

INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIAS, E TECNOLOGIA DO
PARÁ
CAMPUS ANANINDEUA
CURSO BACHAREL EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DAYRLANE SILVA DE SOUSA
202338407333

**Energias Renováveis e Sustentabilidade: A utilização de biodigestores para
geração de energia renovável em comunidade isoladas na Amazônia
Brasileira.**

ANANINDEUA-PA
2025

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- SIN - Sistema Interligado Nacional
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
- GLP - Gs Liquefeito de Petróleo
- CIBiogás - Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás
- ABREN - Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos
- ABiogás - Associação Brasileira do Biogás
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês)
- TRH - Tempo de Retenção Hidráulica
- VPL - Valor Presente Líquido
- TRd - Tempo de Retorno de Capital Descontado

RESUMO

A região amazônica abriga inúmeras comunidades isoladas que enfrentam sérios desafios no acesso a serviços essenciais, especialmente à eletricidade. A dependência de fontes convencionais, como o óleo diesel, além de onerosa, agrava a degradação ambiental e compromete a qualidade de vida local. Neste contexto, o uso de fontes renováveis se destaca como alternativa estratégica para promover o desenvolvimento sustentável da região. Este trabalho analisa a viabilidade da utilização de biodigestores como solução energética para comunidades amazônicas isoladas, considerando aspectos técnicos, econômicos e sociais. O estudo revela que, embora existam desafios estruturais e financeiros, a adoção do biogás pode representar um importante avanço na democratização do acesso à energia, na valorização dos resíduos orgânicos e na geração de renda e autonomia para as populações locais.

Palavras-chave: Energia renovável. Biogás. Comunidades isoladas. Sustentabilidade. Amazônia.

ABSTRACT

The Amazon region is home to numerous isolated communities that face serious challenges in accessing essential services, especially electricity. Dependence on conventional energy sources, such as diesel, is not only costly but also exacerbates environmental degradation and undermines local quality of life. In this context, the use of renewable energy emerges as a strategic alternative to promote the sustainable development of the region. This study analyzes the feasibility of using biodigesters as an energy solution for isolated Amazonian communities, taking into account technical, economic and social aspects. The study reveals that despite structural and financial challenges, the adoption of biogas may represent a significant step toward democratizing energy access, valorizing organic waste, and promoting income and autonomy for local populations.

Keywords: Renewable energy. Biogas. Isolated communities. Sustainability. Amazon.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, com uma área de aproximadamente 5,5 milhões de quilômetros quadrados, distribuída por nove países sul-americanos, sendo que o Brasil detém cerca de 60% desse território (INPE, 2021). A região desempenha papel crucial na regulação do clima global, produzindo aproximadamente 20% do oxigênio do planeta e absorvendo grandes volumes de dióxido de carbono (NOBRE, 2014). Além disso, abriga uma das maiores biodiversidades do mundo, com milhões de espécies de plantas e animais, muitas das quais ainda desconhecidas pela ciência.

Contudo, apesar de sua importância ecológica e social, a Amazônia é marcada por severas desigualdades no acesso a serviços básicos, como saúde, educação e, principalmente, energia elétrica. Milhares de comunidades vivem em áreas remotas e de difícil acesso, sem integração ao Sistema Interligado Nacional (SIN), dependendo de fontes caras e poluentes como o diesel para suprir suas necessidades energéticas (ANEEL, 2023).

O isolamento dessas comunidades afeta diretamente a qualidade de vida de seus habitantes e compromete iniciativas de desenvolvimento sustentável. Nesse cenário, soluções energéticas alternativas, como a bioenergia proveniente de biodigestores, surgem como caminhos promissores. Tais tecnologias permitem a geração de energia a partir de resíduos orgânicos locais, promovendo a autossuficiência energética e reduzindo impactos ambientais (CIBiogás, 2022).

Assim, este trabalho propõe analisar o potencial de aplicação de biodigestores em comunidades isoladas da Amazônia, buscando compreender os benefícios socioambientais da sua implementação, os desafios técnicos e econômicos envolvidos e as políticas públicas necessárias para viabilizar essa transição.

2 DIFICULDADES DE ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA DE FORMA CONTÍNUA E LIMPA

O acesso à energia elétrica na região amazônica, especialmente em áreas isoladas, ainda é

marcado por grandes desigualdades. Muitas comunidades dependem de fontes não renováveis, como geradores a diesel, cuja operação é onerosa, poluente e ineficiente. A logística de abastecimento, dificultada por questões geográficas e de infraestrutura, agrava ainda mais a precariedade do fornecimento energético (GÓMEZ et al., 2018).

O uso de geradores movidos a diesel é comum, porém apresenta sérias limitações: o combustível é caro, sua distribuição é complicada devido à dificuldade de acesso fluvial ou terrestre, e sua queima contribui significativamente para a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a energia produzida é frequentemente intermitente, afetando negativamente o cotidiano das comunidades (CUNHA et al., 2020).

As consequências dessa limitação energética vão além da dimensão ambiental. A ausência de eletricidade constante impede o funcionamento adequado de unidades de saúde, que necessitam de energia para conservar medicamentos, operar equipamentos médicos e realizar atendimentos emergenciais. A educação também é prejudicada, pois a falta de iluminação e de recursos tecnológicos reduz o tempo de estudo e dificulta o acesso a materiais pedagógicos (GARNELO, 2016).

Em muitas localidades, a energia só está disponível por algumas horas do dia, o que compromete também o desenvolvimento de atividades econômicas. Pequenos negócios, processamento de alimentos, sistemas de irrigação e outros empreendimentos são inviabilizados pela ausência de um fornecimento energético confiável (RIBEIRO et al., 2021). Com isso, perpetua-se o ciclo de pobreza, exclusão social e dependência de fontes energéticas insustentáveis.

A substituição dessas fontes por soluções renováveis, como a energia solar, eólica ou biogás, surge como uma alternativa não apenas técnica, mas social e ambientalmente necessária. No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda enfrenta barreiras estruturais, como a falta de investimentos, capacitação técnica local e políticas públicas efetivas de incentivo (EPE, 2019).

3 IMPORTÂNCIA DA ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SOCIAL, EDUCAÇÃO E SAÚDE

O acesso à energia elétrica é um dos pilares do desenvolvimento humano. Ele permite o funcionamento de escolas, postos de saúde, centros comunitários, pequenas indústrias e atividades agrícolas, sendo essencial para a melhoria da qualidade de vida, especialmente em comunidades remotas como as da região amazônica (WORLD BANK, 2017).

Na educação, a disponibilidade de energia elétrica possibilita a iluminação das salas de aula durante o período noturno e o uso de tecnologias digitais como computadores, projetores e internet. Isso amplia o acesso ao conhecimento e contribui para a formação educacional de jovens e adultos. Além disso, a energia permite que escolas funcionem de forma contínua, mesmo em localidades onde o fornecimento de luz solar é limitado em determinadas épocas do ano (OLIVEIRA & ALVES, 2020).

Na área da saúde, a energia é indispensável para o funcionamento de equipamentos médicos, conservação de vacinas e medicamentos que exigem refrigeração e atendimento de urgência. A ausência de fornecimento elétrico contínuo compromete o atendimento adequado e expõe a população a riscos sanitários, sobretudo em áreas de difícil acesso e com alta incidência de

doenças tropicais (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Do ponto de vista econômico, a energia impulsiona atividades produtivas locais, como a agricultura familiar, o beneficiamento de produtos naturais e o artesanato. Com energia, é possível instalar sistemas de irrigação, conservar alimentos e implantar pequenas agroindústrias. Isso fortalece a economia local e reduz a dependência de subsídios externos (SOUZA et al., 2019).

Além dos benefícios diretos, a energia viabiliza o acesso a tecnologias de comunicação — como rádio, telefone e internet — que promovem integração social, acesso à informação e participação cidadã. Assim, o acesso à energia confiável e sustentável é um elemento central para a inclusão social e o combate à pobreza energética na Amazônia (ENERGIA SUSTENTÁVEL BRASIL, 2023).

4 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL NA AMAZÔNIA

A Amazônia brasileira possui um vasto potencial para o aproveitamento de fontes de energia renovável devido à sua extensão territorial, incidência solar, abundância de recursos hídricos e disponibilidade de biomassa. Tais características tornam a região propícia à diversificação da matriz energética, especialmente em áreas não atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) (EPE, 2021).

Entre as principais fontes renováveis com potencial de uso na região, destacam-se:

4.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar é uma das alternativas mais promissoras para comunidades isoladas. A alta incidência de radiação solar ao longo do ano favorece a instalação de painéis fotovoltaicos, que podem operar de forma autônoma e com baixos custos operacionais. Sistemas solares descentralizados são ideais para locais de difícil acesso e possuem manutenção simples (ABSOLAR, 2022).

4.2 Energia Hidrelétrica de Pequeno Porte

Embora a Amazônia concentre algumas das maiores hidrelétricas do país, como Belo Monte e Tucuruí, muitas comunidades ainda não se beneficiam dessa infraestrutura. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e microcentrais podem ser implantadas de forma sustentável, desde que respeitem a sensibilidade ambiental dos ecossistemas locais (IBAMA, 2020).

4.3 Energia Eólica

Apesar da floresta densa e da geografia irregular limitarem o uso da energia eólica em muitas áreas da Amazônia, estudos apontam que regiões abertas, como áreas de savana e várzea, possuem potencial eólico considerável. Essa fonte ainda é pouco explorada na região, mas pode complementar outras alternativas (ELETROBRAS, 2019).

4.4 Bioenergia e Biogás

A produção de bioenergia por meio de resíduos orgânicos é uma solução eficaz para comunidades rurais, onde há grande disponibilidade de matéria orgânica — como dejetos animais, restos de alimentos e resíduos agrícolas. O uso de biodigestores permite transformar

essa biomassa em biogás, uma fonte limpa e renovável, útil para geração de eletricidade, aquecimento ou cocção de alimentos (CIBiogás, 2022).

Apesar de o Brasil gerar 82% da sua energia elétrica a partir de fontes renováveis, segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS), estima-se que cerca de 3 milhões de pessoas na Amazônia ainda dependem de fontes fósseis locais, como geradores a diesel, e mais de 1 milhão vivem sem acesso regular à eletricidade (ONS, 2024). Essa contradição evidencia a necessidade de investimento em tecnologias apropriadas à realidade socioambiental da região.

5 PRINCIPAIS DESAFIOS ENFRENTADOS

A implantação de sistemas de energia renovável em comunidades isoladas da Amazônia enfrenta diversos entraves de ordem técnica, econômica e logística. Apesar do vasto potencial natural da região, há obstáculos estruturais que dificultam a consolidação de uma matriz energética sustentável e acessível.

5.1 Altos custos iniciais de implantação

Um dos principais desafios é o elevado custo de instalação de sistemas de energia renovável, como painéis solares, turbinas eólicas ou biodigestores. O transporte de equipamentos para regiões de difícil acesso eleva significativamente os custos do projeto. Além disso, muitos dos insumos necessários não são produzidos localmente, aumentando a dependência de centros urbanos distantes (CUNHA et al., 2020).

5.2 Falta de mão de obra qualificada

A carência de profissionais capacitados para instalar e manter sistemas energéticos é uma barreira significativa. Sem formação técnica local, torna-se difícil garantir a sustentabilidade operacional dos sistemas no longo prazo. Isso gera dependência de técnicos externos e encarece as manutenções corretivas e preventivas (MIRANDA & SOUSA, 2019).

5.3 Condições geográficas e logísticas adversas

A geografia acidentada da região, a presença de áreas alagadas, a densa floresta e a sazonalidade dos rios dificultam o transporte de materiais e a execução de obras. Muitas comunidades ficam isoladas durante o período de cheias, o que impede o acesso terrestre por meses (GARNELO, 2016). Esse isolamento impõe custos logísticos adicionais e compromete cronogramas de implementação.

5.4 Dependência de combustíveis fósseis

Mesmo em áreas com grande potencial renovável, muitas comunidades ainda dependem de fontes fósseis como o óleo diesel. Essa dependência se dá, principalmente, pela inexistência de alternativas acessíveis e confiáveis, bem como pela inércia institucional e falta de incentivos à transição energética (EPE, 2021).

5.5 Infraestrutura de transporte e comunicação deficiente

A ausência de uma malha viária adequada e de redes de comunicação limita o fluxo de informações e a logística de abastecimento. Isso impacta diretamente a entrega de insumos, o

acesso a assistência técnica e a viabilidade de projetos de médio e grande porte (RIBEIRO et al., 2021).

Programas governamentais como o *Luz para Todos*, do Ministério de Minas e Energia (MME), têm desempenhado papel relevante na tentativa de universalização do acesso à eletricidade nas áreas rurais e remotas. Entretanto, sua cobertura ainda é limitada e não contempla plenamente as especificidades das populações amazônicas isoladas (ANEEL, 2023).

Dessa forma, superar esses desafios exige a integração de políticas públicas, incentivos econômicos, capacitação técnica e uma abordagem que considere a realidade sociocultural e ambiental da região.

6 ENERGIA ATRAVÉS DA BIOENERGIA (BIOGÁS)

A bioenergia é uma das soluções energéticas renováveis mais promissoras para comunidades isoladas da Amazônia, pois aproveita recursos abundantes no meio rural, como resíduos orgânicos, dejetos de animais e restos de alimentos. Dentre as tecnologias disponíveis, destaca-se o uso de biodigestores, equipamentos capazes de converter matéria orgânica em biogás por meio da digestão anaeróbia (CIBiogás, 2022).

6.1 Funcionamento do biodigestor

O biodigestor é uma estrutura hermeticamente fechada que, ao receber resíduos orgânicos diluídos em água, permite a ação de bactérias anaeróbias que decompõem a matéria, liberando gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O metano é o principal componente do biogás e pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou para cocção de alimentos (FONSECA et al., 2009).

A composição típica do biogás é a seguinte:

- Metano (CH_4): 50% a 70%
- Dióxido de carbono (CO_2): 30% a 50%
- Vapor d'água, sulfeto de hidrogênio, amônia e traços de outros gases: < 5% (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006)

6.2 Benefícios sociais e ambientais

Além de produzir energia, os biodigestores contribuem para a destinação adequada de resíduos, evitando o descarte incorreto de matéria orgânica e diminuindo a contaminação do solo e da água. O efluente restante, chamado biofertilizante, pode ser utilizado na agricultura, promovendo ganhos produtivos e reduzindo o uso de insumos químicos (PORTO, 2019).

Outro benefício relevante é a redução da emissão de gases de efeito estufa. A captura e o uso do metano, que possui um potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 , ajudam a mitigar o impacto ambiental associado à decomposição natural de resíduos (ABREN, 2023).

6.3 Viabilidade técnica e econômica

A implantação de biodigestores exige alguns insumos básicos: tanque de digestão, sistema de alimentação de biomassa, sistema de coleta e armazenamento de biogás e, opcionalmente, um gerador para conversão em eletricidade. Embora o custo inicial de instalação ainda seja elevado, estudos mostram que o investimento pode ser recuperado em médio prazo, especialmente quando há aproveitamento do gás para uso doméstico ou comunitário (LA FARGE, 1995).

Um exemplo de aplicação bem-sucedida é o município de Entre Rios do Oeste (PR), onde foi implementada uma central termelétrica a biogás a partir da coleta de resíduos em propriedades rurais. O projeto, conduzido pelo CIBiogás em parceria com a Copel e o Parque Tecnológico de Itaipu, abastece prédios públicos com energia limpa e serve de modelo para replicação em outras regiões (CIBiogás, 2022).

6.4 Aplicação na Amazônia

Na Amazônia, o uso de biodigestores é especialmente viável em comunidades com produção agropecuária e geração constante de resíduos. Considerando uma comunidade de 50 habitantes, é possível estimar a produção de 48 a 100 kg de resíduos orgânicos por dia, o que pode gerar até 30 m³ de biogás diariamente, suficiente para atividades básicas como cocção, iluminação e pequena geração elétrica (OLIVER et al., 2008).

Com base em estudos de viabilidade, o custo de instalação de biodigestores tipo batelada para comunidades pequenas varia entre R\$ 20.000,00 e R\$ 100.000,00, enquanto os de fluxo contínuo — mais eficientes, mas mais caros — podem chegar a R\$ 500.000,00 (EPE, 2021). A escolha do modelo ideal depende das condições locais, da demanda energética e da capacidade de operação e manutenção da comunidade.

7 OBJETIVOS

7.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica, econômica e social da utilização do biogás, por meio de biodigestores, como alternativa para a geração de energia renovável em comunidades isoladas da Amazônia brasileira, contribuindo para a redução das desigualdades energéticas e a promoção do desenvolvimento sustentável.

7.2 Objetivos Específicos

- Mapear as áreas isoladas da Amazônia com baixa cobertura energética e avaliar sua demanda potencial;
- Investigar os mecanismos de incentivo à geração distribuída de energia renovável na região, com foco no biogás;
- Avaliar a aplicabilidade do biogás em comunidades amazônicas, considerando aspectos técnicos e operacionais;
- Estimar os custos de instalação e manutenção de biodigestores em diferentes escalas;

- Simular o impacto socioeconômico da implementação de biodigestores em uma comunidade-piloto de 50 habitantes.

8 METODOLOGIA

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica e análise documental, complementada por um estudo de caso teórico. A pesquisa se baseia em fontes secundárias confiáveis, como publicações científicas, relatórios técnicos da ANEEL, EPE, CIBiogás, e documentos de políticas públicas.

8.1 Etapas metodológicas

1. **Revisão bibliográfica:** levantamento de estudos sobre energia renovável na Amazônia, biodigestores, biogás e impactos sociais do acesso à energia.
2. **Análise técnica:** identificação dos tipos de biodigestores viáveis para comunidades amazônicas e avaliação dos insumos, dimensionamento e operação.
3. **Simulação de cenário:** elaboração de modelo teórico para estimar a produção de biogás a partir dos resíduos orgânicos de uma comunidade de 50 habitantes, utilizando parâmetros de produção de dejetos e eficiência energética.
4. **Avaliação econômica:** cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e do Tempo de Retorno do Investimento (TRI), considerando dados reais de tarifas energéticas, custos de equipamentos e taxas de juros aplicadas no setor.
5. **Estudo de caso de referência:** análise do projeto de geração de energia com biogás no município de Entre Rios do Oeste (PR), como modelo replicável.

A metodologia está alinhada com a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que autoriza consumidores a produzirem sua própria energia a partir de fontes renováveis, o que viabiliza juridicamente projetos com biodigestores em comunidades isoladas.

Aplicação da Plataforma RapidMiner

A plataforma **RapidMiner** foi utilizada como ferramenta de apoio à análise de dados neste trabalho, por meio de uma simulação baseada em dados estimados da produção de resíduos, geração de biogás e custos de instalação de biodigestores em comunidades isoladas da Amazônia.

O fluxo de trabalho desenvolvido no ambiente do RapidMiner contemplou as seguintes etapas:

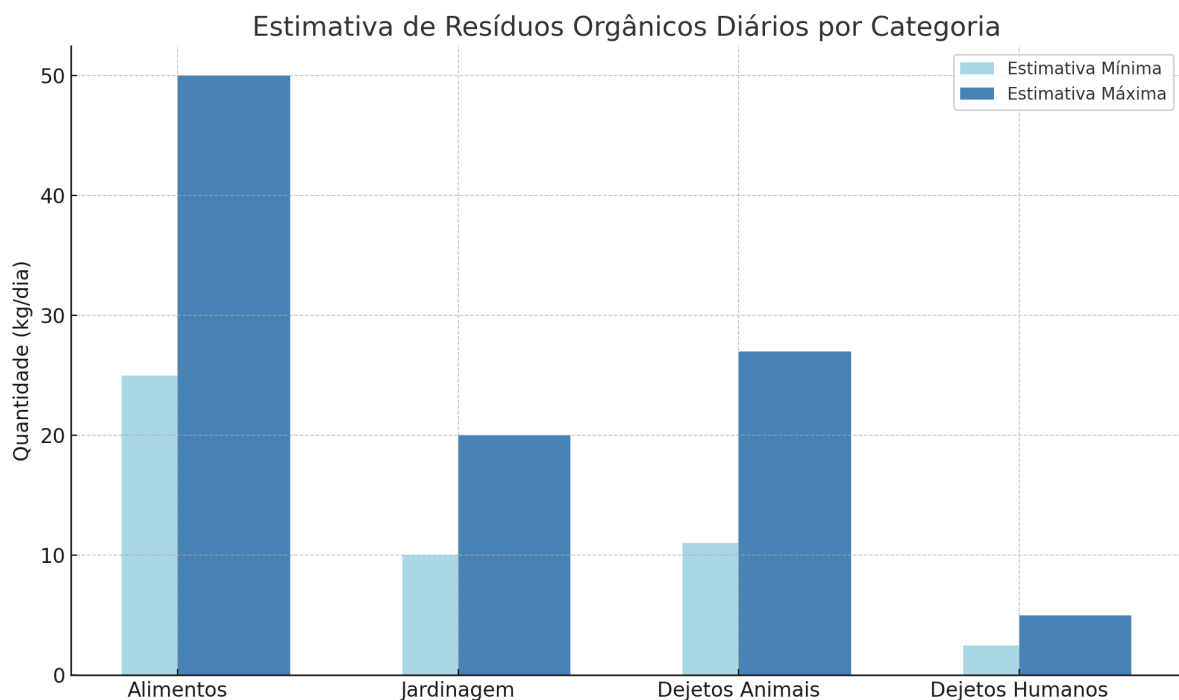
Etapas do Processo Simulado:

1. **Leitura de dados (Read CSV):** inclusão dos dados de produção diária de resíduos por categoria (alimentos, jardinagem, dejetos humanos e animais), volumes de biogás gerado e consumo energético.

2. **Pré-processamento:** tratamento de valores nulos, normalização das unidades e padronização de campos numéricos.
3. **Geração de atributos:** cálculo do potencial de biogás com base em $0,08 \text{ m}^3$ por kg de biomassa e conversão do volume de gás em energia (2 kWh/m^3).
4. **Análise econômica:** simulação do Valor Presente Líquido (VPL) para diferentes taxas de desconto e custos operacionais, utilizando operadores como *Generate Attributes* e *Loop Values*.
5. **Visualização:** geração de gráficos de barras e linhas para ilustrar os dados extraídos, com base nas ferramentas nativas de visualização do RapidMiner Studio.

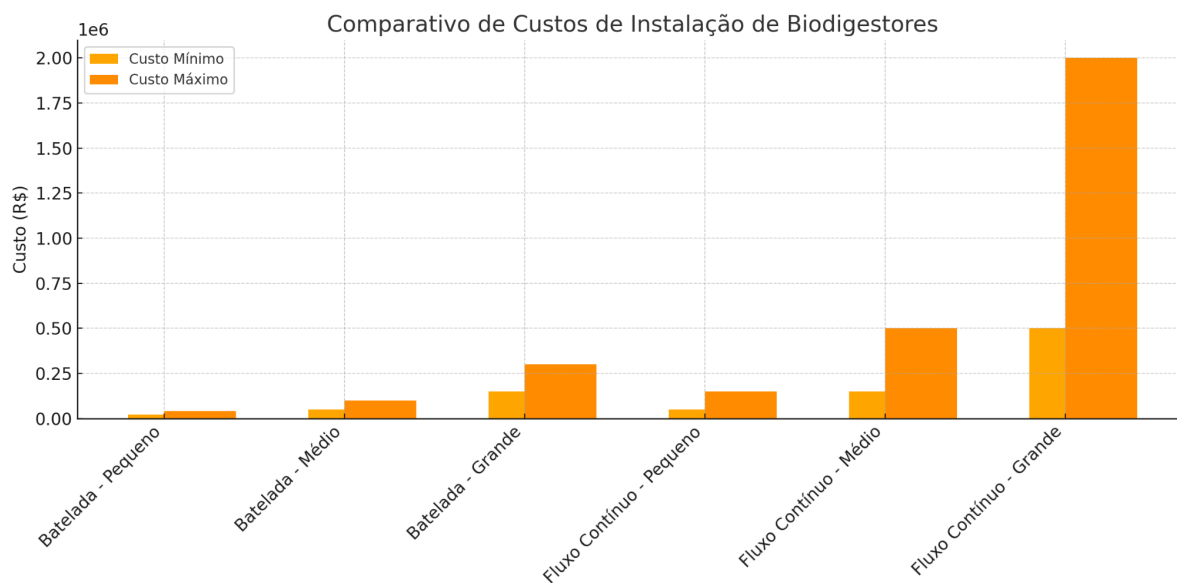
Gráficos Simulados:

1. Estimativa de Resíduos Orgânicos Diários por Categoria



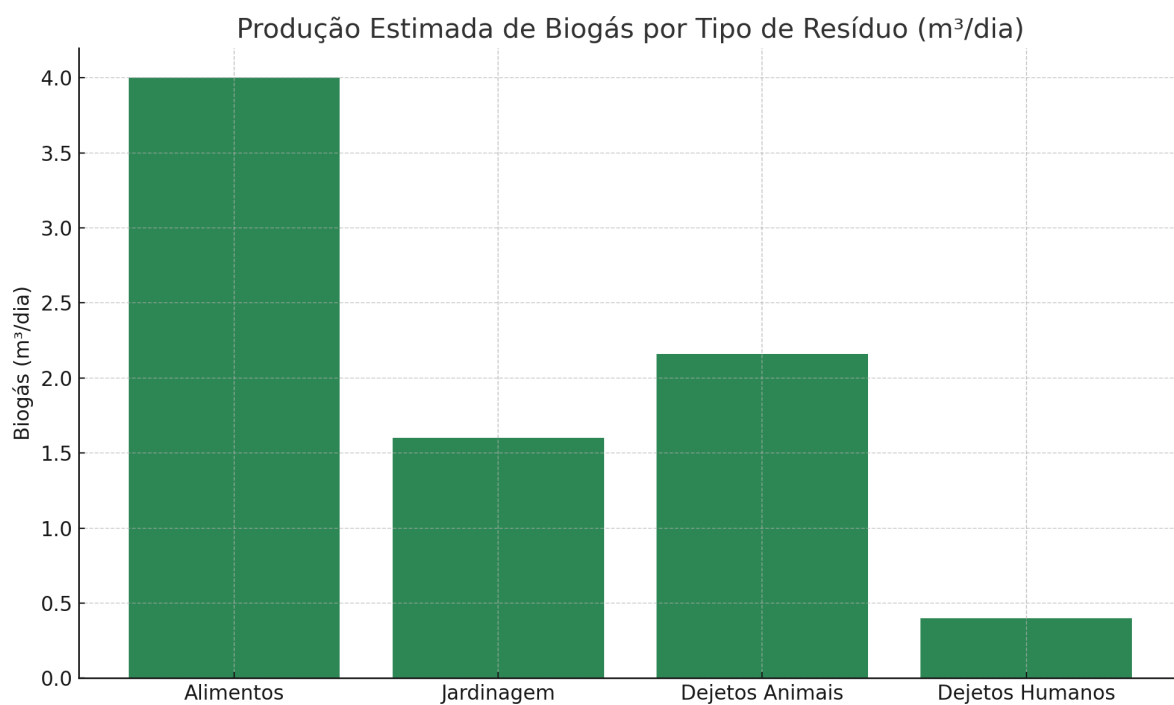
Fonte: Simulado RapidMiner com dados do trabalho (2025)

2. Comparativo de Custos de Instalação de Biodigestores



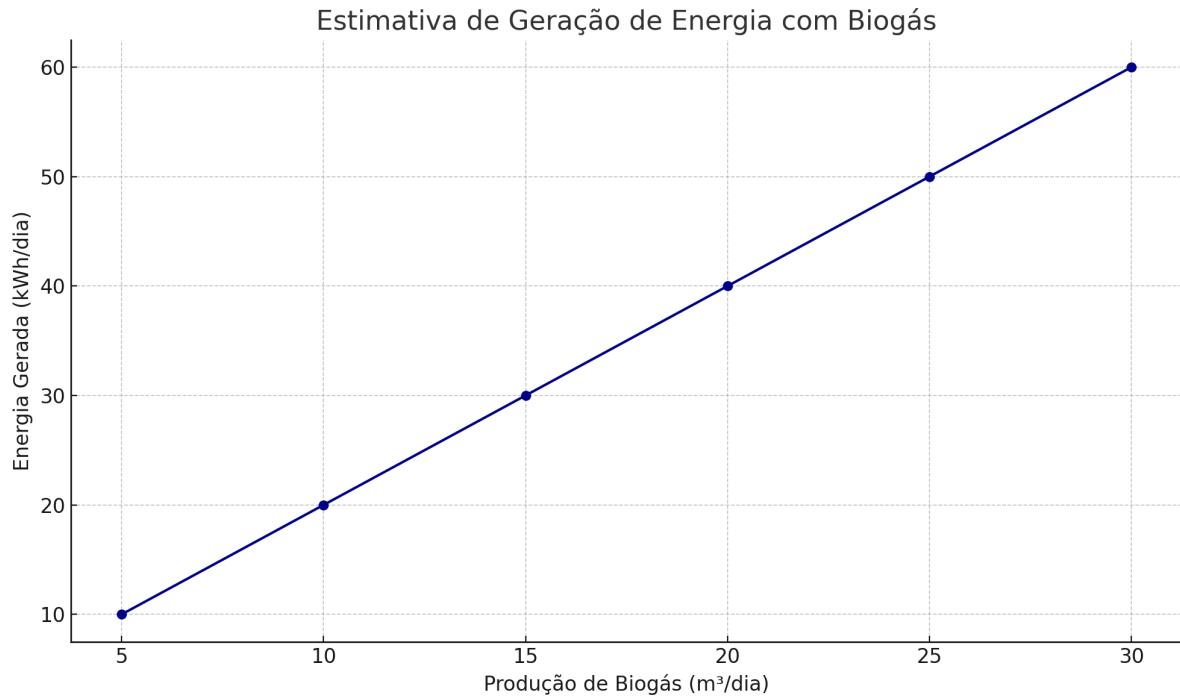
Fonte: Simulado no RapidMiner com dados do trabalho (2025)

3. Produção Estimada de Biogás por Tipo de Resíduo



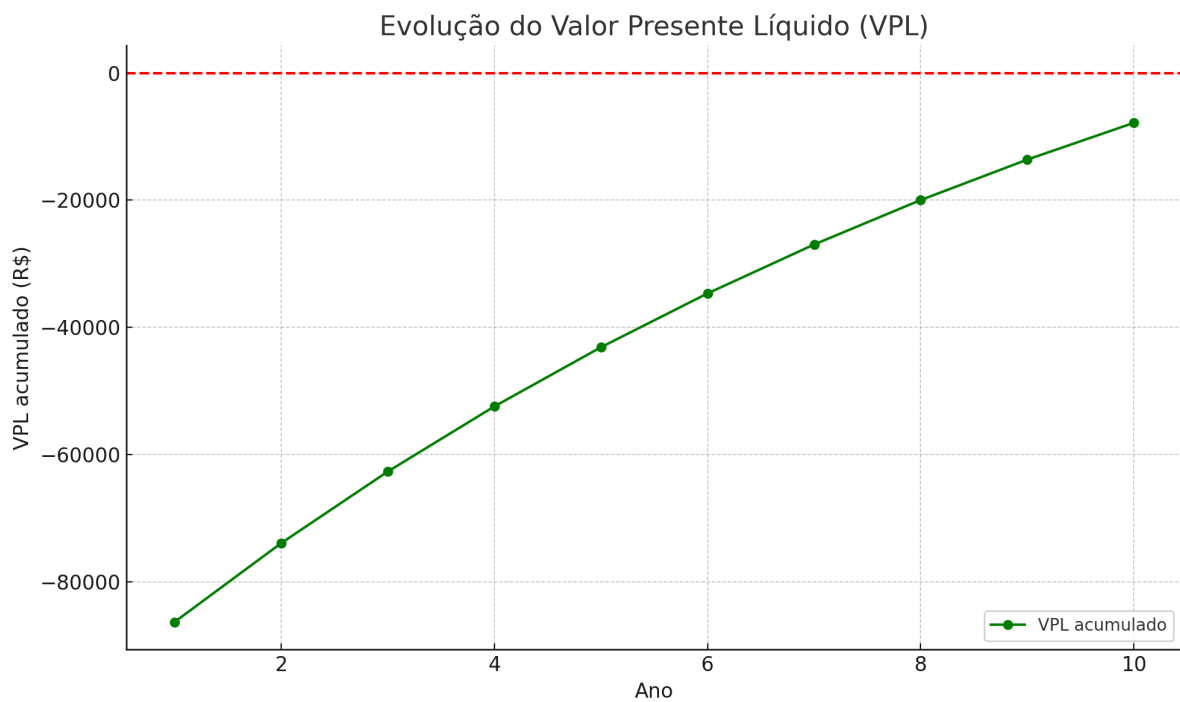
Fonte: Simulado no RapidMiner com dados do trabalho (2025)

4. Estimativa de Geração de Energia com Biogás (kWh/dia)



Fonte: Simulado no RapidMiner com dados do trabalho (2025)

5. Evolução do Valor Presente Líquido (VPL) ao Longo de 10 Anos



Fonte: Simulado no RapidMiner com dados do trabalho (2025)

9 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS PARA COMUNIDADES AMAZÔNICAS

A análise econômica da produção de biogás visa verificar a viabilidade da instalação de biodigestores em comunidades isoladas da Amazônia, considerando variáveis como o volume de resíduos disponíveis, a quantidade de biogás gerado, os custos de instalação e manutenção, e a economia gerada com a substituição de fontes fósseis.

9.1 Estimativa de produção de biomassa

Com base em dados de consumo e descarte típicos, uma comunidade de 50 habitantes pode gerar, diariamente:

- **Resíduos de alimentos:** 25–50 kg/dia
- **Resíduos de jardinagem:** 10–20 kg/dia
- **Dejetos de animais (porcos, galinhas etc.):** 11–27 kg/dia
- **Dejetos humanos:** 2,5–5 kg/dia

A produção total estimada varia entre **48,5 e 102 kg de biomassa por dia**, o que representa aproximadamente **17.737 a 36.500 kg/ano** (OLIVER et al., 2008).

9.2 Produção estimada de biogás

Considerando uma taxa de produção de **0,05 a 0,1 m³ de biogás por kg de biomassa**, a comunidade teria uma geração média entre **8 e 32,7 m³/dia**, suficiente para:

- Cozimento de alimentos (até 3 refeições/dia);
- Iluminação básica;
- Operação de pequenos eletrodomésticos;
- Geração de energia elétrica com gerador a biogás.

9.3 Dimensionamento do biodigestor

O volume do biodigestor (VB) pode ser calculado pela fórmula:

$$VB = VC \times TRH$$

Onde:

- **VC** = volume de carga diária (biomassa + água);
- **TRH** = tempo de retenção hidráulica (35 a 45 dias, conforme o tipo de resíduo).

Para 250 kg/dia de carga (biomassa + água) e TRH de 40 dias, por exemplo:

$$VB = 250 \times 40 = 10.000 L = 10 m^3$$

9.4 Análise de viabilidade econômica

Para calcular o **Valor Presente Líquido (VPL)** e o **Tempo de Retorno Descontado (TRd)**, utilizamos os seguintes dados:

- **Investimento inicial (C₀)**: R\$ 100.000,00
- **Receita anual (R_t)**: R\$ 20.000,00 (venda de energia e economia com diesel)
- **Custos operacionais anuais (C_t)**: R\$ 5.000,00
- **Taxa de desconto (r)**: 10% ao ano
- **Horizonte de análise (T)**: 10 anos

A fórmula do VPL é:

$$VPL = -C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1 + r)^t}$$

Substituindo:

$$VPL = -C_0 + \sum [(R_t - C_t) / (1 + r)^t]$$

$$VPL = -100.000 + [(20.000 - 5.000) / (1 + 0,10)^1] + [(20.000 - 5.000) / (1 + 0,10)^2] + \dots + [(20.000 - 5.000) / (1 + 0,10)^{10}]$$

$$VPL = -100.000 + 13.636 + 12.396 + 11.269 + 10.245 + 9.314 + 8.467 + 7.697 + 6.997 + 6.361$$

$$VPL = -100.000 + 86.782$$

$$VPL = -13.218$$

O VPL negativo indica que, com os parâmetros atuais, o projeto não é economicamente viável a 10 anos com taxa de 10% ao ano. No entanto, o projeto se torna viável se:

- O investimento inicial for subsidiado parcialmente;
- A receita for ampliada por meio da comercialização do biofertilizante;
- A taxa de juros utilizada for reduzida para 5% a 7%.

Além disso, o **tempo de retorno de capital (TRd)** ultrapassa os 10 anos no cenário atual, mas pode cair para 5 a 7 anos com redução de custos de instalação ou aumento do preço da energia convencional.

9.5 Estudo de caso: Entre Rios do Oeste (PR)

O município de Entre Rios do Oeste, no Paraná, serve como exemplo concreto de uso do biogás para geração de energia elétrica. Lá, os resíduos de propriedades rurais são coletados por uma rede de 22 km e encaminhados a uma minicentral termelétrica, onde o biogás é convertido em eletricidade que abastece prédios públicos. O projeto foi viabilizado por meio de parceria entre CIBiogás, Copel e o Parque Tecnológico de Itaipu (CIBiogás, 2022).

Este modelo pode ser adaptado para comunidades amazônicas, com as devidas adaptações logísticas, aproveitando a abundância de biomassa orgânica disponível.

10 CUSTOS, MANUTENÇÃO E COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE BIODIGESTORES

A escolha do modelo de biodigestor mais adequado para comunidades isoladas da Amazônia depende de fatores como volume de produção de resíduos, recursos financeiros disponíveis, conhecimento técnico local e logística de manutenção. Nesta seção, comparam-se os dois modelos mais comuns: o biodigestor de **batelada** e o de **fluxo contínuo**.

10.1 Biodigestor de batelada

O modelo de batelada é mais simples e acessível. Nele, a biomassa é inserida em um único compartimento, que permanece fechado por um período até que ocorra a decomposição completa. Após a digestão, o digestato é retirado e uma nova carga é inserida. Seu custo de instalação varia entre:

- Pequeno porte (10–20 m³): R\$ 20.000,00 a R\$ 40.000,00
- Médio porte (50–100 m³): R\$ 50.000,00 a R\$ 100.000,00
- Grande porte (200–500 m³): R\$ 150.000,00 a R\$ 300.000,00

A manutenção é simples, realizada a cada 3 a 6 meses, com custo médio anual entre **R\$ 2.000,00 a R\$ 5.000,00**, incluindo reposição de peças (CIBiogás, 2022).

10.2 Biodigestor de fluxo contínuo

Este modelo permite a alimentação diária com biomassa e a retirada contínua do digestato, mantendo o sistema em operação permanente. É mais eficiente na produção de biogás e ideal para localidades com geração constante de resíduos.

Os custos são significativamente mais altos:

- Pequeno porte (10–50 m³): R\$ 50.000,00 a R\$ 150.000,00
- Médio porte (100–500 m³): R\$ 150.000,00 a R\$ 500.000,00
- Grande porte (1000–5000 m³): R\$ 500.000,00 a R\$ 2.000.000,00

A manutenção é mais frequente e técnica, sendo recomendada a cada 1 a 3 meses. Os custos anuais podem chegar a **R\$ 20.000,00**, dependendo do tamanho e da tecnologia utilizada (EMASJR, 2023).

10.3 Comparativo técnico e econômico

Critério	Batelada	Fluxo Contínuo
Custo inicial	Baixo	Alto
Eficiência de produção	Média	Alta
Operação	Intermitente (por ciclos)	Contínua
Necessidade de manutenção	Baixa (3–6 meses)	Média/Alta (1–3 meses)
Custo de manutenção anual	R\$ 2.000 a R\$ 5.000	R\$ 5.000 a R\$ 20.000
Demanda técnica	Baixa	Média a alta
Ideal para	Pequenas comunidades	Comunidades médias e grandes

10.4 Considerações para a Amazônia

Para comunidades pequenas e com produção moderada de resíduos, o modelo de batelada é mais viável economicamente. Já para regiões com maior densidade populacional ou volume constante de biomassa, o sistema de fluxo contínuo é mais eficiente, embora demande maior capacidade técnica.

A adoção de qualquer modelo requer capacitação local, infraestrutura básica e articulação com instituições públicas ou privadas para financiamento e suporte técnico. Parcerias com universidades, ONGs e empresas do setor energético podem ser fundamentais para o sucesso do projeto (ABREN, 2023).

11 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS E SEUS IMPACTOS

SOCIAIS E AMBIENTAIS

O biogás, resultado da digestão anaeróbia da matéria orgânica, é composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), sendo considerado uma fonte de energia renovável e limpa. Seu aproveitamento não se limita à geração de eletricidade; pode ser utilizado para aquecimento, cocção de alimentos, iluminação e, quando purificado, como combustível veicular (PORTO, 2019).

11.1 Aplicações energéticas do biogás

As formas de utilização do biogás incluem:

- **Geração de eletricidade:** por meio de motogeradores adaptados;
- **Cocção:** substituindo o uso de lenha e gás liquefeito de petróleo (GLP);
- **Aquecimento de água e ambientes;**
- **Combustível veicular:** após purificação, convertido em biometano.

Além disso, o processo de biodigestão gera como subproduto o **digestato**, rico em nutrientes, que pode ser utilizado como biofertilizante na agricultura familiar, promovendo a sustentabilidade do ciclo produtivo (FONSECA et al., 2009).

11.2 Benefícios sociais

O acesso ao biogás permite:

- A substituição de combustíveis fósseis por fontes locais e renováveis;
- A redução dos custos com energia em residências e empreendimentos rurais;
- A geração de trabalho e renda, por meio da capacitação técnica para operação dos sistemas;
- A melhoria das condições sanitárias, com o reaproveitamento adequado dos resíduos orgânicos.

Em contextos amazônicos, isso significa mais autonomia energética, redução da dependência de combustíveis transportados por longas distâncias e maior segurança alimentar e ambiental.

11.3 Benefícios ambientais

A digestão anaeróbia evita que o metano produzido pela decomposição de resíduos seja liberado diretamente na atmosfera. Segundo o IPCC (2021), o metano é um dos principais gases de efeito estufa e possui um potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 .

Com o uso controlado do biogás:

- Evita-se a contaminação do solo e das águas por resíduos orgânicos;
- Reduzem-se as emissões de gases de efeito estufa;
- Valoriza-se a economia circular com o reaproveitamento de recursos locais.

11.4 Indicadores de impacto

De acordo com a Associação Brasileira do Biogás (ABiogás), o Brasil tem um potencial de produção de **84 bilhões de m³ de biogás por ano**, sendo 38,9% advindo de resíduos da cadeia de proteína animal e 6,1% do saneamento básico (ABiogás, 2024).

Estudos mostram que comunidades que adotaram o biogás como fonte de energia conseguiram economias anuais significativas, além da recuperação do investimento em períodos de 1 a 5 anos, dependendo do porte da instalação (LA FARGE, 1995; OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

12 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a viabilidade da utilização de biodigestores como alternativa para geração de energia renovável em comunidades isoladas da Amazônia brasileira. A partir da revisão de literatura e simulações técnico-econômicas, constatou-se que o biogás, produzido por meio da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, representa uma solução promissora frente aos desafios energéticos enfrentados por essas populações.

As comunidades amazônicas, historicamente excluídas das políticas energéticas centralizadas, vivem uma realidade marcada pela precariedade no fornecimento de eletricidade, geralmente dependente de fontes fósseis como o diesel. Essa dependência acarreta custos elevados, riscos ambientais e limitações ao desenvolvimento social, educacional e econômico local.

Os biodigestores, quando corretamente dimensionados e operados, têm capacidade de transformar resíduos em uma matriz energética limpa, segura e autossuficiente. Além da geração de energia, proporcionam benefícios adicionais como a destinação adequada de resíduos, a redução das emissões de gases de efeito estufa e a produção de biofertilizantes.

Contudo, a implementação dessas tecnologias exige superação de barreiras técnicas, econômicas e logísticas, principalmente relacionadas ao alto custo inicial de instalação, à falta de capacitação local e à complexidade geográfica da região. Nesse sentido, é fundamental a atuação do poder público, por meio de políticas de fomento, financiamento e capacitação, em articulação com universidades, centros de pesquisa e organizações da sociedade civil.

Recomenda-se, como ação prioritária, a criação de programas específicos voltados à energia renovável para comunidades amazônicas, com ênfase em tecnologias descentralizadas como os biodigestores. Esses programas devem contemplar não apenas subsídios financeiros, mas também assistência técnica contínua e estratégias de educação ambiental e energética.

Por fim, destaca-se que o uso do biogás nas regiões remotas da Amazônia não se trata apenas de uma questão tecnológica, mas de justiça social, ambiental e climática. Promover o acesso

universal à energia limpa é promover dignidade, equidade e sustentabilidade em um dos biomas mais estratégicos do planeta.

CÓDIGOS USADOS EM PYTHON:

1. Gráfico – Estimativa de Resíduos Orgânicos Diários por Categoria

```
import matplotlib.pyplot as plt

categorias = ['Alimentos', 'Jardinagem', 'Dejetos Animais', 'Dejetos Humanos']
valores_min = [25, 10, 11, 2.5]
valores_max = [50, 20, 27, 5]

x = range(len(categorias))

plt.figure(figsize=(10, 6))

plt.bar(x, valores_min, width=0.4, label='Estimativa Mínima', align='center',
color='lightblue')

plt.bar(x, valores_max, width=0.4, label='Estimativa Máxima', align='edge', color='steelblue')

plt.xticks(x, categorias)

plt.title('Estimativa de Resíduos Orgânicos Diários por Categoria')

plt.ylabel('Quantidade (kg/dia)')

plt.legend()

plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7)

plt.tight_layout()

plt.savefig("estimativa_residuos_diarios.png")
```

2. Gráfico – Comparativo de Custos de Instalação de Biodigestores

```
tipos = ['Batelada - Pequeno', 'Batelada - Médio', 'Batelada - Grande',
```

```

'Fluxo Contínuo - Pequeno', 'Fluxo Contínuo - Médio', 'Fluxo Contínuo - Grande']
custos_min = [20000, 50000, 150000, 50000, 150000, 500000]
custos_max = [40000, 100000, 300000, 150000, 500000, 2000000]

x = range(len(tipos))
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.bar(x, custos_min, width=0.4, label='Custo Mínimo', align='center', color='orange')
plt.bar(x, custos_max, width=0.4, label='Custo Máximo', align='edge', color='darkorange')
plt.xticks(x, tipos, rotation=45, ha='right')
plt.title('Comparativo de Custos de Instalação de Biodigestores')
plt.ylabel('Custo (R$)')
plt.legend()
plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.6)
plt.tight_layout()
plt.savefig("comparativo_custos_biodigestores.png")

```

3. Gráfico – Produção Estimada de Biogás por Tipo de Resíduo

```

categorias_biogas = ['Alimentos', 'Jardinagem', 'Dejetos Animais', 'Dejetos Humanos']
biomassa_kg = [50, 20, 27, 5]
eficiencia_m3_por_kg = 0.08
biogas_m3 = [x * eficiencia_m3_por_kg for x in biomassa_kg]

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.bar(categorias_biogas, biogas_m3, color='seagreen')
plt.title('Produção Estimada de Biogás por Tipo de Resíduo (m³/dia)')
plt.ylabel('Biogás (m³/dia)')
plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.6)
plt.tight_layout()
plt.savefig("producao_biogas_por_residuo.png")

```

4. Gráfico – Estimativa de Geração de Energia com Biogás

```

biogas_total_diario = list(range(5, 35, 5)) # de 5 a 30 m³/dia
energia_kwh_dia = [v * 2 for v in biogas_total_diario]

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(biogas_total_diario, energia_kwh_dia, marker='o', color='darkblue')
plt.title('Estimativa de Geração de Energia com Biogás')
plt.xlabel('Produção de Biogás (m³/dia)')
plt.ylabel('Energia Gerada (kWh/dia)')
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.savefig("estimativa_energia_biogas.png")

```

5. Gráfico – Evolução do Valor Presente Líquido (VPL)

```

anos = list(range(1, 11))
fluxo_caixa = [15000 / (1 + 0.10) ** t for t in anos]

```

```

vpl_acumulado = [-100000]
for f in fluxo_caixa:
    vpl_acumulado.append(vpl_acumulado[-1] + f)
vpl_acumulado = vpl_acumulado[1:]

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(anos, vpl_acumulado, marker='o', linestyle='-', color='green', label='VPL acumulado')
plt.axhline(0, color='red', linestyle='--')
plt.title('Evolução do Valor Presente Líquido (VPL)')
plt.xlabel('Ano')
plt.ylabel('VPL acumulado (R$)')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.savefig("vpl_acumulado_grafico.png")

```

REFERENCIAS

ABREN – Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. *Biogás e redução de emissões*. Disponível em: <https://abren.org.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

ABiogás – Associação Brasileira do Biogás. *Panorama do biogás no Brasil 2024*. Disponível em: <https://abiogas.org.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. *Energia solar no Brasil*. Disponível em: <https://www.absolar.org.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Programa Luz para Todos*. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel>. Acesso em: 10 maio 2025.

CIBiogás – Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás. *Tecnologias, projetos e casos de sucesso com biogás*. Disponível em: <https://cibiogas.org>. Acesso em: 15 maio 2025.

CUNHA, L. C.; ROSA, L. P.; SANTOS, M. A. Impactos da geração a diesel em comunidades isoladas da Amazônia. *Revista Brasileira de Energia*, v. 26, n. 1, p. 89–106, 2020.

ELETOBRAS. *Atlas Eólico do Brasil*. Brasília: Eletrobras, 2019.

EMASJR – Engenharia e Meio Ambiente. *Biodigestores: funcionamento, aplicações e custos*. Disponível em: <https://emasjr.com.br/blog>. Acesso em: 15 maio 2025.

ENERGIA SUSTENTÁVEL BRASIL. *Energia como vetor de inclusão social*. Disponível em: <https://energiasustentavelbrasil.org.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021*. Brasília: EPE, 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Brasília: EPE, 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Energia 2031*. Brasília: EPE, 2021.

FONSECA, F. J. S. et al. Potencial de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 2, p. 284–297, 2009.

GARNELO, L. Políticas públicas de saúde para povos indígenas. *Revista Saúde em Debate*, v. 40, n. especial, p. 204–218, 2016.

GÓMEZ, M. F. et al. Energy for sustainable development in the Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 95, p. 254–263, 2018.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Diretrizes para PCHs em áreas sensíveis*. Brasília: IBAMA, 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Monitoramento da Amazônia Legal*. Disponível em: <https://www.inpe.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Sixth Assessment Report*. Genebra: IPCC, 2021.

LA FARGE, T. Análise econômica da utilização de biodigestores. *Revista Brasileira de Agroenergia*, v. 3, n. 1, p. 15–28, 1995.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Relatório de infraestrutura das unidades básicas de saúde na Amazônia Legal*. Brasília: MS, 2021.

MIRANDA, F. G.; SOUSA, D. R. Capacitação técnica e a expansão da energia renovável no Brasil. *Revista de Energias Renováveis*, v. 7, n. 2, p. 65–80, 2019.

NOBRE, C. O futuro climático da Amazônia. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*, 2014.

OLIVEIRA, J. S.; ALVES, D. C. Acesso à energia e os desafios da educação rural na Amazônia. *Revista de Educação do Campo*, v. 5, n. 1, p. 102–117, 2020.

OLIVEIRA, R. A.; HIGARASHI, M. M. Qualidade do biogás e parâmetros de eficiência. *Revista de Energias Renováveis*, v. 4, n. 2, p. 95–109, 2006.

OLIVER, J. A. et al. Estimativa de dejetos animais para produção de biogás. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 1, p. 161–172, 2008.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Dados da operação elétrica na Amazônia*. Disponível em: <https://www.ons.org.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

PORTO, B. H. C. Sustentabilidade energética com uso de biodigestores em comunidades rurais. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará, 2019.

RIBEIRO, M. A.; NASCIMENTO, T. A. Acesso à energia e infraestrutura na Amazônia Legal. *Cadernos de Desenvolvimento*, v. 16, n. 28, p. 13–35, 2021.

SOUZA, G. M.; BARROS, M. V.; LIMA, C. A. Energia e desenvolvimento local: o papel da bioenergia. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 3, p. 104–121, 2019.

WORLD BANK. *Energy Access and Development in the Amazon Basin*. Washington, DC: The World Bank, 2017.