

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA AGRICULTURA URBANA

AUTORES:

João Fegadolli Nunes da Silva, joaofegadolli@usp.br

Hirdan Katarina de Medeiros Costa, hirdan@usp.br

Edmilson Moutinho dos Santos, edsantos@iee.usp.br

Dalmo S. Amorim Jr, dalmo.amorim@usp.br

Thiago Luis Felipe Brito, thiago.luis.tp@gmail.com

INSTITUIÇÃO:

IEE-USP - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA AGRICULTURA URBANA

Resumo

Este estudo avalia o potencial de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos gerados em hortas urbanas na cidade de São Paulo, visando promover práticas agrícolas sustentáveis e contribuir para a segurança alimentar. A pesquisa envolveu uma revisão bibliográfica sobre a agricultura urbana e a biometanização, e incluiu visitas a três hortas urbanas para coletar dados descritivos e quantitativos. Os resultados indicam que a implementação de biodigestores é tecnicamente viável e economicamente vantajosa, sendo indicada como fonte renovável de energia para efetivar e fortalecer a gestão de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: biodigestor, biogás, horta urbana, resíduos orgânicos

Abstract

In this research, technical and logistical aspects of biomethane production were addressed, as well as the importance of community engagement in promoting sustainable practices. The research involved a bibliographical review on urban agriculture and biometanization, with visits to three urban gardens to collect descriptive and quantitative data. The results indicate that the implementation of biodigesters is technically viable and, under given conditions, economically advantageous, in such a way that the renewable use of energy and effective management of organic waste are established.

Keywords: biodigester, biogas, urban agriculture, organic residue

Introdução

A gestão de resíduos orgânicos é um desafio crescente em grandes cidades, devido ao aumento da produção de lixo. Em São Paulo, uma das maiores metrópoles do Brasil, a problemática é acentuada pela densidade populacional e pela grande geração de resíduos orgânicos (6.300t/dia), frequentemente encaminhados para aterros sanitários. Seu destino inadequado resulta em problemas ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação de solos e águas.

A agricultura urbana surge como potencial solução para enfrentar tais desafios, proporcionando uma forma de reaproveitamento dos resíduos orgânicos e promovendo práticas sustentáveis. As hortas urbanas, ao transformar resíduos em compostos e biofertilizantes, oferecem uma alternativa eficaz para a gestão de resíduos e contribuem para a segurança alimentar e o bem-estar das comunidades urbanas. A biometanização, um processo biológico que converte resíduos orgânicos em biogás e biofertilizantes, tem se mostrado uma tecnologia promissora para a valorização dos resíduos.

Segundo Kunz et al. (2019), os biodigestores anaeróbios são dispositivos que facilitam esse processo, promovendo a decomposição de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio. O biogás produzido pode ser utilizado como uma fonte de energia alternativa, enquanto o digestato pode ser usado como fertilizante, melhorando a fertilidade do solo.

Estudos como o de Dias *et al.* (2013) evidenciam que a produção de biogás, a partir de resíduos orgânicos, pode reduzir significativamente os custos de energia, auxiliando ainda na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Gomes *et al.* (2012) reforçam essa perspectiva ao demonstrar que a

biometanização proporciona não só uma solução sustentável para a redução da quantidade de resíduos destinados a aterros, mas também gera valor econômico através da produção de energia renovável e de fertilizantes orgânicos.

A literatura científica documenta diversos casos de sucesso na aplicação de biodigestores em contextos urbanos. A pesquisa de Amato-Lourenço et al. (2024) destaca a eficácia da compostagem comunitária em São Paulo, mostrando melhorias significativas na gestão de resíduos e na sustentabilidade das práticas urbanas. De modo semelhante, o estudo de Vilela (2015) sobre a biometanização em hortas urbanas confirma a eficácia dos biodigestores na conversão de resíduos orgânicos, oferecendo uma perspectiva sobre a viabilidade econômica e ambiental da tecnologia.

O artigo pretende trazer a importância e os benefícios da biometanização de resíduos orgânicos em hortas urbanas, com foco na cidade de São Paulo, como apresenta análise técnica e econômica nas seções subsequentes deste estudo

Metodologia

Este estudo realizou uma pesquisa de campo na qual foram coletados dados sobre a quantidade de resíduos orgânicos produzidos mensalmente em cada uma das hortas visitadas, entre as zonas sul, centro e oeste do município de São Paulo. As hortas visitadas foram GT Áreas Verdes, Cores e Sabores e CCSP.

A coleta de dados foi realizada por meio de encontros organizados pelas redes sociais, durante os quais os integrantes das hortas forneceram informações sobre a quantidade de resíduos orgânicos, utilizando pesagem e estimativas intuitivas. Com base nestes dados, calculou-se a projeção do uso de biodigestores para conversão de resíduos em biometano, semelhante aos sistemas aplicados na Espanha e Alemanha (Vilela, 2015). A produção potencial de biogás foi estimada utilizando a fórmula do potencial bioquímico de metano (PBM) conforme Labatut *et al.* (2011).

Equação 1 - cálculo do potencial mínimo produtivo bioquímico de metano

$$P1 = PBMm \times S$$

Equação 2 - cálculo do potencial máximo produtivo bioquímico de metano

$$P2 = PBMM \times S$$

onde:

- **P** = Potencial Produtivo de Biometano por Matéria Orgânica (m³/mês)
- **PBMm** = Potencial Bioquímico de Metano Mínimo (m³/kg), 0,2078 m³/kg
- **PBMM** = Potencial Bioquímico de Metano Máximo (m³/kg), 0,6485 m³/kg
- **S** = Produção mensal de substrato de uma horta urbana (kg/mês)

A análise econômica considerou os custos de instalação dos biodigestores de polietileno (em torno de R\$6.000,00) como diz SILVA (2020) e os benefícios financeiros da substituição de GLP pelo biogás produzido por apresentar equivalência energética de acordo com A caixa de ferramentas de engenharia (2003).

Equação 3 - fórmula para medir o potencial de produção de biometano mínimo em botijões de GLP equivalente.

$$Q1 = \frac{P1 \times PCIM}{PCIB}$$

Equação 4 - fórmula para medir o potencial de produção de biometano máximo em botijões de GLP equivalente.

$$Q2 = \frac{P2 \times PCIM}{PCIB}$$

Onde:

- Q = Quantidade de Botijões de GLP equivalente (Botijões)
- PCIM = Poder Calorífico Inferior de Metano por Metro Cúbico (MJ/m³), 35,8 MJ/m³
- PCIB = Poder Calorífico de um Botijão de GLP (MJ), 465,4 MJ

Potencial financeiro:

$$PFm = Q1 \times V$$

$$PFM = Q2 \times V$$

Onde:

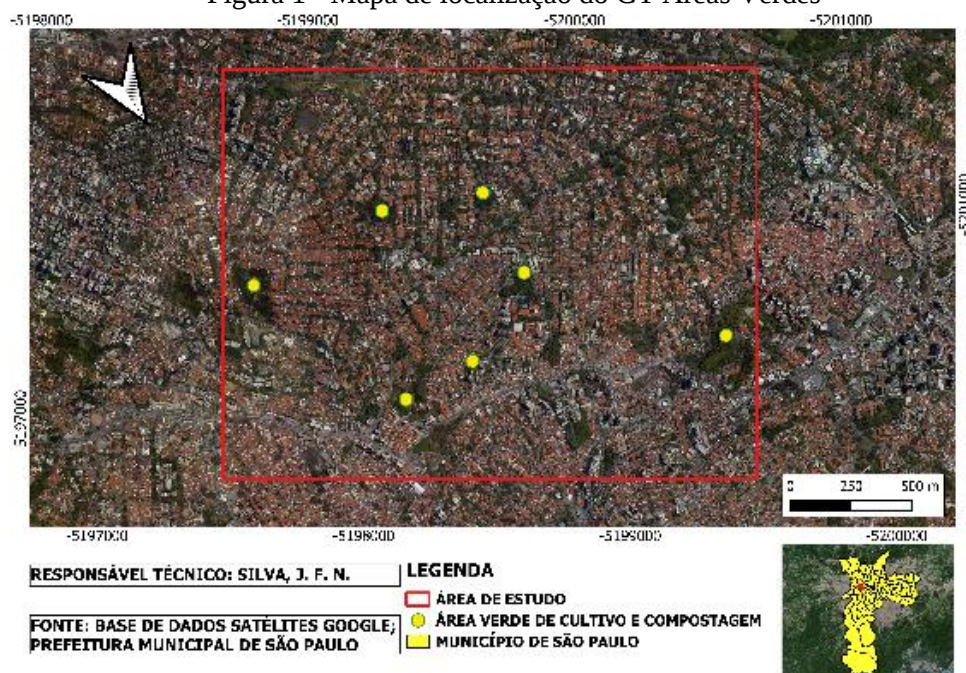
- PFm = Potencial Financeiro Mínimo
- PFM = Potencial Financeiro Máximo
- V = Valor do Botijão (R\$106,5 em junho de 2024)

Estudo de Caso

GT Áreas Verdes

De acordo com Amato-Lourenço (2024), um coletivo de moradores na zona oeste de São Paulo começou a se reunir semanalmente desde 2018 devido à falta de políticas públicas para o descarte de resíduos orgânicos. Desde então, agricultores comunitários organizam reuniões para alimentar pilhas de compostagem com resíduos domésticos e podas de hortas e jardins. O grupo acumula cerca de 400 kg de resíduos orgânicos semanalmente.

Figura 1 - Mapa de localização do GT Áreas Verdes

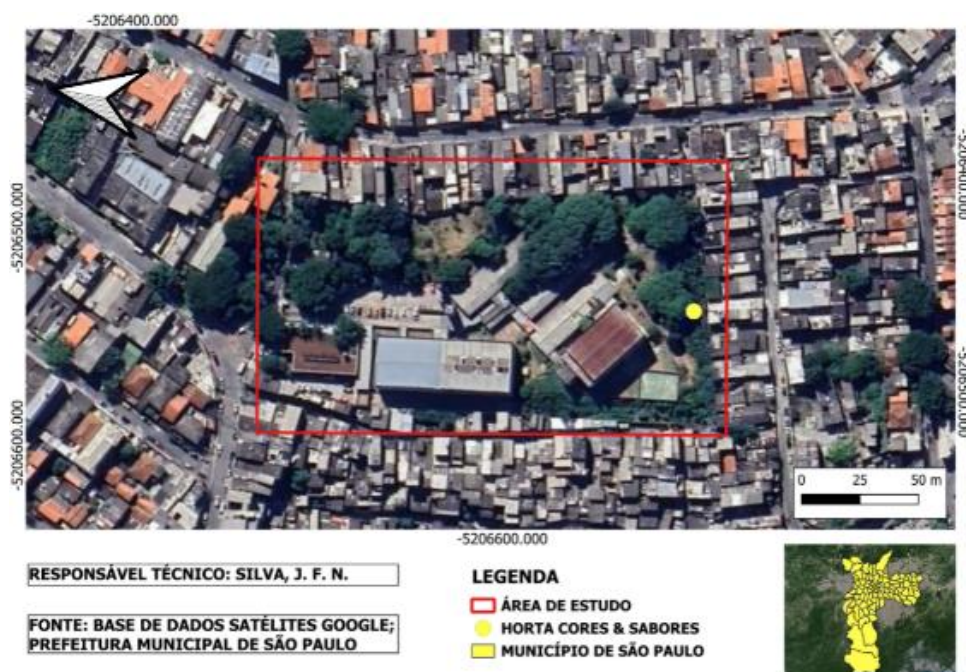


Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2024)

Horta Cores & Sabores

A horta Cores e Sabores, situada na Escola Estadual Café Filho no bairro Jardim Ipê, Capão Redondo, vista no mapa abaixo, é uma iniciativa da ONG Capão Cidadão.

Figura 2 - Mapa de localização da horta Cores & Sabores



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2024)

Com o objetivo de promover formação, educação alimentar, nutricional e ambiental, a horta oferece cursos gratuitos sobre plantio e manejo, envolvendo ativamente a escola e a comunidade, além de realizar eventos culturais como saraus e rodas de conversa. A horta ocupa uma área de 10.000 m² com 4.000 m² destinados ao cultivo, produzindo cerca de 654 kg de resíduos orgânicos mensais.

Horta CCSP

A Horta do Centro Cultural São Paulo (CCSP) está localizada sobre o jardim suspenso do CCSP, conforme a figura 4, onde abriga mais de 100 espécies de plantas. Entre elas incluem-se alface, rúcula, beterraba, brócolis, alecrim e mirra. Além de plantas, a horta produz composto e mel. Iniciada em setembro de 2012 por membros da rede Hortelões Urbanos e visitantes do CCSP, a horta realiza mutirões para produzir alimentos e fortalecer a relação entre o CCSP e seus frequentadores.

Figura 3 - Mapa de localização da horta CCSP



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2024)

A horta não visa à produção em larga escala, sendo seu grande valor o foco na educação ambiental e no envolvimento da comunidade. A produção é destinada principalmente a voluntários e visitantes, incentivando o repensar da indústria alimentícia e o consumo consciente, e revitalizando áreas subutilizadas.

A abertura oficial da horta ocorreu durante a Virada Sustentável, inspirada nos ideais da Escola Municipal de Jardinagem (EMJ), estabelecida em 1975 para capacitar jardineiros da Prefeitura de São Paulo. Em 2009, a EMJ foi integrada à Universidade Aberta do Meio Ambiente e Cultura de Paz (UMAPAZ), parte da Coordenação de Educação Ambiental e Cultura de Paz, descrito por Borduchi (2012) e pelas representantes da horta.

Resultados e Discussão

A análise dos dados coletados nas hortas revelou um significativo potencial de produção de biogás. A Tabela 1 resume os resultados obtidos para o potencial bioquímico de metano (PBM) e a produção mensal de substrato de cada horta.

- Tabela 1 – Potencial produtivo de biometano por matéria orgânica (m³/mês)

Horta	Substrato (kg/mês)	Potencial Bioquímico do Metano Mínimo	Potencial Bioquímico do Metano Máximo
GT Áreas Verdes	1200	249	778
Cores e Sabores	654	136	424
CCSP	47	10	30

Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2024)

A viabilidade econômica foi avaliada considerando-se os custos de instalação e operação dos biodigestores e os benefícios financeiros da substituição do GLP pelo biogás produzido. A Tabela 2 apresenta uma estimativa do valor econômico anual do biogás produzido em cada horta.

Tabela 2 - Potencial Financeiro das Hortas Visitadas (R\$)

Horta	Valor Mensal Mínimo	Valor Mensal Máximo
GT Áreas Verdes	2.100	6.555
Cores e Sabores	1.115	3.572
CCSP	82	257

Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2024)

Estes resultados indicam que a produção de biogás pelas hortas urbanas equivale a XX botijões de GLP, em termos energéticos. Esta produção pode ser utilizada para suprir residências e comércios locais, ou injeção na rede de gás natural para geração de renda para as hortas. Também é possível a instalação de geradores nos locais para converter o biogás em eletricidade, no entanto, os custos ou viabilidade destes não foi avaliada neste trabalho. Este trabalho também não avaliou a disponibilidade espacial para a instalação dos biodigestores, tanques de armazenamento, compressores e infraestrutura para captação e aproveitamento do biogás.

Os resultados mostram que as hortas GT Áreas Verdes e Cores e Sabores apresentam os maiores benefícios econômicos, enquanto CCSP têm valores menores devido à menor produção de substrato. A implementação de biodigestores em hortas urbanas não só reduz a quantidade de resíduos orgânicos enviados aos aterros sanitários, mas também contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A biometanização transforma resíduos em biogás, uma fonte renovável de energia, e digestato, que pode ser utilizado como fertilizante, melhorando a qualidade do solo.

Comparando os resultados com estudos anteriores, verifica-se que a biometanização em hortas urbanas é eficaz tanto sob a perspectiva técnica quanto econômica. Investigações realizadas por Amato-

Lourenço et al. (2024) e Vilela (2015) corroboram a viabilidade desse processo, enfatizando os benefícios ambientais e sociais associados. Os resultados deste estudo demonstram que a biometanização em hortas urbanas constitui uma solução promissora para a gestão de resíduos orgânicos, contribuindo significativamente para a sustentabilidade urbana. Contudo, no estudo de Vilela (2015), a produção de biogás foi avaliada em quatro reatores, cada um com capacidade de 50 L, resultando em uma média produtiva total de 72,95 L.

Conclusões

Este estudo avaliou a implementação de biodigestores em hortas urbanas de São Paulo, visando ao manejo sustentável de resíduos orgânicos e à produção de biogás. As quatro hortas urbanas selecionadas, com distintas escalas de produção, estruturas organizacionais e propósitos, demonstraram potencial significativo para a produção de biogás.

A implementação de biodigestores demonstrou ser financeiramente viável, com retornos econômicos positivos ao longo dos anos. Apesar de a Horta CCSP apresentar um benefício econômico menor devido à sua escala reduzida e natureza simbólica, ela contribui significativamente para a educação ambiental e o envolvimento comunitário.

Recomenda-se a criação de políticas públicas que incentivem a instalação de biodigestores em hortas urbanas, além da formação de parcerias entre governo, ONGs e comunidades locais para apoiar financeiramente e tecnicamente os projetos de biometanização. Programas de capacitação para os gestores de hortas e comunidades sobre o uso e manutenção de biodigestores são importantes pela carga de trabalho. Investimentos contínuos em pesquisa são necessários para ter mais clareza viabilidade de implementação de um biodigestor para poder expandir seu uso em diferentes contextos.

Este estudo em específico apresenta perspectivas valiosas para futuras iniciativas de sustentabilidade urbana por meio da valorização dos resíduos orgânicos mediante da biometanização em hortas urbanas. A produção de biogás não só reduz o custo do GLP, mas também propicia uma fonte de energia renovável, mitigando as emissões de gases de efeito estufa. Adicionalmente, propõe conscientização sobre a redução e aproveitamento de resíduos sólidos urbanos não cativados por agricultores urbanos, fortalecendo os laços sociais ao envolver a comunidade em ações sustentáveis. Alinha-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 - Energia Limpa e Acessível, ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, e ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima.

Agradecimentos

Os autores agradecem o relevante apoio financeiro à pesquisa do programa PRH/ANP/FAPESP, convênio 2024/12405-0, processo 2024/10535-3 e aos representantes do GT Áreas Verdes, Cores e Sabores e CCSP.

Referências Bibliográficas

A caixa de ferramentas de engenharia (2003). *Combustíveis – Valores Caloríficos Superiores e Inferiores. Fuels - Higher and Lower Calorific Values*. [online] Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html Acesso em: 14 jun. 2024.

AGENDA 2030. (2015). ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável.

Amato-Lourenço, L. F., Franca, G. C., Seckler, M. M., & Mauad, T. (2024). Enhancing urban waste sustainability through community-driven composting in São Paulo megacity. *Environmental Challenges*, 14, 100864. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100864>.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 13 de mar. de 2024

Avelar Moura, J., Rodrigues Ferreira, W., & de Barros Lorandi Silveira Lara, L. (2013). Agricultura urbana e periurbana. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 12(27), 69-80.

Borduchi, G. (2012). A horta do CCSP. *Ambiente Melhor*. Disponível em: <http://www.ambientemelhor.com.br/index.php/artigos/item/135-a-horta-do-ccsp>. Acesso em: 24 de junho de 2024.

Dias, M. I. A., et al. (2013). Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. *Revista Energia na Agricultura*, 28, 155-164.

Gomes, F. C. S. P. (2010). Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: o estado da arte e uma análise crítica das principais tecnologias. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(3), 295-304.

Kunz, A., et al. (2019). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves.

Labatut, R., Angenent, L., & Scott, N. (2011). Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates. *Bioresource Technology*, 102(3), 2255-2264.

Mirelly, A. S. M., et al. (2014). Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM*, 3(4), 990-999.

Silva, M. F. (2020). Sistema de geração de energia de baixo custo em uma comunidade rural: biodigestor anaeróbio como uma proposta de tecnologia social. *Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação Tecnológica - PROFNIT*.

Vilela, F. R. (2015). Biometanização: estudo da influência do lodo e da serragem no tratamento anaeróbio da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Zaar, M.-H. (2011). Agricultura urbana: algumas reflexões sobre sua origem e importância atual. *Biblio 3W: Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 16(944).