

# PROJETO DE BIODIGESTOR E FOTOBIORREATOR PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA

*Design of a biodigester and photobioreactor for the production and purification of biogas from anaerobic co-digestion*

*Diseño de un biodigester y un fotobiorreactor para producir y purificar biogás procedente de la codigestión anaerobia*

**BOAS, A. P. V.<sup>1</sup>; LUNELLI, B. H.<sup>2</sup>**

## Resumo

As emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) têm aumentado de forma contínua e progressiva desde a revolução industrial. Nas últimas décadas, o cenário de emissões só se agravou, passando de 9,34 milhões de toneladas em 1960 para 36,44 milhões de toneladas em 2019. A concentração crescente de CO<sub>2</sub> atmosférico é atribuída, principalmente, ao consumo e a queima dos combustíveis fósseis, os quais correspondem a mais de 80 % da demanda mundial de energia primária. Buscando contribuir com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a produção de biogás no Brasil tem avançado nos últimos anos, e vem recebendo incentivos de setores públicos e privados. O uso de fontes não convencionais para a geração de energia como os resíduos orgânicos urbanos e as biomassas residuais provenientes de processos agroindustriais e/ou agrícolas despontam como alternativas interessantes. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo desenvolver os biorreatores em escala de bancada para geração e purificação de biogás, rico em metano. Para o projeto dos biorreatores foi utilizado o software Inventor da Autodesk®. Após a construção dos biorreatores em escala de bancada, será realizada a produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. O biogás gerado será purificado através da captura fotossintética do carbono por meio da utilização de microalgas.

**Palavras-chave:** Microalgas; processos biológicos; resíduos orgânicos; biorreatores.

<sup>1</sup> Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC Campinas  orcid: [0009-0008-3360-4616](https://orcid.org/0009-0008-3360-4616) leandro.zq@puccampinas.edu.br

<sup>2</sup> Profa. Dra. na Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC Campinas  orcid: [0000-0002-1320-7890](https://orcid.org/0000-0002-1320-7890) betania.lunelli@puc-campinas.edu.br

Data da Submissão:  
21dezembro2023  
Data da Aprovação:  
10fevereiro2024  
Data da Publicação:  
20março2024

COMO CITAR:

BOAS, A. P. V.; LUNELLI, B; H.. PROJETO DE BIODIGESTOR E FOTOBIORREATOR PARA PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA. Engenharia Urbana em Debate. São Carlos, V4, n2, 2023. <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v4i2.119>



## Abstract

Global carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions have steadily risen since the industrial revolution. In recent decades, the emissions scenario has only worsened, rising from 9.34 million tons in 1960 to 36.44 million tons in 2019. The growing concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> is mainly attributed to the consumption and burning of fossil fuels, which account for more than 80% of the world's primary energy demand. To help mitigate greenhouse gas emissions, biogas production in Brazil has advanced in recent years and has received incentives from the public and private sectors. The use of unconventional sources for energy generation, such as urban organic waste and residual biomass from agro-industry and agricultural processes, are exciting alternatives. With this in mind, this work aims to develop bench-scale bioreactors for generating and purifying methane-rich biogas. Autodesk® Inventor software was used to design the bioreactors. Once the bench-scale bioreactors have been built, biogas will be produced from the anaerobic co-digestion of urban and agro-industry organic waste. The biogas generated will be purified by photosynthetic carbon capture using microalgae.

**Keywords:** Microalgae; biological processes; organic waste; bioreactors.

## Resumen

Las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no han dejado de aumentar desde la revolución industrial. En las últimas décadas, el escenario de emisiones no ha hecho más que empeorar, pasando de 9,34 millones de toneladas en 1960 a 36,44 millones de toneladas en 2019. La creciente concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se atribuye principalmente al consumo y quema de combustibles fósiles, que representan más del 80% de la demanda mundial de energía primaria. En un esfuerzo por ayudar a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción de biogás en Brasil ha avanzado en los últimos años y ha recibido incentivos de los sectores público y privado. El uso de fuentes no convencionales para la generación de energía, como los residuos orgánicos urbanos y la biomasa residual de procesos agroindustriales y/o agrícolas, se perfilan como alternativas interesantes. El objetivo de este trabajo es desarrollar biorreactores a escala de banco para la generación y purificación de biogás rico en metano. Para el diseño de los biorreactores se ha utilizado el software Autodesk® Inventor. Una vez construidos los biorreactores, se producirá biogás a partir de la codigestión anaerobia de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales. El biogás generado se purificará mediante captura fotosintética de carbono utilizando microalgas.

**Palabras clave:** Microalgas; procesos biológicos; residuos orgánicos; biorreactores.

## 1. INTRODUÇÃO

As emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) têm aumentado de forma contínua e progressiva desde a revolução industrial na metade do século XVIII. Nas últimas décadas, entretanto, o cenário de emissões só se agravou, passando de 9,34 milhões de toneladas métricas em 1960 para 36,44 milhões de toneladas métricas em 2019 (EPA, 2021; Onyeaka et al., 2021).

Em 2019, no Brasil foram emitidas cerca de 467,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) de CH<sub>4</sub>, o que corresponde a 21 milhões de

toneladas métricas. Sendo o Brasil, portanto, o 5º maior emissor de CH<sub>4</sub> do mundo, respondendo por 5,5% das emissões (SEEG, 2022).

Entende-se hoje, de forma unânime, que a implementação e a adoção contínua de alternativas para a geração de energia limpa e renovável são fundamentais para assegurar o desenvolvimento sustentável das novas gerações.

A necessidade de desenvolver processos industriais renováveis e sustentáveis é um dos maiores

desafios globais a ser enfrentado pela humanidade. Os processos tradicionais de produção são insustentáveis, utilizam matéria-prima não renovável e liberam grandes quantidades de GEE e produtos tóxicos residuais para o meio ambiente (Arun et al., 2020).

A (co)digestão anaeróbia vem sendo apontada como uma solução bastante promissora, principalmente, por representar uma tecnologia com soluções conectadas às crescentes necessidades de desenvolvimento sustentável, uma vez que ela pode ser empregada tanto no tratamento de resíduos urbanos (fração orgânica), agrícolas e agroindustriais quanto na produção de bioenergia, além de contribuir para redução das emissões de GEE e a disposição final de resíduos em aterros sanitários (Ward et al., 2008; Goldemberg, 2009; Araujo, 2017; Angelidaki et al., 2018; Li et al., 2020; Chew et al., 2021). Como resultado do processo de digestão anaeróbia, são obtidos dois produtos principais: uma mistura gasosa (denominada biogás) composta, principalmente, por metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e vapor de água (H<sub>2</sub>O); e uma mistura líquida (digestato) contendo matéria inorgânica e residual orgânico não convertido (Angelidaki et al., 2018). Antes da sua utilização, o biogás bruto (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S) deve passar por um processo de *upgrading*, onde o nível de purificação pode variar consideravelmente dependendo da aplicação desejada.

Uma opção bastante interessante para a purificação do biogás pode ser através da captura fotossintética do carbono presente em sua composição por meio de microalgas e cianobactérias, uma vez que elas

são capazes de converter o CO<sub>2</sub> em biomassa celular através do processo de fotossíntese (Nagarajan et al., 2019). Dentro deste contexto, esse trabalho tem como objetivo projetar e construir biorreatores em escala de bancada para a produção e purificação do biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais. Pretende-se, em trabalhos futuros, desenvolver um processo eficiente de produção e purificação de forma que o biogás produzido possa ser utilizado como fonte de energia alternativa em diferentes aplicações, como energia elétrica e/ou térmica.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto do biodigestor e do fotobiorreator foi utilizado o *software Inventor* da Autodesk®, o qual auxiliou na construção da geometria e dimensão ideal para a escala de bancada, bem como para a associação do sistema de produção (biodigestor) e purificação (fotobiorreator). Foi projetado um biodigestor encamisado com volume útil de 2 L. Já para o fotobiorreator foi considerado um volume de 10L.

O biodigestor foi construído utilizando o PEAD (polietileno de alta densidade). Esse composto polimérico apresenta uma estrutura molecular regular e estável, o que assegura produtos com melhores características em relação a outros polímeros do gênero, atendendo parâmetros de segurança de material e de projeto. O biodigestor terá compartilhamento para acondicionar o digestato produzido, além de um sistema de controle e monitoramento, tanto do substrato quanto da água que estará circulando ao redor do biodigestor com objetivo de manter a temperatura interna constante e

estável, a fim de atingir a eficiência do processo de codigestão anaeróbia para produção de biogás.

No projeto do fotobiorreator diversos flanges de entrada/saída com sistema de engate rápido pneumático foram consideradas de forma a facilitar o acesso ao interior do equipamento, evitando vazamentos e permitindo que se retire pequenas amostras ou alimento material/insumos para dentro do meio de cultivo. Para a construção do equipamento foram utilizadas chapas planas de policarbonato de 5 mm.

O biogás produzido será alimentado na parte inferior do fotobiorreator e, por mecanismos de difusão e transporte, chegara ao topo onde será coletado e analisado. Entradas auxiliares de alimentação e para sensoriamento serão colocadas em pontos estratégicos para causar o menor impacto possível no que diz respeito a fluidodinâmica do sistema.

Sensores de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, umidade, temperatura e turbidez estarão conectados ao fotobiorreator, permitindo acompanhamento em tempo real da composição do biogás e de alguns parâmetros operacionais. Para aumentar a dispersão do biogás no meio de cultivo, favorecendo o aumento da área de contato das bolhas de gás com as microalgas presentes no fotobiorreator, será instalado no fundo do equipamento um sistema de oxigenação artificial. Com a

finalização da construção da planta, será realizada, posteriormente, a produção de biogás através da codigestão anaeróbia, seguido da sua purificação.

O sistema de purificação do biogás se dará pela captura de CO<sub>2</sub> por microalgas, resultando em um biogás rico em metano.

Para avaliar a qualidade do biogás e a quantidade de CO<sub>2</sub> fixada pelas microalgas, é necessário um controle contínuo do biogás alimentado e removido do fotobiorreator. A partir da composição do biogás será avaliada a necessidade do uso de reciclo no processo, o qual será automático e a decisão será tomada pela inteligência embarcada no processo.

Após o início de operação do sistema e de posse dos dados e análises feitas, será realizada a otimização operacional do processo de produção e purificação.

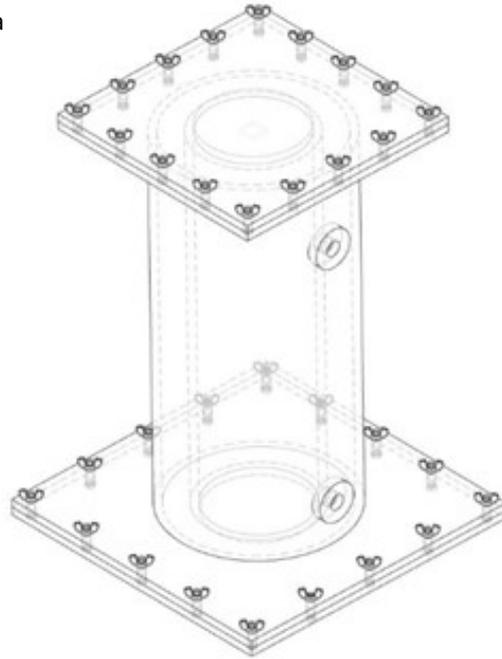
### **3. RESULTADOS**

Nas Figuras 1 (a-b) é mostrado o projeto do biodigestor, desenvolvido. O projeto do fotobiorreator de placas planas paralelas é mostrado na Figura 2.

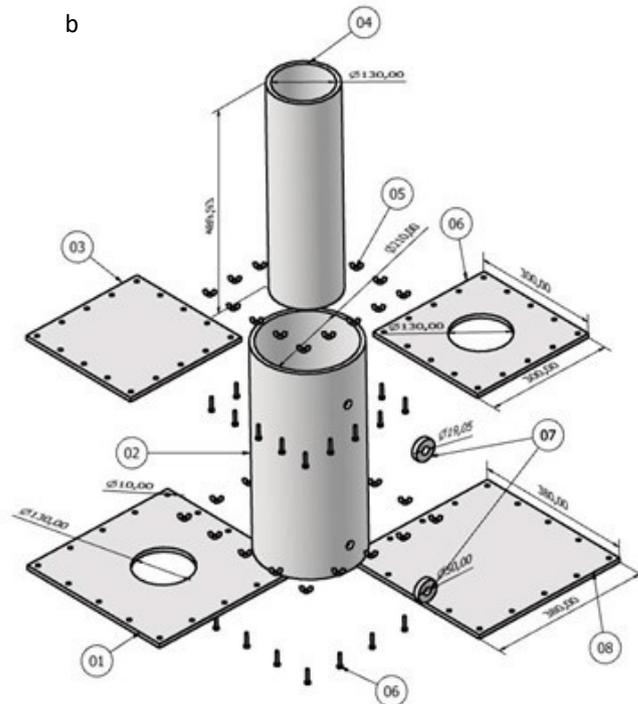
O fotobiorreator e o biodigestor construídos são representados pelas Figuras 3 e 4 (a-b), respectivamente.

Figura 1- Desenho do projeto do biodigestor.

a

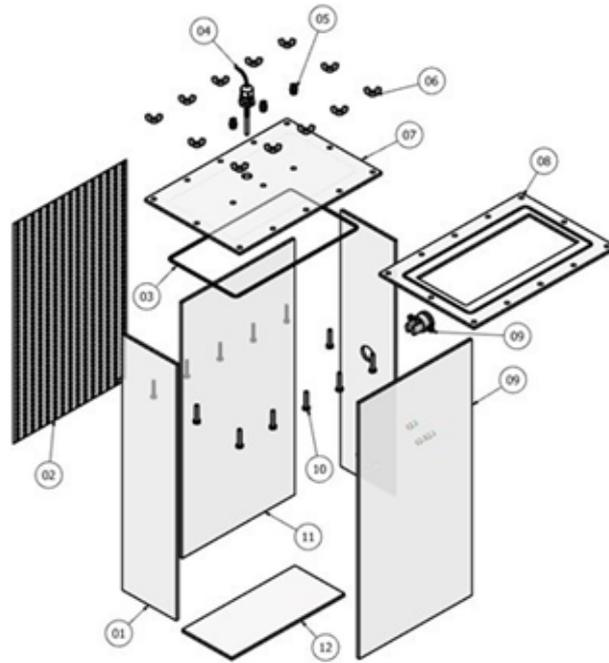


b



Fonte: autoria própria

Figura 2- Desenho do projeto do fotobiorreator.



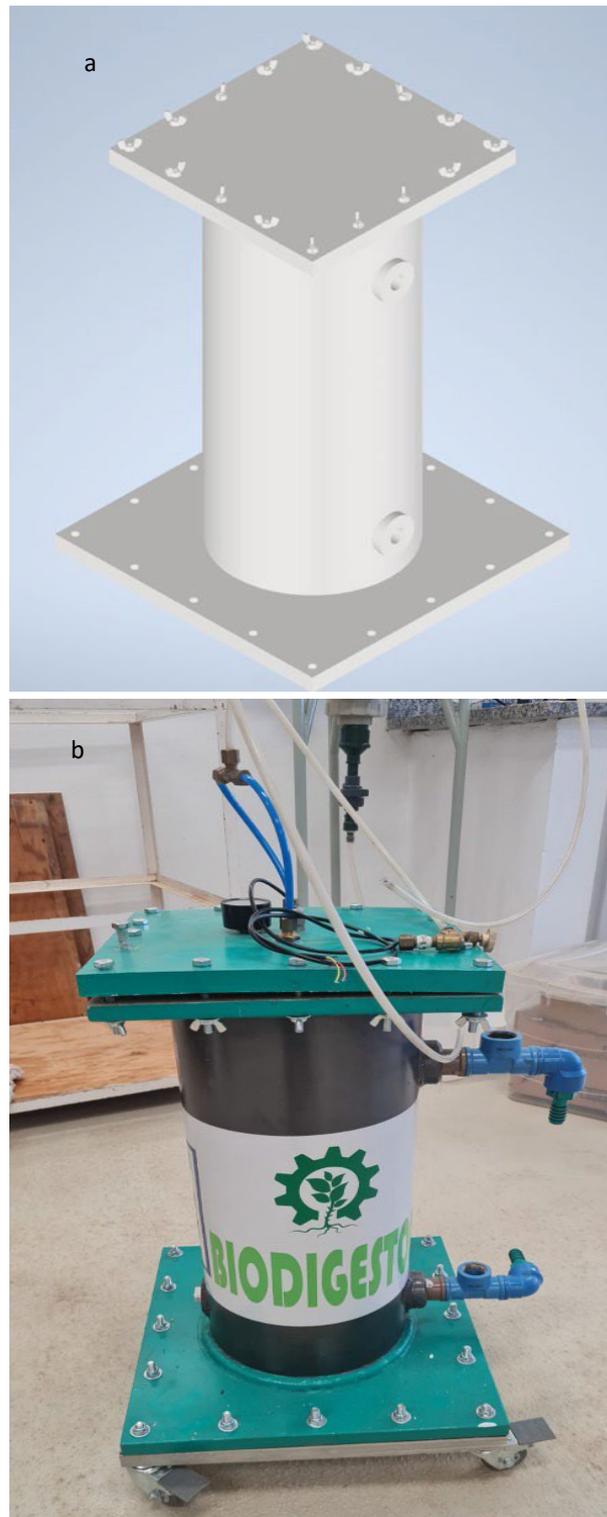
Fonte: autoria própria

Figura 3 - Representação da construção do fotobiorreator.



Fonte: autoria própria

Figura 4 - Representação da construção do biodigestor



Fonte: autoria própria

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizada a construção dos equipamentos de produção e purificação do biogás, serão realizados, posteriormente, os experimentos a fim de avaliar a viabilidade do processo.

Espera-se demonstrar o potencial de captura e fixação de CO<sub>2</sub> do biogás por meio de microalgas. É esperado que o biogás produzido a partir da codigestão anaeróbia tenha uma concentração de metano entre 55 e 65% e, após o processo de purificação, essa concentração aumente para 70 a 78%. Todas as etapas deverão ser sensoriadas/monitoradas *on-line* a fim de indicar os principais componentes presentes em cada etapa, bem como os fatores e limites de segurança esperados.

Todo o projeto se baseia no menor contato humano possível com o aparato bem como com a matéria prima, sendo a maior parte das etapas automatizadas e inspecionadas remotamente. Um sistema com diferentes configurações de análise (*pre-sets*) deverá ser responsável pela tomada de decisão nas etapas com automação suficiente para tal no processo, o que assegurará a precisão e constância nos resultados processados, evitando assim a possibilidade do erro humano.

#### REFERÊNCIAS

ANGELI, J. R. B. et al. (2018). Digestão anaeróbica e integração em escala urbana: feedback e estudo de caso comparativo. *Energia, Sustentabilidade e Sociedade*, v. 8(1), p. 29.

ARAUJO, A. P. C. (2017). *Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico*. Monografia. Universidade Federal de Uberlândia, Belo Horizonte, MG, 2017.

ARUN, S.; SINHAROY, A.; PAKSHIRAJAN, K.; LENS, P. N. (2020). Algae based microbial fuel cells for wastewater treatment and recovery of value-added products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 132, 110041. doi.org/10.1016/j.rser.2020.110041

CHEW, K. R.; LEONG, H. Y.; KHOO, K. S.; VO, D. V. N.; ANJUM, H.; CHANG, C.K.; SHOW, P.L. (2021). Effects of anaerobic digestion of food waste on biogas production and environmental impacts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19(4). doi.org/10.1007/s10311-021-01220-z

EPA – Environmental Protection Agency (2021). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> Acesso em: 12 ago. 2023.

LI, J.; LI, X.; YANG, Z.; TANG, T. T. (2020). Effects of cellulose on polycyclic aromatic hydrocarbons removal and microbial community structure variation during anaerobic digestion of sewage sludge. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 55(9), p. 1104–1110. doi.org/10.1080/10934529.2020.1771958

NAGARAJAN, D.; VARJANI, S.; LEE, J.; CHANG, S. (2021). Sustainable

aquaculture and animal feed from microalgae- Nutritive value and techno-functional components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 150, 111549. doi.org/10.1016/j.rser.2021.111549

ONYEAKA, H.; MIRI, T.; OBIKEKE, K.; HART, A.; ANUMUDU, C.; AL-SHARIFY, Z. T. (2021). Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology*, v. 1, 100007. doi.org/10.1016/j.ccst.2021.100007

SEEG (2022). Disponível em: <http://seeg.eco.br> Acesso em: 04 dez. 2022.