

EFEITO DE GASES DE COMBUSTÃO NA PRODUÇÃO DE LIPÍDIOS DE MICROALGA PARA BIODIESEL

J.G.B. Martinez, johana020290@gmail.com¹
G.S.W. Finger, finger.gustavo@gmail.com¹
P.D. Rodríguez, pdanielarodriguez@gmail.com²
E. da Silva, elaine.silva06@gmail.com¹
P.P. Dario, pripaoladario@gmail.com¹
D. Taher, dhyogomt@gmail.com¹
M.N. Muñoz, matiasmunuoz@gmail.com¹
W. Balmant, wbalmant@gmail.com¹
A. Mariano, andrebmariano@gmail.com¹
J.V.C. Vargas, vargasjvcv2@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Autosustentável (NPDEAS), Francisco H dos Santos, S/N Centro Politécnico, Setor de Tecnologia - Jardim das Americas, Curitiba - PR, CEP 81531-990

²Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza - Grupo CLIOPE, Arq Carlos Thays 310, Mendoza, Argentina, CP 5500

Resumo: A queima de combustíveis fósseis libera gases que ocasionam efeitos negativos ao meio ambiente. Portanto, várias estratégias foram implementadas para reduzir as emissões provenientes desta queima, uma alternativa é a captura destes gases através do metabolismo das microalgas. As microalgas realizam a fotossíntese e utilizam esses gases como nutrientes, contribuindo para a biorremediação ambiental. Além disso, elas produzem lipídios que podem ser empregados na produção de biodiesel. Neste contexto, este trabalho apresenta como objetivo avaliar a capacidade das microalgas da espécie *Acutodesmus obliquus* na fixação dos gases de combustão injetados em seu meio de cultivo, analisando a produção de biomassa e o aumento do teor de lipídios. O experimento foi realizado em escala piloto em um fotobiorreator airlift de 11 L, durante 15 dias. A partir do quinto dia de cultivo, foram adicionados gases de combustão a uma velocidade de 2 L.min⁻¹ durante 1 h.dia⁻¹. Os gases de combustão foram obtidos a partir de um gerador de energia elétrica, de potência de 44 kW_e, de combustão interna com combustível diesel convencional. A composição destes gases de combustão foi de 2,11 ± 0,1 % de CO₂, 3,18 ± 2,01 ppm de SO₂, 25,9 ± 17,68 ppm de NO₂, 8,12 ± 3,43 ppm de NO, 740 ± 37,42 ppm de CO. O teor de lipídeo total obtido foi de 13,52 ± 0,96 %. Os resultados obtidos demonstram que as microalgas são capazes de fixar gases de combustão, realizando a remediação dessas emissões, além de contribuir para a produção de biomassa e obtenção lipídios para conversão em biodiesel.

Palavras-chave: biodiesel, lipídios, microalga *Acutodesmus obliquus*, gases de combustão

1. INTRODUÇÃO

O uso crescente de energia derivada da queima de combustíveis fósseis acarreta efeitos negativos sobre o meio ambiente, ocasionando mudanças climáticas, poluição, danos à saúde dos seres vivos, dentre outras consequências (Huang *et al.*, 2016). Esses efeitos estão associados à liberação de gases de combustão e atualmente diversas estratégias estão sendo implementadas para reduzi-los. Nesta perspectiva, inclui-se a captura dos gases através do metabolismo das microalgas (Ben-Mansour *et al.*, 2016). As microalgas são microrganismos unicelulares que realizam a fotossíntese, sendo encontradas em meio aquoso (Saber *et al.*, 2016). Esses microrganismos usam micronutrientes e macronutrientes para o seu crescimento, além de parâmetros específicos que favorecem o desenvolvimento, como a temperatura e a luz (ASLAM *et al.*, 2017). A capacidade das microalgas em fixar compostos de origem antrópica acarretando a estes organismos o potencial de transformar o cultivo em meio de biofixação. Por este motivo ocasionam a biorremediação das emissões de combustão (Kroumov *et al.*, 2016) e também dos efluentes (Zayadan *et al.*, 2017). Neste contexto, a biomassa das microalgas contém diversos compostos de valor agregado, como por exemplos os lipídios, que podem ser empregados na reação de transesterificação para obtenção do biodiesel (Yun *et al.*, 2016). O biodiesel é um

biocombustível de fonte renovável, sendo uma alternativa para a substituição parcial ou total de combustíveis fósseis devido a suas propriedades similares ao diesel convencional e a combustão produzir emissões com menores concentrações de CO₂, SO_x e NO_x (Saber *et al.*, 2016). Desta maneira, os objetivos deste trabalho são: i) avaliar a capacidade das microalgas da espécie *Acutodesmus obliquus* para fixar gases de combustão injetados em seu meio de cultivo e ii) analisar a produção de biomassa e o teor de lipídios.

Tabela 1. Lista de símbolos

kWe	Kilowatt elétrico	g	Gramas	L	Litros
mPA	Mega pascais	rpm	Revoluciones por minutos	NO	Monóxido de nitrogênio
OD	Densidade óptica	d	dias	NO ₂	Dióxido de nitrogênio
OD _i	Densidade óptica inicial	h	horas	CO	Monóxido de carbono
OD _f	Densidade óptica final	g _{biom}	Gramas de biomassa	CO ₂	Dióxido de carbono
nm	Nanômetro	g _{lip}	Gramas de lipídios	SO ₂	Dióxido de enxofre
K	Máxima taxa de crescimento OD	mL	Mililitros		
Δt	Diferença de tempo	min	minutos		

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi executada no Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Autosustentável (NPDEAS), localizado na Universidade Federal do Paraná. Este laboratório cultiva microalgas da espécie *Acutodesmus obliquus* (Figura 1) para produzir lipídios e posteriormente, biodiesel. O principal objetivo é constituir um centro autossustentável, utilizando para sua manutenção a energia produzida através destes microrganismos por diferentes processos.

O experimento foi realizado em um fotobiorreator com volume de 11 L (Figura 2), onde foram cultivadas microalgas da espécie *Acutodesmus obliquus*. O cultivo foi inoculado em meio sintético CHU (CHU, 1942) modificado. Os gases de combustão foram adicionados a uma vazão de 2 L.min⁻¹, durante 1 h.d⁻¹, iniciando no quinto dia de cultivo. Esses gases de combustão foram obtidos a partir de um gerador elétrico (MANQUIGERAL® modelo 12w), com potência de 44 kWe, de combustão interna com combustível diesel convencional. A composição dos gases de combustão foi medida com o analisador de gases Testo® 350, resultando em 2,11 ± 0,1 % de CO₂, 3,18 ± 2,01 ppm de SO₂, 25,9 ± 17,68 ppm de NO₂, 8,12 ± 3,43 ppm de NO, 740 ± 37,42 ppm de CO. Os gases de combustão foram resfriados até a temperatura ambiente com um trocador de calor antes da entrada no compressor e depois foram enviados para o cultivo das microalgas.

O cultivo foi mantido por 15 dias e o inoculo inicial composto de 177 ± 34,48 x 10⁴ células de microalgas por mL de cultivo. Para agitação do cultivo, utilizou-se um compressor SCHULZ®, que injetou ar durante os intervalos em que os gases de combustão não foram colocados com uma vazão de 4 L.min⁻¹

O fotobiorreator do tipo airlift mostrado na Figura 2 é formado por tubos transparentes que permitem a passagem de luz para o processo de fotossíntese das microalgas. Na parte inferior do fotobiorreator há duas aberturas: uma para a entrada do ar proveniente do compressor e outra para a entrada dos gases de combustão. A parte superior do airlift está aberta para fornecer lugar à saída do oxigênio produzido pelas microalgas, bem como dos gases de combustão não dissolvidos no cultivo e não consumidos pelos microrganismos.

O pH foi medido todos os dias do cultivo com o medidor de pH mPA 210. O crescimento do cultivo foi analisado através de: contagem das células de microalgas em uma câmara Neubauer com microscópio BIOVAL®, peso da biomassa seca e medição da densidade óptica em um espectrofotômetro UV SHIMADZU®. A taxa de crescimento máximo foi calculada com OD540 nm utilizando a equação mostrada em He *et al.* (2012):

$$K = \ln(OD_f / OD_i) / \Delta t \quad (1)$$

onde OD_i e OD_f são a densidade óptica inicial e final do cultivo, respectivamente, e Δt é o tempo de cultivo em dias.



Figura 1. Microalga *Acutodesmus obliquus* produzida em NPDEAS

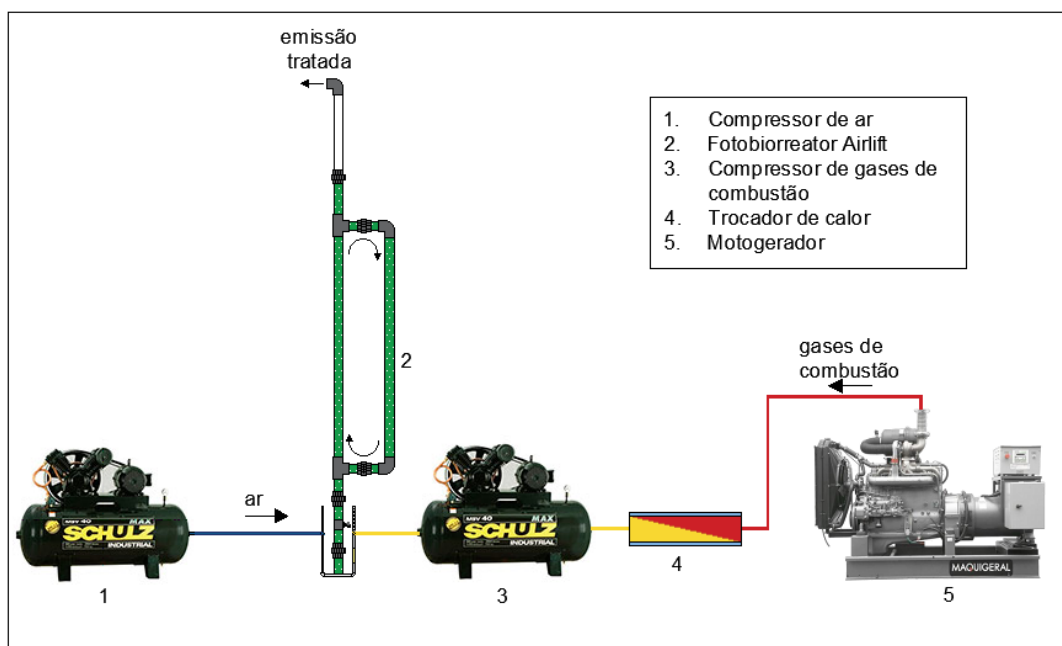


Figura 2. Configuração do experimento em fotobiorreator airlift

A análise lipídica total (g_{lip} / g_{biom}) foi realizada pelo método descrito por Folch *et al.* (1957) e adaptado por Hosseini *et al.* (2015). Para a extração de lipídeos, utilizou-se tubos falcon, onde foram colocados 1,2 mL de uma mistura de clorofórmio:metanol em uma razão de 2:1 v/v, com 0,05 g de biomassa de microalgas secas. Posteriormente, foram submetidos a banho ultrassônico (SCHUSTER® modelo L200), durante 30 min e centrifugados em uma centrífuga DAIKI®80-2B digital a 4000 rpm durante 15 min. No final da centrifugação, o sobrenadante da biomassa foi coletado. Este processo foi repetido três vezes. A extração final da mistura de solventes com lipídeos foi colocada em uma estufa a 60 °C até a evaporação completa do solvente. O conteúdo lipídico foi então, determinado gravimetricamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra que a injeção dos gases de combustão, de caráter ácido não reduziu o pH do cultivo de maneira que pudesse comprometê-lo. Em relação ao crescimento celular (Figura 4), as microalgas apresentaram resultados satisfatórios à exposição aos gases de combustão. Durante o período, a concentração celular inicial aumentou 29 vezes, atingindo o crescimento máximo em sua fase exponencial no dia 10, permanecendo na fase estacionária no restante do período, de acordo com a curva de crescimento logarítmica típica deste cultivo. A densidade óptica a 540 nm (Figura 5) evidenciou o aumento da concentração de biomassa, onde a taxa de crescimento máxima obtida foi de 0.15457 d⁻¹. O peso da biomassa, mostrado na Figura 6, aumentou exponencialmente relacionado ao crescimento celular e à densidade óptica.

Em relação ao crescimento celular (Figura 4), as microalgas apresentaram resultados satisfatórios à exposição aos gases de combustão. Durante o período, a concentração celular inicial aumentou 29 vezes, atingindo o crescimento máximo em sua fase exponencial no dia 10, permanecendo na fase estacionária no restante do período, de acordo com a curva de crescimento logarítmica típica deste cultivo. O número de células ultrapassou a quantidade de 5000 cél.mL⁻¹, valor interessante se comparado a resultados de cultivos realizados anteriormente no NPDEAS sem gases de exaustão, que normalmente atingem a quantidade de 2000 cél.mL⁻¹ (resultados não mostrados).

A densidade óptica a 540 nm (Figura 5) evidenciou o aumento da concentração de biomassa, onde a taxa de crescimento máxima obtida foi de 0.15457 d⁻¹. A partir do décimo dia de cultivo pode-se perceber a fase estacionária também pela curva de absorbância. A massa da biomassa, mostrada na Figura 6, aumentou exponencialmente relacionado ao crescimento celular e à densidade óptica. Obteve-se valores superiores a 1,3 g.L⁻¹ no décimo quarto dia de cultivo.

Todos esses resultados evidenciam o bom comportamento das microalgas quando expostas a gases de exaustão de gerador elétrico. As microalgas não só não foram inibidas como também conseguiram se reproduzir e aumentar consideravelmente seu número de células e quantidade de biomassa no cultivo. Portanto, os gases de exaustão não apresentaram toxicidade às células cultivadas.

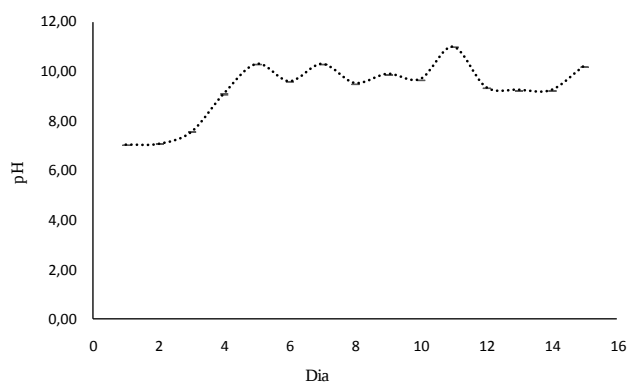


Figura 3. pH no cultivo

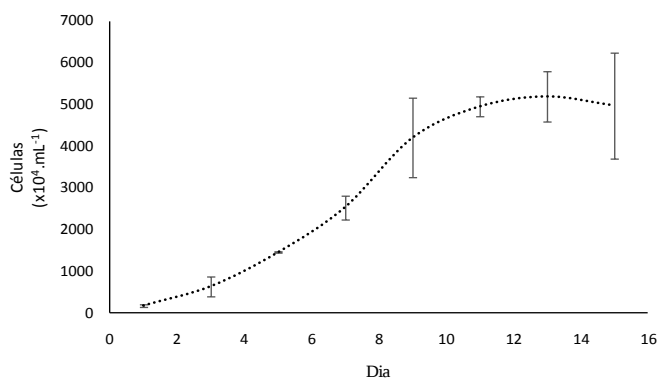


Figura 4. Crescimento celular das microalgas

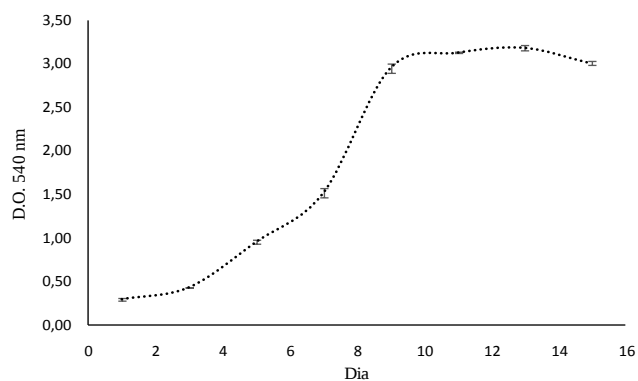


Figura 5. Densidade óptica celular

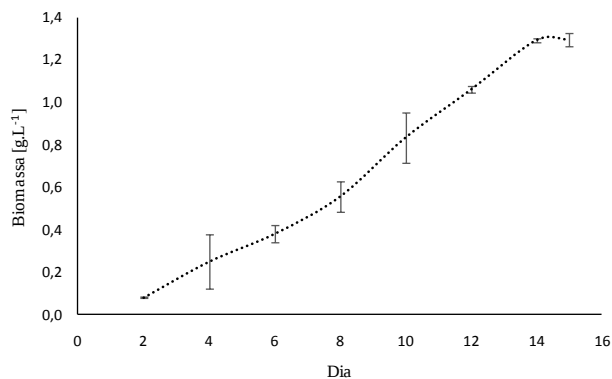


Figura 6. Concentração de biomassa seca

A partir da extração de lipídeos totais, descrita na seção 2, obteve-se um resultado de $13,52 \pm 0,96$ % proveniente da biomassa seca. A Tabela 2, adaptada de Yun *et al.* (2016), apresenta uma comparação da produção de biomassa e do conteúdo lipídico para diferentes experimentos e circunstâncias. Relacionando o experimento deste trabalho com a tabela, observa-se que houve maiores rendimentos de biomassa, enquanto o teor de lipídeos foi menor do que os encontrados na literatura. No entanto, a quantidade de lipídeo por quantidade de biomassa foi em proporção maior para *Acutodesmus obliquus*, sendo somente mais alta a quantidade produzida pela espécie *Chlorella*.

Analisando o teor lipídico obtido, nota-se um valor menor quando comparado a outros trabalhos da literatura. Porém, a quantidade de biomassa seca atingida e a escala do experimento torna esse resultado interessante, mostrando que a espécie pode ser utilizada como matéria prima na produção de lipídeos e biodiesel. Experimentos em escalas maiores devem ser conduzidos para avaliar se os resultados serão mantidos ou mesmo melhorados.

Tabela 2. Comparação de porcentagem de lipídeos em diferentes experimentos de pesquisas

Espécie de microalga	Gás de combustão	Dias de cultivo	Volume do cultivo (mL)	Biomassa seca (g.L ⁻¹)	Lipídeos (%)	Referência
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	não	16	1000	1,55	24,25	Tang <i>et al.</i> 2011
<i>Scenedesmus obliquus</i>	não	7	250	0,31	27	Ji <i>et al.</i> 2013
<i>Chlorella sp.</i>	sim	7	12x10 ⁵	1,87	36	Kao <i>et al.</i> 2014
<i>Acutodesmus obliquus</i>	sim	4	250	0,46	17,5	Yun <i>et al.</i> 20160
<i>Acutodesmus obliquus</i>	sim	15	11x10 ³	1,29	13,52	Neste experimento

4. CONCLUSÃO

O comportamento apresentado pelas microalgas foi satisfatório com relação à exposição de gases de combustão provenientes de um gerador, utilizando-os para aumento da concentração final de células no cultivo. Houve também maior produção de biomassa seca obtida em comparação com mesma espécie de outros experimentos encontrados na literatura, sendo superada somente pela espécie *Chlorella*. Portanto, pode-se afirmar que as microalgas foram capazes de mitigar os gases de combustão, fornecendo biorremediação dessas emissões, além de contribuir para a produção de biomassa e obtenção de lipídeos, os quais podem ser, futuramente, utilizados para conversão em biodiesel por meio do processo de transesterificação.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela CAPES, NPDEAS e a UFPR.

6. REFERÊNCIAS

- ASLAM, Ambreen et al., 2017, "Selection and adaptation of microalgae to growth in 100 % unfiltered coal-fired flue gas", Bioresource Technology, v. 233, p. 271-283.
- BEN-MANSOUR, R. et al., 2016, "Carbon capture by physical adsorption: Materials, experimental investigations and numerical modeling and simulations—A review", Applied Energy, v. 161, p. 225-255.
- CHU, S. P., 1942, "The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae: part I. Methods and culture media", The Journal of Ecology, p. 284-325.
- FOLCH, Jordi et al., 1957, "A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues", J biol Chem, v. 226, n. 1, p. 497-509.
- HE, Lian; SUBRAMANIAN, Venkat R.; TANG, Yinjie J., 2012, "Experimental analysis and model-based optimization of microalgae growth in photo-bioreactors using flue gas", Biomass and bioenergy, v. 41, p. 131-138.
- HOSSEINI, Nekoo Seyed et al., 2015, "Microalgae cultivation in a novel top-lit gas-lift open bioreactor", Bioresource technology, v. 192, p. 432-440.
- HUANG, Guanhua et al., 2016, "Current techniques of growing algae using flue gas from exhaust gas industry: A review", Applied biochemistry and biotechnology, v. 178, n. 6, p. 1220-1238.
- JI, Min-Kyu et al., 2013, "Cultivation of microalgae species in tertiary municipal wastewater supplemented with CO₂ for nutrient removal and biomass production", Ecological Engineering, v. 58, p. 142-148.
- KAO, Chien-Ya et al., 2014, "Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga *Chlorella sp.*", Bioresource technology, v. 166, p. 485-493.
- KROUMOV, Alexander Dimitrov et al., 2016, "A systems approach for CO₂ fixation from flue gas by microalgae—Theory review", Process Biochemistry, v. 51, n. 11, p. 1817-1832.
- SABER, Mohammad; NAKHSHINIEV, Bakhtiyor; YOSHIKAWA, Kunio., 2016, "A review of production and upgrading of algal bio-oil", Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 58, p. 918-930.
- TANG, Dahai et al., 2011, "CO₂ biofixation and fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella pyrenoidosa* in response to different CO₂ levels", Bioresource Technology, v. 102, n. 3, p. 3071-3076.
- YUN, Hyun-Shik et al., 2016, "Microalga, *Acutodesmus obliquus* KGE 30 as a potential candidate for CO₂ mitigation and biodiesel production", Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 17, p. 17831-17839.

ZAYADAN, Bolatkhan K. et al., 2017, "Waste-free technology of wastewater treatment to obtain microalgal biomass for biodiesel production", International Journal of Hydrogen Energy, v. 42, n. 12, p. 8586-8591.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EFFECT OF COMBUSTION GASES IN THE PRODUCTION OF MICROALGA LIPIDS FOR BIODIESEL

J.G.B. Martinez, johana020290@gmail.com¹

G.S.W. Finger, finger.gustavo@gmail.com¹

P.D. Rodríguez, pdanielarodriguez@gmail.com²

E. da Silva, elaine.silva06@gmail.com¹

P.P. Dario, pripaoladario@gmail.com¹

D. Taher, dhyogomt@gmail.com¹

M.N. Muñoz, matiasmunuoz@gmail.com¹

W. Balmant, wbalmant@gmail.com¹

A. Mariano, andrebmariano@gmail.com¹

J.V.C. Vargas, vargasjvcv2@gmail.com¹

¹Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Autosustentável (NPDEAS), Francisco H dos Santos, S/N Centro Politécnico, Setor de Tecnologia - Jardim das Americas, Curitiba - PR, CEP 81531-990

²Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza - Grupo CLIOPE, Arq Carlos Thays 310, Mendoza, Argentina, CP 5500

Abstract. *The burning of fossil fuels releases gases that cause negative effects to the environment. Therefore, several strategies were implemented to reduce emissions from this burning, an alternative is the capture of these gases through the metabolism of microalgae. Microalgae perform photosynthesis and use these gases as nutrients, contributing to environmental bioremediation. In addition, they produce lipids that can be used in the production of biodiesel. In this context, this work aims to evaluate the ability of the microalgae of the species *Acutodesmus obliquus* in the fixation of the injected combustion gases in their culture medium, analyzing the biomass production and the increase of the lipid content. The experiment was performed on a pilot scale in an 11 L airlift photobioreactor for 15 days. From the fifth day of culture, flue gases were added at a rate of 2 L.min⁻¹ for 1 h.day⁻¹. The combustion gases were obtained from an electric power generator, with a power of 44 kWe, of internal combustion with conventional diesel fuel. The composition of these flue gases was 2.11 ± 0.1 % of CO₂, 3.18 ± 2.01 ppm of SO₂, 25.9 ± 17.68 ppm of NO₂, 8.12 ± 3.43 ppm of NO, 740 ± 37.42 ppm of CO. The total lipid content obtained was 13.52 ± 0.96 %. The results obtained demonstrate that the microalgae are capable of fixing flue gases, performing the remediation of these emissions, besides contributing to the production of biomass and obtaining lipids for conversion into biodiesel.*

Keywords: *biodiesel, lipids, microalgae *Acutodesmus obliquus*, combustion gases*