçam e moldam a forma como as inovações são percebidas e incorporadas pelas comunidades. Nesse sentido, a decisão de adotar ou rejeitar uma nova prática não depende exclusivamente de critérios técnicos, mas de fatores como confiança no agente extensionista, legitimidade de quem demonstra a tecnologia, compatibilidade com valores locais, experiências prévias com intervenções externas e a capacidade percebida da tecnologia de resolver problemas cotidianos (Vanclay, 2004). A inovação, portanto, só se fortalece quando dialoga com o contexto sociocultural que a recebe.

A literatura demonstra que não há um mecanismo universal de adoção tecnológica. Estudos de revisão indicam que a adesão resulta da convergência entre incentivos econômicos, normas sociais, disponibilidade de suporte técnico, percepção de risco e, sobretudo, aprendizagem pela experiência, variável considerada decisiva para transformar conhecimento em prática (Prokopy *et al.*, 2019). Assim, o processo de difusão não ocorre de forma linear; ele se constitui como movimento iterativo, em que agricultores testam, observam resultados, ajustam práticas e negociam significados com seus pares. Esse caráter dinâmico e social da adoção tecnológica evidencia a limitação de abordagens prescritivas baseadas apenas na transmissão de informação.

Nesse contexto, a extensão universitária emerge como instrumento estratégico de mediação sociotécnica, capaz de articular saberes acadêmicos, práticas produtivas e racionalidades culturais. Ao desenvolver Unidades de Teste e Demonstração, oficinas participativas e materiais didáticos contextualizados, a extensão reduz incertezas, aumenta a confiança na tecnologia e cria espaços coletivos de experimentação, fundamentais para a circulação e legitimação do conhecimento. Essas práticas se mostram mais efetivas à medida que promovem interações horizontais, valorizam a escuta ativa e reconhecem o papel dos agricultores como agentes cognitivos e não como receptores passivos (Vanclay, 2004).

A literatura contemporânea reforça que a extensão também opera como um dispositivo de formação humana e de fortalecimento territorial. Santos e Santos (2023), ao analisarem o Programa Formacampo, demonstram que processos extensionistas construídos a partir da participação comunitária ampliam a autonomia, estimulam o pensamento crítico e promovem a articulação entre saber local e conhecimento acadêmico, ressignificando práticas e identidades no campo. Esse entendimento desloca a extensão de um modelo difusionista para uma perspectiva dialógica e emancipatória, em que a universidade se torna parte ativa da comunidade, contribuindo para a construção social da inovação.

Assim, o papel da extensão universitária transcende a simples disseminação de tecnologias. Ela atua como mediadora cultural, tradutora de racionalidades e estruturadora de redes sociotécnicas capazes de sustentar a adoção de práticas inovadoras no longo prazo. Ao integrar ciência, cultura e prática social, a extensão contribui para que tecnologias como biodigestores sejam não apenas tecnicamente eficientes, mas socialmente aceitas, culturalmente adequadas e economicamente viáveis, assegurando sua apropriação efetiva pelas comunidades rurais.



### **Novos caminhos, identificação de limitações e apresentação de soluções decorrentes do projeto**

A experiência adquirida ao longo da execução do projeto permitiu não apenas consolidar práticas já validadas, mas também apontar novos caminhos e soluções que podem ampliar a difusão e a sustentabilidade da tecnologia dos biodigestores no meio rural. Durante sua execução, foram observadas algumas limitações operacionais e logísticas, especialmente relacionadas à disponibilidade de materiais, à infraestrutura dos espaços de realização das oficinas e à logística de deslocamento entre os locais de atividade. Em algumas etapas, também foram constatadas dificuldades no acompanhamento contínuo dos participantes, sobretudo durante períodos de recesso acadêmico e de maior demanda curricular. Tais restrições, contudo, não comprometeram o alcance dos objetivos, servindo como aprendizado para o aprimoramento das etapas seguintes.

Um primeiro aspecto identificado foi a necessidade de fortalecer redes de cooperação entre escolas técnicas, universidades e agricultores familiares. A formação de polos de referência – compostos por unidades demonstrativas em instituições de ensino e propriedades rurais – cria ambientes de aprendizagem contínua, nos quais o conhecimento circula de forma horizontal e prática. Esse modelo reforça a ideia de aprendizagem entre pares, considerada pela literatura extensionista como um dos fatores decisivos para a adoção de inovações no campo (Vanclay, 2004; Prokopy *et al.*, 2019).

Outro caminho promissor é a incorporação crescente de tecnologias digitais na gestão dos biodigestores. A utilização de sensores de baixo custo e microcontroladores mostrou-se eficaz para prevenir falhas e, ao mesmo tempo, funcionou como recurso pedagógico. A adoção dessa instrumentação simples, combinada com sistemas de alerta e monitoramento remoto, fortalece a confiabilidade operacional dos biodigestores e reduz barreiras culturais e técnicas de aceitação da tecnologia (Holm-Nielsen *et al.*, 2009; Angelidaki *et al.*, 2019).

Destaca-se ainda a necessidade de maior valorização do digestato como insumo agrícola. Ensaaios realizados no projeto evidenciaram seu potencial como fertilizante orgânico, reforçando o conceito de economia circular. Contudo, recomenda-se aprofundar pesquisas aplicadas sobre doses, manejo e segurança do uso agrônomo, bem como capacitar agricultores para compreenderem seu valor econômico e ambiental.

Finalmente, os resultados também apontaram para a importância da continuidade da ação extensionista. Projetos de curta duração conseguem sensibilizar e introduzir conceitos, mas a consolidação da adoção tecnológica demanda acompanhamento prolongado, formação de multiplicadores locais e integração com políticas públicas de incentivo às energias renováveis.

Assim, os novos caminhos indicam a necessidade de unir tecnologia, pedagogia e política pública. Essa integração potencializa a adoção de biodigestores, assegura a sustentabilidade de seu uso e amplia o impacto social, econômico e ambiental da extensão universitária no fortalecimento da agricultura familiar e da transição energética no meio rural.

### **Considerações Finais**

O desenvolvimento do projeto de extensão “Energia renováveis: uma abordagem no aproveitamento de resíduos agrícolas na produção de biogás” demonstrou que a difusão de tecnologias socioambientais exige uma abordagem integrada, capaz de articular formação, prática experimental,

inovação tecnológica e produção de materiais educativos. A experiência mostrou que a adoção de biodigestores no meio rural depende tanto de fatores técnicos – como o domínio do processo de digestão anaeróbia, a qualidade do substrato e a confiabilidade operacional – quanto de aspectos sociais e culturais, relacionados à aceitação da comunidade, à disponibilidade de informação acessível e ao suporte técnico contínuo.

Os resultados alcançados reforçam a importância da extensão universitária como ponte entre ciência e sociedade, ao permitir que discentes e agricultores familiares não apenas recebessem informações, mas se apropriassem de conhecimentos e práticas que podem ser aplicados em seus contextos produtivos. Oficinas, minicursos, experimentos e a elaboração de uma cartilha didática consolidaram a difusão do conhecimento de forma estruturada e replicável. A introdução de protótipos com monitoramento digital, por sua vez, sinaliza novas possibilidades para assistência técnica baseada em dados, aumentando a confiança na tecnologia e ampliando sua sustentabilidade no longo prazo.

Assim, o projeto contribuiu para a formação de recursos humanos, para a validação prática do uso de biodigestores e para a criação de um legado pedagógico e tecnológico capaz de permanecer ativo mesmo após o encerramento das atividades. Mais do que um produto isolado, trata-se de um modelo de extensão replicável, que pode orientar futuras iniciativas de desenvolvimento rural voltadas à transição energética, à economia circular e à sustentabilidade socioambiental.

## Referências

- ANGELIDAKI, Irini *et al.* (ed.). **Biomass, biofuels, biochemicals**: biofuels: alternative feedstocks and conversion processes for the production of liquid and gaseous biofuels. 2. ed. London: Academic Press, 2019. p. 817–843. ISBN 9780128168561. DOI: [10.1016/B978-0-12-816856-1.00033-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00033-6).
- BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoescc & Ciência–ACSA, Joaçaba**, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.
- DANTAS, Marcelo Wanderley; GUENTHER, Mariana. Extensão universitária e desenvolvimento local sustentável: uma revisão da literatura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 6, e23010615243-e23010615243, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15243>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Farmer Field Schools: experience from East Africa**. Rome: FAO, 1994.
- FAO, CMS. **Biogas technology**: a training manual for extension. Nepal: Consolidated Management Services Nepal (CMS), 1996.
- HOLM-NIELSEN, Jens Bo; AL SEADI, Teodorita; OLESKOWICZ-POPIEL, Piotr. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>. Acesso em: 15 set. 2025.
- IEA – International Energy Agency. **World Energy Outlook 2021**. Paris: OECD/IEA, 2021.
- ISSAHAKU, Mubarak; DERKYI, Nana Sarfo Agyemang; KEMAUSUOR, Francis. A systematic review of the design considerations for the operation and maintenance of small-scale biogas digesters. **Heliyon**, v. 10, n. 1, 2024. Disponível em: DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e24019. Acesso em: 11 set. 2025.
- KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 31-41, 2011. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.05.016>. Acesso em: 15 set. 2025.
- KRETZER, Stéfano Gomes; NAGAOKA, Alberto Kazushi; MOREIRA, Thiago Ezio; BAUER, Fernando Cesar; PINTO, José Guilherme Cesário Pereira. Educação ambiental em gestão de resíduos e uso de biodigestor em escola pública de Florianópolis. **Extensio: Revista Eletrônica de Extensão**, v. 12, n. 19, p. 2-13, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/1807-0221.2015v12n19p2>. Acesso em: 14 set. 2025.
- MILANEZ, Artur Yabe; MAIA, Guilherme Baptista da Silva; GUIMARÃES, Diego Duque. **Biogás**: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil. 2021. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/20801>. Acesso em: 14 set. 2025.
- PROKOPY, Linda S. *et al.* Adoption of agricultural conservation practices in the United States: Evidence from 35 years of quantitative literature. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 74, n. 5, p. 520-534, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.520>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- SANTOS, Winner; DOS SANTOS, Arlete Ramos. O papel da extensão universitária: Programa de Formação de Educadores do Campo–Formacampo. **Revista Extensão & Cidadania**, v. 11, n. 20, p. 131-154, 2023.
- SOUZA, Miller Luiz de. BIODIGESTORES EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS: uma análise da viabilidade econômica para fazendas com consumo de energia de até 500kWh Mensais. **BIODIGESTORES EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS: uma análise da viabili-**

**dade econômica para fazendas com consumo de energia de até 500kWh Mensais**, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/2663>. Acesso em: 11 set. 2025.

SOUZA, Miller Luiz de. Biodigestores em pequenas propriedades rurais: uma análise da viabilidade econômica para fazendas com consumo de energia de até 500 kWh mensais. In: JORNADA CIENTÍFICA DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E TECNOLOGIA, 3., 2023, Varginha. *Anais...* Varginha: Grupo Unis, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/2663>. Acesso em: 11 set. 2025.

SUGAHARA, Cibele Roberta. A extensão universitária como ação socioeducativa. **Revista Conexão UEPG**, v. 8, n. 2, p. 167-169, 2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514151728003>. Acesso em: 11 set. 2025.

VANCLAY, Frank. Social principles for agricultural extension to assist in the promotion of natural resource management. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 3, p. 213-222, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/EA02139>. Acesso em: 11 set. 2025.

VIEIRA, Maria da Conceição Lira; PINTO, Vanderlei Porto; CARVALHO, Eugirlene Pinheiro da Silva; CAMPOS, Vitor Bandeira; OLIVEIRA, Samantha Inaie Rodrigues. Recursos didáticos acessíveis: estratégias para uma educação mais inclusiva. **Missioneira**, v. 27, n. 2, p. 165-175, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.46550/70bdpb72>. Acesso em: 15 set. 2025.