ALEX LUIZ SAGULA

USINA DE BIOGÁS DA FCAV-UNESP

Relatório de Pós-doutorado realizado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e VeterináriaS - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal.

Supervisor(a): Prof. Dr. Gustavo Vitti Moro

Nº do Processo: 6452

Jaboticabal-SP

2026

Relatório de atividade de manutenção do biodigestor e de suas instalações

ATIVIDADES TÉCNICAS

Durante o período de 2025 a 2026, o bolsista do projeto, Dr. Alex Luiz Sagula, realizou as seguintes atividades:

- Solução diária de pequenos problemas surgidos durante o desenvolvimento do projeto, sobretudo aqueles relacionados à manutenção e ao funcionamento do biodigestor.

- Auxílio na coleta de esterco no setor de avicultura, sob a coordenação do Prof. Dr. Edney Pereira da Silva. Com o auxílio de seus orientados, todo o esterco era raspado, colocado na carreta e transportado até o biodigestor, onde era descarregado no tanque de agitação. Em seguida, era realizada a limpeza da carreta.

- Abastecimento diário do biodigestor e coleta de dejetos nas diferentes dependências da FCAV, duas vezes por semana.

- Limpeza semanal dos sólidos acumulados na caixa de areia.

- Limpeza do separador de sólidos.

- Roçagem das áreas próximas ao biodigestor, com o objetivo de evitar que pedras fossem arremessadas contra o equipamento, além da capina realizada ao seu redor.

ATIVIDADES ACADÊMICAS

- Participação no evento “Workshop: Desenvolvimento de Negócios em Biogás e Biometano”, realizado pela ABiogás e pela InvestSP, em São Paulo, no dia 13 de maio de 2026. Durante o evento, foi possível estabelecer contato com a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, que possui um departamento voltado ao biogás e ao biometano.

- Participação no I Fórum de Biogás e Bioprodutos — Encontro da Cadeia de Biogás e Bioprodutos do Estado de São Paulo, realizado no dia 28 de maio de 2026, no Centro de Convenções da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em Campinas, SP.

- Participação na feira de agronegócios Fenasucro & Agrocana, incluindo a palestra de lançamento do livro *Resíduos Sólidos Urbanos e Vinhaça*, que tem entre seus autores o Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior. Também foram visitadas empresas relacionadas aos setores de biogás e energias renováveis.

Credenciais dos eventos











Certificado



Fotos da palestra do Prof. Dr. Jorge de Lucas Jr.



Fostos do workshop desenvolvimento de negócios em Biogás e Biomentano





Fotos do evento I Fórum de Biogás e Bioprodutos





I FÓRUM PAULISTA
DE BIOGÁS E BIOPRODUTOS

CP2b
SÃO PAULO CENTER FOR BIOGAS AND BIOPRODUCTS STUDIES

Campinas, 28 de Maio de 2026

CERTIFICADO
DE PARTICIPAÇÃO

Certificamos que:

ALEX LUIZ SAGULA

Participou do I Fórum Paulista de Biogás e Bioprodutos – Encontro da Cadeia de Biogás e Bioprodutos do estado de São Paulo, realizado em 28 de maio de 2026, no Centro de Convenções da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas/SP.

Dra. Bruna de Souza Moraes

Dra. Renata Piacentini Rodriguez

Certification by Galoá

TESTE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

No período de 20 de janeiro a 20 de maio de 2026, foi realizado um teste de produção de biogás utilizando resíduo de sementes de urucum beneficiadas. Foram utilizados resíduos de sementes de urucum em conjunto com biofertilizante, em doze biodigestores de bancada operados em batelada. As sementes foram fornecidas pela empresa ColorAll, localizada no município de Matão, SP.

INTRODUÇÃO

O urucum (*Bixa orellana* L.) é uma espécie originária da América Tropical, amplamente cultivada e industrializada devido à presença de pigmentos naturais, principalmente a bixina e a norbixina, empregados nos setores alimentício, farmacêutico, cosmético e têxtil. O beneficiamento das sementes envolve operações de secagem, moagem, atrito e extração de pigmentos, realizadas com óleo vegetal, água ou soluções alcalinas. Como consequência, são gerados resíduos sólidos constituídos por sementes parcialmente descoloridas, cascas, material fibroso e frações remanescentes do processo de extração.

Machado e Perazzini (2023) destacam que o beneficiamento do urucum produz uma quantidade elevada de resíduos e que ainda são escassos os estudos voltados à valorização energética desse material, especialmente quando comparado a outras biomassas agroindustriais. Além disso, estudos sobre o farelo residual confirmam que esse subproduto é gerado após a extração da bixina e permanece rico em compostos orgânicos, podendo ser considerado uma biomassa residual de interesse para processos de conversão.

Os resíduos do beneficiamento do urucum apresentam características físico-químicas compatíveis com o aproveitamento energético. No estudo utilizado como base, Machado e Perazzini (2023) determinaram umidade de aproximadamente 9,0% para a semente e 8,8% para a casca; massas específicas médias de 0,7 e 0,6 g/cm³, respectivamente; teores de cinzas de 1,93% para a semente e 4,31% para a casca; teores de materiais voláteis de 80,93% e 74,91%; e teores de carbono fixo de 7,1% e 12,0%.

Esses resultados foram interpretados pelos autores como indicativos de potencial para a produção de bioenergia, sobretudo em processos termoquímicos, uma vez que a baixa umidade favorece o armazenamento, o elevado teor de materiais voláteis facilita a ignição e os baixos teores de cinzas reduzem a formação de resíduos minerais durante a combustão.

Entretanto, essas propriedades não devem ser interpretadas diretamente como comprovação da produção de biogás, pois a digestão anaeróbia depende de parâmetros adicionais, como sólidos totais e voláteis, demanda química de oxigênio, relação carbono/nitrogênio, concentração de lignina, celulose e hemicelulose, pH e presença de compostos potencialmente inibidores.

Dados da literatura sobre subprodutos da semente de urucum indicam aproximadamente 41–42% de carboidratos, 13–14% de proteínas, 2–5% de lipídeos e 5–6% de cinzas, embora a composição varie conforme a cultivar, o método de extração e o grau de desidratação. A presença de matéria orgânica e frações lignocelulósicas sugere que o resíduo pode ser investigado como substrato ou co-substrato em biodigestores; contudo, a estrutura lignocelulósica pode limitar a hidrólise, justificando a avaliação de pré-tratamentos (como redução granulométrica) ou co-digestão com resíduos de maior biodegradabilidade.

Apesar desse potencial, não foram localizados, nas buscas realizadas em bases de dados nacionais e internacionais, artigos científicos que avaliem diretamente a produção de biogás ou metano a partir do resíduo do beneficiamento do urucum por digestão anaeróbia isolada ou em co-digestão. A literatura identificada sobre *Bixa orellana* L. concentra-se na caracterização nutricional do farelo residual, na alimentação animal, na extração de compostos bioativos, na biossorção e na conversão termoquímica (como a produção de *hydrochar* por carbonização hidrotérmica).

Essa ausência de trabalhos pode estar associada ao fato de que a cadeia produtiva do urucum historicamente direcionou seus resíduos para aplicações na alimentação animal e, mais recentemente, para combustão, pirólise e adsorção. Por sua vez, a digestão anaeróbia exige caracterização específica e ensaios experimentais de biodegradabilidade. Além disso, a natureza fibrosa do resíduo e a possível presença de pigmentos, compostos fenólicos ou resíduos do processo de extração podem influenciar a hidrólise e a atividade dos microrganismos anaeróbios. Dessa forma, a escassez de dados evidencia uma lacuna científica e tecnológica que justifica a investigação desse resíduo para produção de biogás (ensaios de potencial bioquímico de metano, co-digestão, análise cinética e avaliação do digestato).

A co-digestão consiste no tratamento simultâneo de dois ou mais substratos orgânicos (ex.: resíduos agrícolas combinados a efluentes ou dejetos ricos em microrganismos), permitindo equilibrar nutrientes e otimizar a digestão anaeróbia (FERNÁNDEZ et al., 2005). Essa técnica apresenta diversas vantagens em relação à digestão isolada, como: aumento da viabilidade econômica das unidades de

tratamento; ganhos de eficiência por efeitos sinérgicos entre os nutrientes; adequação da umidade e diluição de compostos inibitórios, resultando em maior produção de biogás (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

OBJETIVOS

Avaliar a produção de biogás em biodigestores operados em batelada, instalados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp), abastecidos com biofertilizante e resíduos de sementes de urucum beneficiadas.

METODOLOGIAS – DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

Ensaio em Biodigestores de Batelada

O experimento foi conduzido na Usina de Biogás da FCAV-UNESP/Jaboticabal, utilizando 12 biodigestores do tipo batelada, com capacidade para 2,0 L de mistura fermentável.

O delineamento experimental contemplou 3 tratamentos (TR) com 4 repetições cada:

- **TR 1:** Biofertilizante + 3% de semente de urucum
- **TR 2:** Biofertilizante + 5% de semente de urucum
- **TR 3:** Biofertilizante + 10% de semente de urucum

A figura abaixo, representa o modelo de biodigestor, Vista superior, vista frontal e corte de um biodigestor tipo batelada, medidas em mm, (SANTI, 2013).

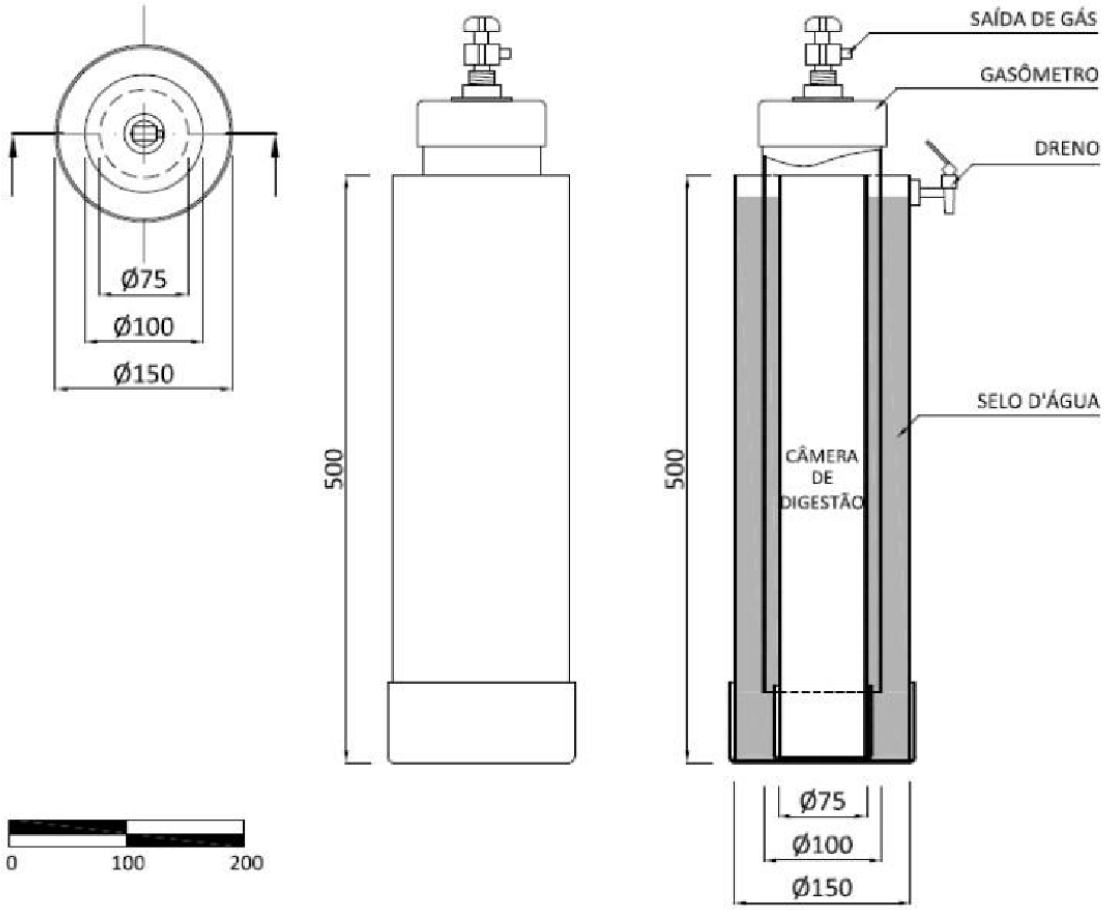


Foto dos biodigestores bateladas



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E MONTAGEM

O estudo foi iniciado em 20/01/2026 e encerrado em 20/05/2026 (121 dias de operação). Na montagem, realizou-se a pesagem individualizada do biofertilizante e da semente de urucum para cada tratamento. Os componentes foram misturados homogeneamente em um recipiente antes do abastecimento dos respetivos biodigestores.

Pesagem biofertilizante



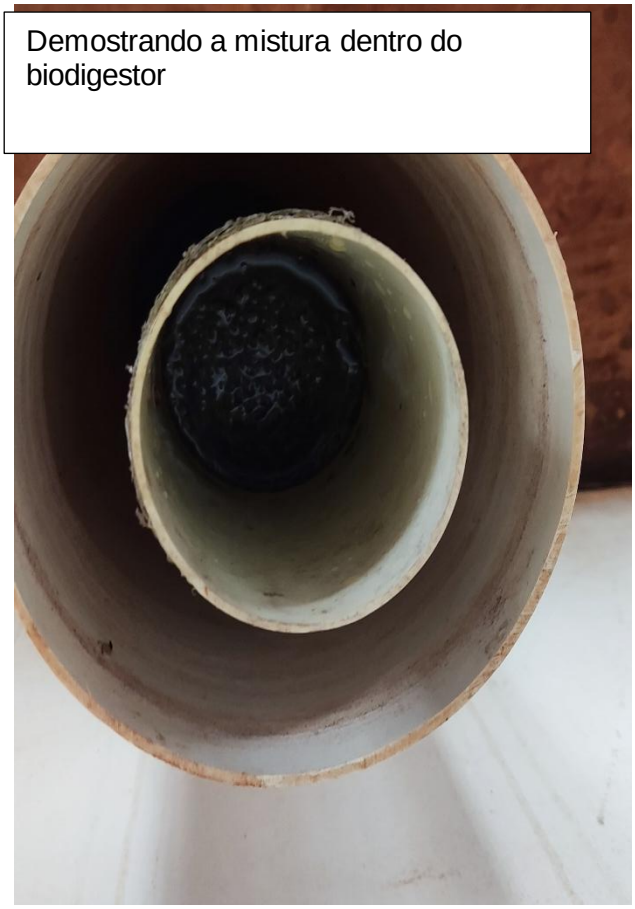
Pesagem da semente



Fazendo a mistura



Demostrando a mistura dentro do biodigestor



CÁLCULO DA PRODUÇÃO E CORREÇÃO DO VOLUME DE BIOGÁS

A leitura do biogás produzido foi realizada com base no deslocamento vertical do gasômetro, medido por meio de régua graduada. O valor lido (altura em m) foi multiplicado pela área da seção transversal interna do gasômetro (0,00785 m2). Após cada medição, efetuava-se o descarte do gás acumulado por meio do registro para zerar o gasômetro.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C (293,15 K) foi realizada com base em Caetano (1985), considerando o fator de compressibilidade (Z) próximo ao de um gás ideal. Utilizou-se a equação resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac (Equação 1):

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} \quad \text{(Eq. 1)}$$

em que:

V0 = volume de biogás corrigido, m^3;

P0 = pressão corrigida do biogás, 10.33 mm de H2O;

T0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V1 = volume do gás no gasômetro;

P1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9673,24 mm de H2O;

T1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9627,24 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 46 mm de água, obtém-se como resultado Equação (2) a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_0 = \frac{V_1}{T_1} \times 274,70 \quad \text{(Eq. 2)}$$

TESTE DE QUEIMA (QUALIDADE DO BIOGÁS)

O teste de queima foi realizado para verificar a presença de metano (CH_4) em concentração suficiente para sustentação de chama. Conectou-se um Bico de Bunsen à saída de gás do gasômetro por meio de uma mangueira flexível.

A primeira leitura e o primeiro teste de queima foram realizados em 27/01/2026 (7 dias após a montagem), ocasião em que não houve ignição da chama, indicando teor reduzido de metano na fase inicial de aclimatação. A ignição sustentada foi observada a partir da segunda leitura (19/02/2026), confirmando a produção de biogás combustível em todos os tratamentos.

Fotos demostrando como é feito o teste de queima, essas fotos já são do experimento com a semente, em que na segunda leitura após 23 dias, todos os tratamentos queimaram.





RESULTADOS E DISCUSSÃO

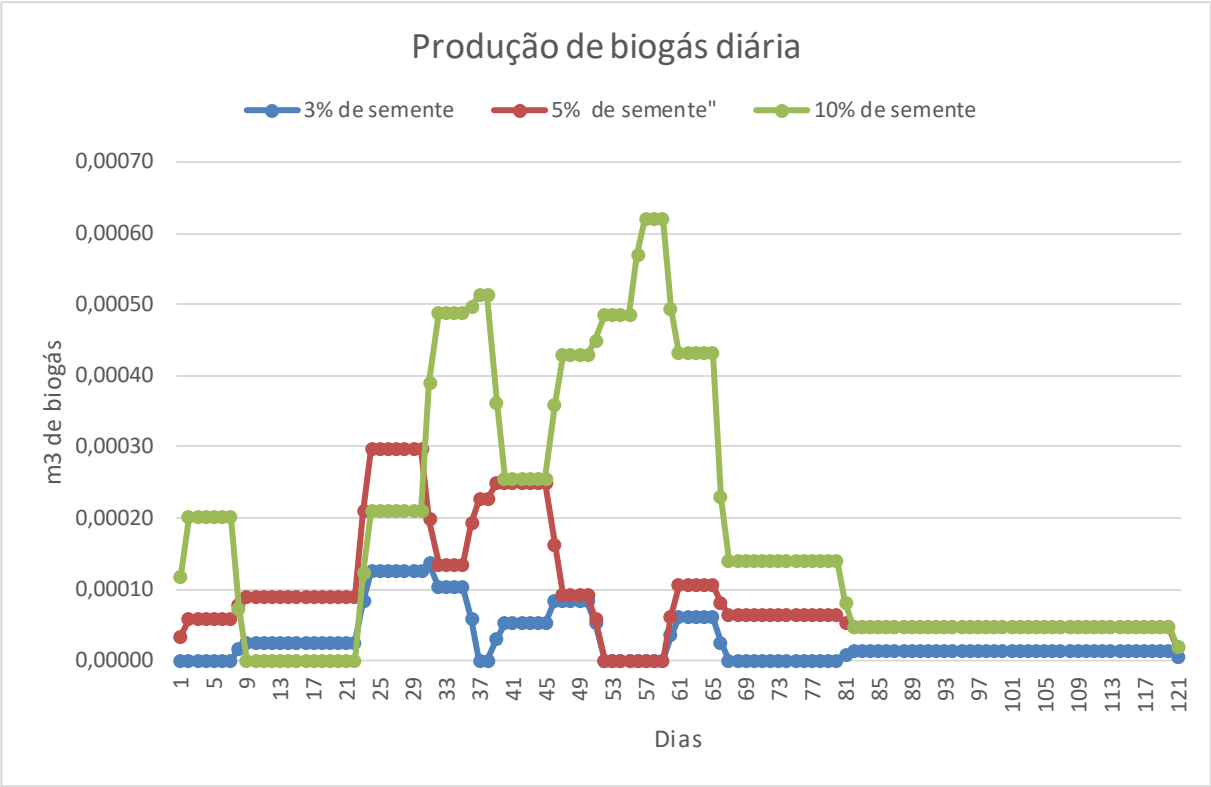
A produção de biogás está diretamente associada ao processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica promovido pelos microrganismos. Os dados demonstraram que todos os tratamentos avaliados (3%, 5% e 10% de adição de semente de urucum) apresentaram potencial para a geração de biogás em co-digestão com o biofertilizante.

No gráfico de produção diária, observa-se que os tratamentos com 5% e 10% de semente atingiram os maiores picos de produção inicial. No 9º dia de operação, o tratamento com 10% apresentou declínio acentuado, com produção próxima a zero até o 21º dia. Em contrapartida, o tratamento com 5% apresentou estabilidade, sem quedas bruscas. Contudo, após o 21º dia, o tratamento com 10% retomou a atividade metanogênica, superando os demais tratamentos em volume diário.

Após 81 dias de operação, observou-se redução gradual acompanhada de estabilização na taxa de produção em todos os tratamentos. Esse comportamento é atribuído ao esgotamento das frações orgânicas biodegradáveis e fibras disponíveis, consumidas pela microbiota metanogênica. O sistema manteve-se com baixíssima atividade até o encerramento do ensaio, aos 121 dias.

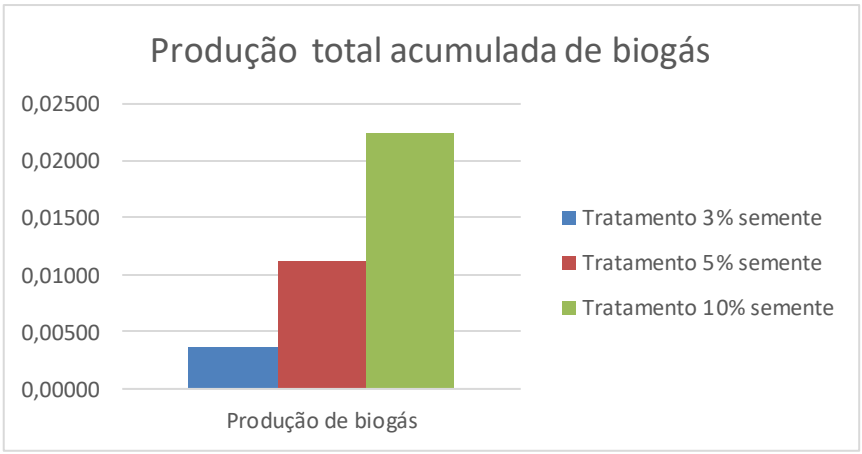
O tratamento TR 3 (10% de semente de urucum) destacou-se com a maior produção ao longo do experimento. Embora sua curva não tenha sido homogênea, apresentou dois picos significativos de produção diária (0,0005 m^3/dia, chegando a 0,0006 m^3/dia no Quinquagésimo sétimo dia).

Gráfico de produção diária em metros cúbicos por dia



Quanto à produção acumulada (produção total), representada no gráfico subsequente, o tratamento com 10% de semente obteve o maior rendimento volumétrico, alcançando cerca de 0,02247 m^3 de biogás. Os resultados reforçam a viabilidade da co-digestão anaeróbia entre resíduos vegetais agroindustriais e biofertilizante como estratégia eficiente para alavancar o rendimento do biogás.

Gráfico mostra a produção total de biogás durante todo o experimento



CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, constata-se a viabilidade técnica da valoração energética do resíduo de urucum por meio da co-digestão anaeróbia, sendo a dosagem de 10% a que promoveu a maior produção acumulada de biogás. Para a consolidação científica do processo, sugere-se a realização de novos ensaios que contemplem a caracterização analítica detalhada dos efluentes, o monitoramento contínuo de ácidos graxos voláteis e a viabilidade econômica em maior escala.

REFERÊNCIAS

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

FERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ, A.; FONT, X. Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. Biochemical Engineering Journal, Amsterdam, v. 26, p. 22-28, 2005.

MATA-ALVAREZ, J. MACE, S e LABRES, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. Anoverview of research achievements and perspectives. Bioresource technology, 74, (1). pp 3-16 2014.

MACHADO, C. D.; PERAZZINI, M. T. B. Investigação da utilização do resíduo de beneficiamento do urucum para bioenergia. Universidade Federal de Itajubá, 2023. Trabalho apresentado em evento científico.

SANTI, Lorenzo. **Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos.** 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.