

# Avaliação bibliométrica para a gaseificação de microalgas

---

Renan Barroso Soares<sup>(1,2)</sup> Ricardo Franci Gonçalves<sup>(1)</sup> Márcio Ferreira Martins<sup>(3)</sup>

## RESUMO

Microalgas são consideradas uma fonte potencial para a produção de biocombustíveis e o número de pesquisas sobre o tema vem crescendo nos últimos anos. Dentre os diferentes processos de conversão de biomassa em energia, a gaseificação apresenta algumas vantagens importantes, como maior eficiência energética e menor emissão de CO<sub>2</sub>. Para mapear os estudos experimentais de gaseificação de microalgas, avaliar tendências e descobrir lacunas de conhecimento, este trabalho realizou uma ampla revisão bibliométrica da literatura, adotando a metodologia conhecida como *Proknow-C method - Knowledge Development Process e Constructivist*. Os resultados da pesquisa mostraram um número crescente de publicações do tema nos últimos anos, embora a participação de pesquisadores brasileiros ainda seja pequena. Em relação a biomassa gaseificada, a maioria dos trabalhos utilizou espécies puras de microalgas, principalmente de água doce, ob-

tidas de forma comercial. Entretanto, para um cenário de grande escala é mais provável que as microalgas sejam obtidas na forma de lodo, principalmente se o cultivo integrar o aproveitamento de águas residuárias como meio nutricional, para reduzir os custos operacionais com o aporte de nutrientes. A gaseificação desse tipo de biomassa precisa ser melhor estudada, para que avanços na engenharia de processos sejam mais condizentes com a escala real.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microalga, gaseificação, energia.

## ABSTRACT

*Microalgae are considered a potential source for the production of biofuels and the number of research on the topic has been growing in recent years. Among the different biomass conversion processes in energy, gasification presents some important advantages, such as higher energy efficiency and lower CO<sub>2</sub> emissions. In order to map the experimental studies of microalga ga-*

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade Brasileira Multivix, Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

e-mail: renanbarroso.offshore@hotmail.com

*sification, to evaluate trends and to discover knowledge gaps, this work carried out a wide bibliometric revision of the literature, adopting the methodology known as Proknow-C method - Knowledge Development Process and Constructivist. The results of the research have shown an increasing number of publications of the theme in recent years, although the participation of Brazilian researchers is still small. In relation to gasified biomass, the majority of the works used pure species of microalgae, mainly of fresh water, commercially obtained. However, for a large scale scenario, microalgae are more likely to be obtained in the form of sludge, especially if the crop integrates wastewater utilization as a nutritional medium, to reduce operational costs with nutrient inputs. Gasification of this type of biomass needs to be better studied, so that advances in process engineering are more consistent with the actual scale.*

**KEYWORD:** *Microalgae, gasification, energy.*

## INTRODUÇÃO

O uso de energia está associado ao desenvolvimento econômico-social e garantir a segurança energética, de maneira sustentável, é um dos maiores esforços da sociedade (Raheem *et al.*, 2015). Atualmente, o consumo mundial diário de óleo e de gás é de 95 milhões de barris e 9,5 bilhões de metros cúbicos. Nesse ritmo, estima-se que as reservas de óleo e gás durem 49 e 70 anos, respectivamente (Soreanu *et al.*, 2017). Além da depleção das reservas, o uso extenso de combustíveis fósseis tem contribuído para a

emissão de gases do efeito estufa (Raheem *et al.*, 2015). Entre 1750 e 2011, metade da emissão de CO<sub>2</sub> acumulada na atmosfera ocorreu nos últimos 40 anos e, com maior intensidade, a partir do ano 2000. Essa poluição está causando alterações climáticas de efeitos negativos no planeta e, mesmo se fosse interrompida hoje, muitos impactos continuariam por séculos (Ernmenta, 2014). Com um aumento demográfico de 70%, esperado até 2050 (Wakeel *et al.*, 2016), o cenário é ainda mais preocupante e esforços têm sido feitos para ampliar o uso de energia limpa e renovável, principalmente eólica, solar e de biomassa. Esta última, diferentemente das demais, pode ser ajustada conforme a necessidade momentânea de consumo (Heidenreich e Foscolo, 2014). Além disso, a biomassa é capaz de atender em parte à necessidade de combustível líquido e gasoso, para integrar a infraestrutura já existente (Patel *et al.*, 2016). Para suprir toda essa demanda, é improvável que a biomassa de agricultura seja suficiente. Novas fontes, que não competem com a produção alimentar, são necessárias e as microalgas são consideradas a alternativa mais promissora (Vandamme *et al.*, 2013).

Dentre os diferentes processos de conversão de biomassa em energia, a gaseificação apresenta algumas vantagens importantes, como maior eficiência energética, menor emissão de CO<sub>2</sub>, rápida conversão de todas as frações da biomassa (lipídeo, proteína e carboidrato) e a produção de hidrogênio, apontados por alguns pesquisadores como o substituto da gasolina e do diesel no futuro (Nipattummakul *et al.*, 2010).

A gaseificação é um processo termoquímico de oxidação parcial, em que substâncias carbonáceas são convertidas em gás na presença de um agente gaseificante, usualmente ar, oxigênio, vapor d'água, dióxido de carbono ou suas misturas (Ruiz et al., 2013). O fluxo do agente gaseificante é controlado e a oxidação parcial se dá em altas temperaturas (Heidenreich e Foscolo, 2014). O objetivo do processo é a produção altamente eficiente de gás combustível limpo (Manara e Zabaniotou, 2012). Para que somente uma parte da biomassa seja oxidada, a oxidação ocorre em condições limitantes, com disponibilidade de oxigênio abaixo da estequiometria (Molinho et al., 2016). Assim, diferentemente da combustão, que opera com um excesso estequiométrico de ar, a disponibilidade do comburente é consideravelmente menor, envolvendo valores padrões para a gaseificação. A relação entre a razão comburente/combustível da gaseificação e da combustão completa é definida como razão equivalente (RE) e seus valores viáveis para o processo ficam entre 0,2 e 0,4. Este trabalho revisou de forma abrangente a gaseificação experimental de microalgas, usando um método sistemático para a construção do conhecimento (Ruiz et al., 2013). O objetivo deste trabalho é compilar informações e mapear a literatura, para descobrir tendências e lacunas de conhecimento, importantes para guiar novas pesquisas e auxiliar no desenvolvimento tecnológico dos processos envolvendo a gaseificação de microalgas.

## METODOLOGIA UTILIZADA

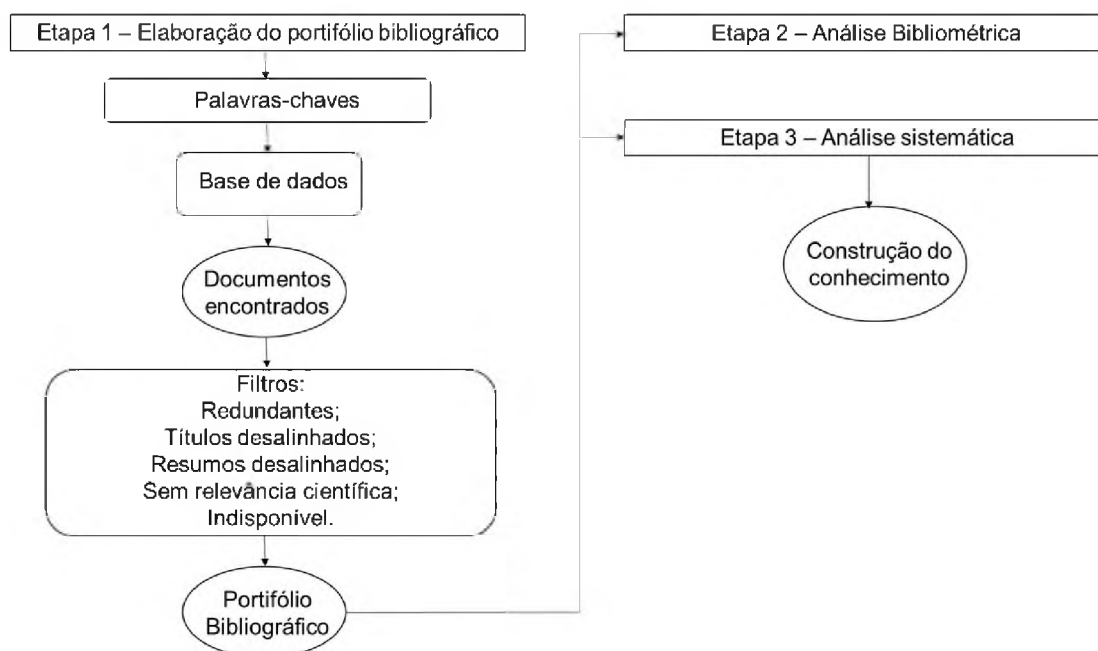
Este estudo aplicou o método desenvolvido por Ensslin et al. (2010), conhecido como Proknow-C method' - Knowledge Development Process e Constructivist. Trata-se de uma aproximação sistemática para organizar as informações levantadas na literatura e abrange a construção do conhecimento em três etapas principais: elaboração de um portfólio bibliográfico, análise bibliométrica e análise sistemática. Primeiramente, a seleção dos artigos é feita usando palavras-chaves em bases de dados definidas. Em seguida, os artigos são filtrados com base em critérios específicos, tais como alinhamento com o tema de interesse e relevância científica. Por fim, eliminam-se aqueles redundantes e não disponíveis (Viegas et al., 2016). Uma vez estabelecido o portfólio bibliográfico, o material é analisado de forma estatística (bibliométrica) e sistemática, elucidando pontos de interesse e apontando lacunas a serem preenchidas. O fluxograma desta metodologia é ilustrado na Figura 1.

As palavras-chave adotadas nesta revisão foram "microalgae" e "gasification". A base de dados do SCOPUS foi escolhida, por se tratar do maior banco de dados de resumo e citações de literatura revisada, incluindo revistas científicas, livros e trabalhos de conferência. Segundo Ferenhof et al. (2014), a base de dados do SCOPUS possuía naquele ano 15.000 jornais indexados, quase 265 milhões de websites e 18 milhões de patentes e outros documentos. Assim, a base é capaz de fornecer uma visão abrangente do resultado da pesquisa mun-

dial. Além disso, é de acesso livre e possui ferramentas importantes para analisar o resultado da pesquisa, tal como a exportação simultânea de todas as informações para softwares gerenciadores de referências, tal como o Mendeley, que foi adotado neste trabalho.

A relevância científica foi baseada na plataforma QUALIS CAPES, adotada pelo Ministério da Educação no Brasil para medir a qualidade da produção nos programas de pós-graduação. A plataforma classifica os periódicos numa escala decrescente de

A1, A2, B1, B2, B3, B4 a C, levando-se em conta, principalmente o fator de impacto, apesar de outros itens também serem avaliados, como o número de artigos publicados, a periodicidade e a acessibilidade da revista. Apenas publicações em periódicos com classificação A1 ou A2, pela plataforma QUALIS CAPES -classificação de periódicos quadriênio 2013-2016 -, em pelo menos uma das áreas de Engenharias I, II e III, que englobam as Engenharias Ambiental, Química e Mecânica, respectivamente, foram consideradas.

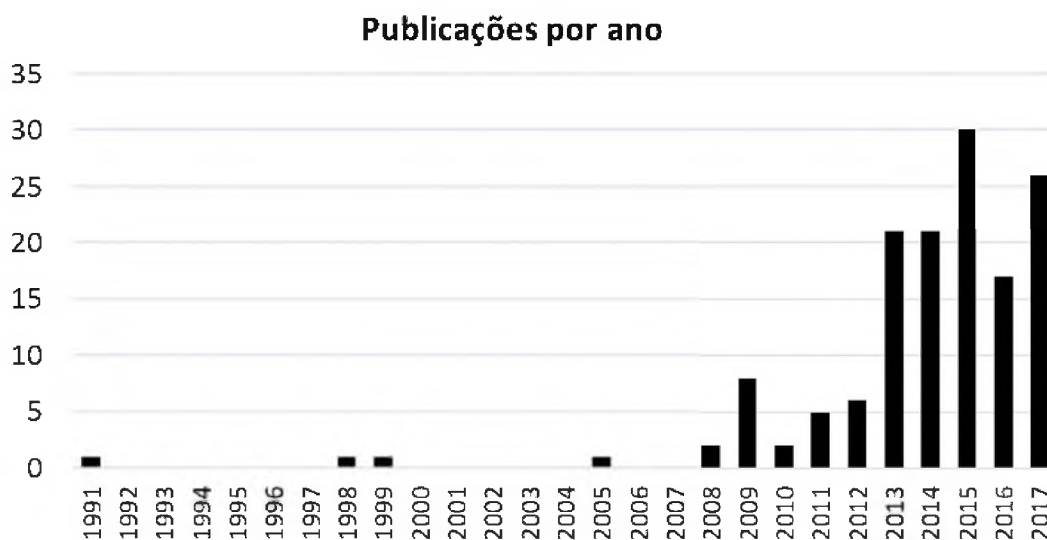


**Figura 1 – Fluxograma da metodologia Proknow-C.**

## RESULTADOS OBTIDOS

Um total de 142 documentos foram encontrados na base SCOPUS em outubro de 2017, sendo o primeiro datado no ano de 1991. No entanto, apenas na última década que o tema ganhou maior relevância na literatura, notavelmente nos últimos cinco anos, indicando o interesse recente pela gaseificação de microalgas (Figura 2). Note-se que o dado de 2017 é parcial, uma vez que só foram incluídas publicações até o mês de outubro.

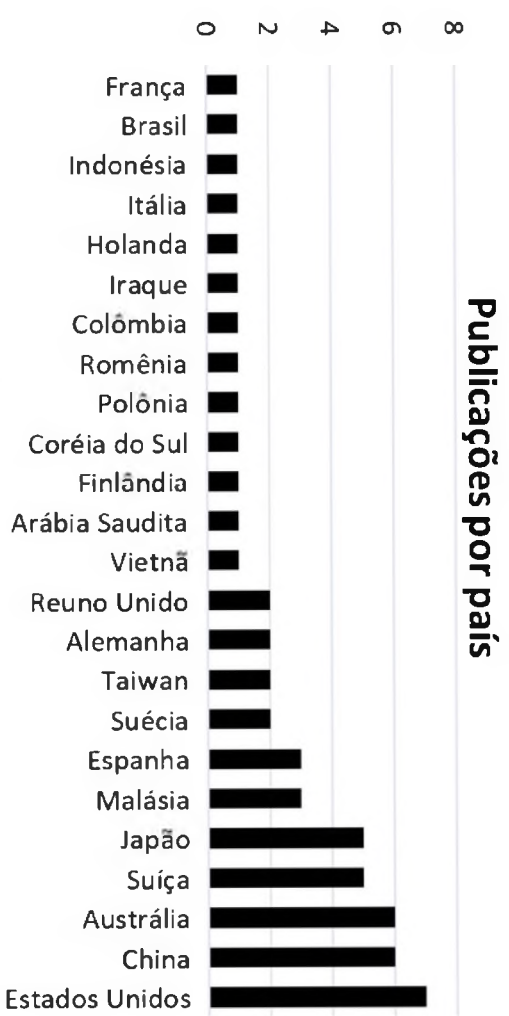
O número de documentos foi reduzido para 94 quando selecionados apenas os artigos dentro do critério de relevância científica estabelecido, conforme supracitado na metodologia deste trabalho. Esses artigos tiveram seus títulos e resumos lidos de modo a selecionar apenas os estudos envolvendo a gaseificação experimental de microalgas. Macroalgas, microalgas residuais após extração de compostos, tal como lipídeos, e estudos não experimentais não foram considerados. Assim, 35 artigos foram selecionados e, após uma leitura detalhada, verificou-se que 7 referências citadas nesses artigos, e contidas nos filtros dessa pesquisa, não estavam contempladas na base de dados do SCOPUS. Esses trabalhos também foram adicionados neste estudo, resultando em um portfólio bibliográfico composto por 42 documentos considerados.



**Figura 2 – Publicações por ano.**

Os documentos foram publicados em 23 periódicos diferentes, o que mostra um interesse abrangente do tema, nos meios de publicação científica. As revistas *Bioresource Technology* e *Energy & Fuels* foram as que mais publicaram neste tema (Figura 3).

Dentre as 42 publicações, 11 foram colaborações internacionais, feitas de forma conjunta entre pelo menos dois países, o que representa pouco mais de 25% dos casos. O ranking dos países que mais publicaram no tema é liderado pelos Estados Unidos, seguido de China, Austrália, Suíça e Japão. O Brasil teve apenas uma publicação, pela Universidade de São Paulo (Figura 4). Em relação aos centros de pesquisa, as mais atuantes na área foram a *University of Adelaide*, na Austrália, e a *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, na Suíça, com 5 publicações cada.



**Figura 4 – Publicações por país.**

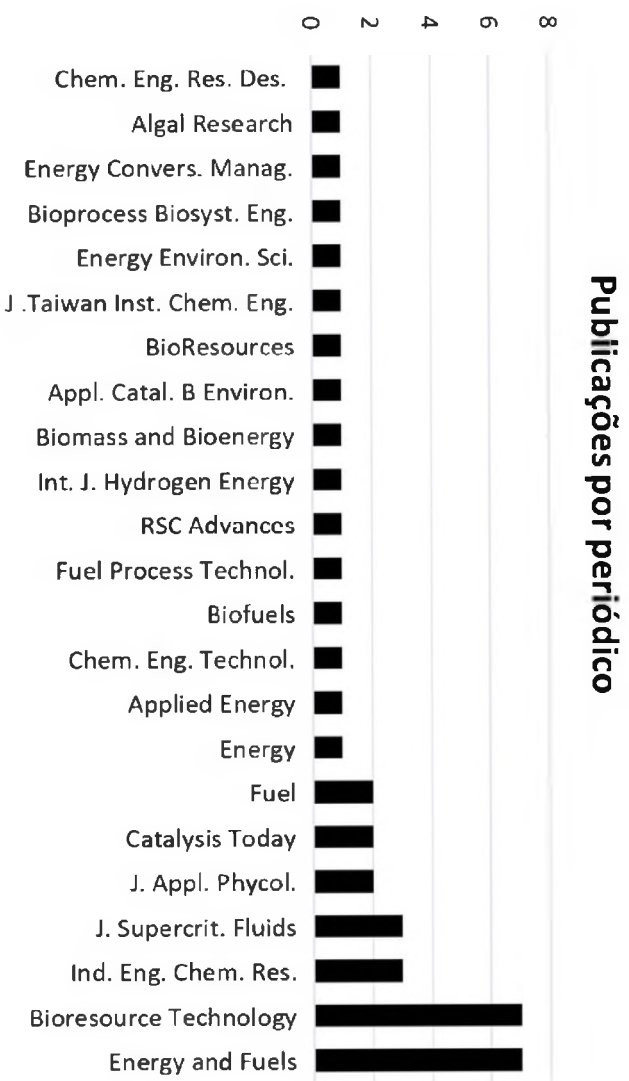


Figura 3 – Publicações por periódico.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

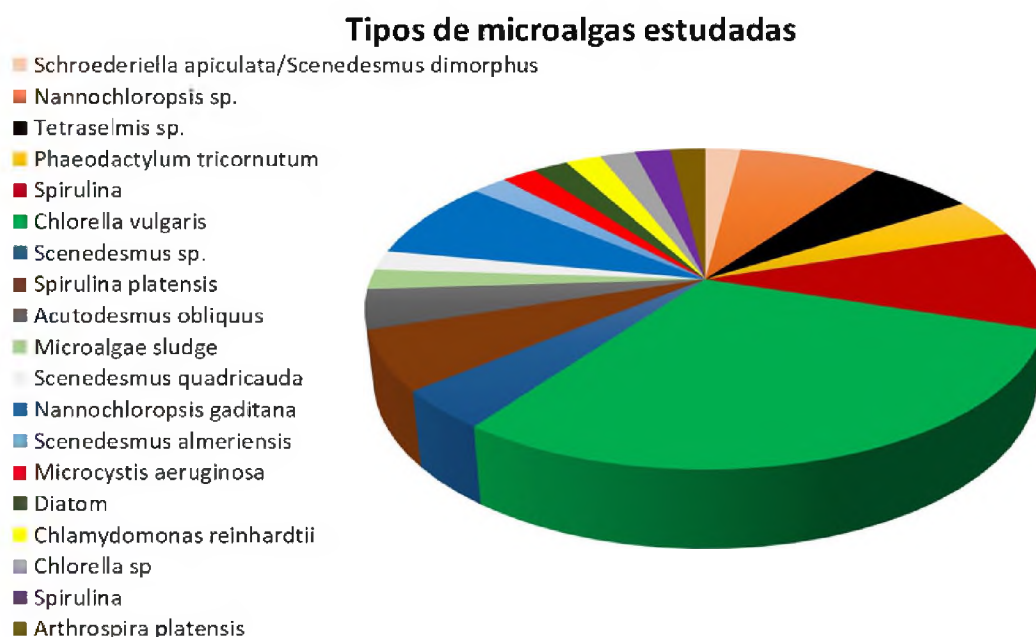
Apesar da variedade de espécies de microalgas conhecidas, apenas 18 espécies diferentes de microalgas (e cianobactéria *Spirulina*) foram estudadas na gaseificação (Figura 5). Considerando a variedade de espécies existentes, que gira em torno de 100 mil, embora apenas 35 mil tenham sido caracterizadas (Raheem *et al.*, 2015, Jankowska *et al.*, 2017), este número é muito baixo e ilustra bem o desconhecimento sobre o assunto. Acredita-se que isso esteja relacionado a facilidade de cultivo e a velocidade de crescimento de determinadas cepas.

Apenas 3 espécies marinhas foram reportadas, *Nannochloropsis gaditana*, *Nannochloropsis sp.* e *Tetraselmis sp.*, que somadas contribuíram com apenas 22% do total estudado. Uma explicação para isso pode estar no maior teor de sal e de cinzas de microalgas marinhas, que podem dificultar o processo de gaseificação ou requerer etapas adicionais de pré-tratamento, como lavagem para retirar do excesso de sal. Além disso, tipicamente microalgas marinhas exibem menor conversão do que as espécies de água doce na gaseificação hidrotérmica, embora a comparação seja difícil pelas diferentes condições do processo (Onwudili *et al.*, 2013).

Dentre as 18 espécies de microalgas e cianobactéria reportadas, nota-se uma predominância pelas espécies comercializadas *Chlorella vulgaris* e *Spirulina*, utilizadas em 40% dos trabalhos experimentais de gasei-

ficação. De fato, a maioria dos autores adquiriu as microalgas em pó ou na forma de pasta, não estando claro o processo de colheita da biomassa obtida. Por serem majoritariamente espécies consolidadas na indústria alimentar, acredita-se que os processos de colheita empregados não se basearam na incorporação de produtos para coagulação - floculação, para manter a biomassa isenta de contaminantes químicos. Nos atuais sistemas comerciais de microalgas, apesar de caros e intensivos em energia, centrífugas e filtros são os equipamentos mais utilizados (Lananan *et al.*, 2016). Por outro lado, para a obtenção de produtos a granel de menor valor, tal como os biocombustíveis, os custos de investimento e operação destes processos comprometem a viabilidade econômica dos empreendimentos (Ummalyma *et al.*, 2016). Para grandes escalas, dentre todos os métodos de separação de microalgas, o mais eficiente é a coagulação - floculação - sedimentação (Anthony *et al.*, 2013). Oferecendo vantagens na operação, na eficiência da colheita e nas possibilidades tecnológicas, o método é citado como o mais adequado por alguns autores (Wan *et al.*, 2015, Ummalyma *et al.*, 2017). Para Gerchman *et al.* (2017), ele apresenta melhor custo benefício, pois que permite o tratamento de grandes volumes. Mesmo assim, nenhum autor avaliou a biomassa obtida por coagulação - floculação química e a influência que os produtos químicos empregados misturados à biomassa exerce no processo de gaseificação. Os poucos autores que relataram o próprio cultivo e colheita de microalgas adotaram técnicas incompa-





**Figura 5 – Tipos de microalgas e cianobactérias estudadas.**

tíveis no contexto de um processo industrial de grande escala, tal como raspagem do leito decantado no fundo da lagoa, centrifugação, eletrofloculação filtração a vácuo e com membrana.

Outro desafio para a produção de microalgas é a grande quantidade de nutrientes requerida. A produção atual de microalgas com o uso de nutrientes tradicionais é vista como insustentável e uma redução na demanda é imperativa. Não existe dúvida de que a disponibilidade de nutrientes se tornará escassa nas próximas gerações, caso nenhuma mudança sustentável ocorra na agricultura. Os depósitos de fosforo serão limitados e o alto consumo de nitrogênio implica em poluições ambientais, como o aumento de NO<sub>2</sub> na atmosfera e a acidi-

ficção do ambiente (Patzelt *et al.*, 2015). Além disso, diversos autores já realizaram uma análise de ciclo de vida (ACV), de alguns processos envolvendo microalgas (ACV para a gaseificação de microalgas não foi encontrada na literatura), e apontaram o uso de nutrientes no cultivo como um importante colaborador para os impactos ambientais do processo (Pérez-López *et al.*, 2014a,b). Estudos indicaram a valorização de esgoto e subprodutos como fonte nutricional, como possível alternativa para reduzir esses impactos e conferir mais sustentabilidade ao processo (De Benedetti *et al.*, 2015, Maranduba *et al.*, 2015, Medeiros *et al.*, 2015). De uma maneira geral, as microalgas demandam mais nutrientes para seu metabolismo do que as plantas terrestres, o que intensifica o uso

de energia embutido no cultivo (Minowa e Sawayama, 1999). Quando o transporte de nutrientes e água não é necessário, uma quantidade significativa de energia pode ser salva (Duman *et al.*, 2014). Isso tem despertado o interesse em usar águas residuárias como meio nutricional, oferecendo uma importante economia no cultivo (Raheem *et al.*, 2015). A combinação de tratamento de esgoto com a produção de biocombustível tem sido apontada como o cenário mais plausível para aplicação comercial do cultivo de microalgas no curto prazo. Microalgas cultivadas no esgoto têm sido reportadas com alta produtividade, sugerindo uma ótima alternativa para a produção de biocombustível de forma econômica e sustentável (Manara e Zabaniotou, 2012). Mesmo neste cenário, a gaseificação de microalgas cultivadas em águas residuárias foi estudada por poucos pesquisadores, tal como Zhu *et al.* (2015, 2016). Nestas duas publicações, eles usaram *Scenedesmus* sp. obtidas em lagoas de estabilização alimentadas com esgoto industrial e municipal. Sharara e Sadaka (2015) recuperaram um lodo algáceo composto por espécies nativas e diatomáceas em uma lagoa de estabilização aplicada ao

tratamento de esgoto. Os sistemas de tratamento não foram detalhados em termos de configuração e de desempenho, bem como a caracterização do esgoto introduzido nas lagoas. De acordo com esta revisão, há uma lacuna importante em termos de pesquisas nesta área.

### CONCLUSÕES/ RECOMENDAÇÕES

Este estudo mapeou a gaseificação experimental de microalgas. O trabalho realizou uma extensa revisão bibliométrica e sistemática, que abrangeu um total de 42 artigos. A análise bibliométrica indicou um interesse crescente do tema nos últimos 5 anos, condizente com o atual cenário mundial, cada vez mais demandante por energia alternativa limpa. Os resultados mostraram que a maioria dos estudos foi realizado para espécies puras de microalgas, obtidas de forma comercial. Sistemas mais compatíveis com o cenário de biocombustíveis ainda precisam ser estudados, tal como a gaseificação de lodos algáceos colhidos por processos de floculação, e com valorização de esgoto como meio nutricional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Raheem A, Wan Azlina WAKG, Taufiq Yap YH, Danquah MK, Harun R. Thermochemical conversion of microalgal biomass for biofuel production. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49. doi:10.1016/j.rser.2015.04.186.
2. Soreanu G, Tomaszewicz M, Fernandez-Lopez M, Valverde JL, Zuwała J, Sanchez-Silva L. CO<sub>2</sub> gasification process performance for energetic valorization of microalgae. *Energy* 2017;119. doi:10.1016/j.energy.2016.12.046.
3. Ernmenta I, Nel LPA. *Climate Change 2014 Synthesis Report*. n.d.
4. Wakeel M, Chen B, Hayat T, Alsaedi A, Ahmad B. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. *Appl Energy* 2016;178:868–85. doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.114.
5. Heidenreich S, Foscolo PU. New concepts in biomass gasification. *Prog Energy Combust Sci* 2015;46:72–95. doi:10.1016/j.pecs.2014.06.002.
6. Patel B, Guo M, Izadpanah A, Shah N, Hellgardt K. A review on hydrothermal pretreatment technologies and environmental profiles of algal biomass processing. *Bioresour Technol* 2016;199. doi:10.1016/j.biortech.2015.09.064.
7. Vandamme D, Foubert I, Muylaert K. Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. *Trends Biotechnol* 2013;31:233–9. doi:10.1016/j.tibtech.2012.12.005.
8. Nipattummakul N, Ahmed II, Kerdsuwan S, Gupta AK. Hydrogen and syngas production from sewage sludge via steam gasification. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:11738–45. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.08.032.
9. Ensslin L, Ensslin, SR., Lacerda, RTO., Tasca, JE., 2010. ProKnow-C, KnowledgeDevelopment Process- Constructivist [Technical process with pending patent in the National Institute of Industrial Property (NIIP) of Brazil].
10. Viegas C V., Bond AJ, Vaz CR, Borchardt M, Pereira GM, Selig PM, et al. Critical attributes of Sustainability in Higher Education: A categorisation from literature review. *J Clean Prod* 2016;126:260–76. doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.106.
11. Ferenhof HA, Vignochi L, Selig PM, Lezana ÁGR, Campos LMS. Environmental management systems in small and medium-sized enterprises: An analysis and systematic review. *J Clean Prod* 2014;74:44–53. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.027.
12. [14] Jankowska E, Sahu AK, Oleskiewicz-Popiel P. Biogas from microalgae: Review on microalgae's cultivation, harvesting and pretreatment for anaerobic digestion. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;75:692–709. doi:10.1016/j.rser.2016.11.045.
13. Gerchman Y, Vasker B, Tavasi M, Mishael Y, Kinel-Tahan Y, Yehoshua Y. Effective harvesting of microalgae: Comparison of different polymeric flocculants. *Bioresour Technol* 2017;228:141–6. doi:10.1016/j.biortech.2016.12.040.
14. Wan C, Alam MA, Zhao XQ, Zhang XY, Guo SL, Ho SH, et al. Current progress and future prospect of microalgal biomass harvest using various flocculation technologies. *Bioresour Technol* 2015;184:251–7.

- doi:10.1016/j.biortech.2014.11.081.
15. Ummalyma SB, Gnansounou E, Sukumaran RK, Sindhu R, Pandey A, Sahoo D. Bioflocculation: An alternative strategy for harvesting of microalgae – An overview. *Bioresour Technol* 2017;242:227–35. doi:10.1016/j.biortech.2017.02.097.
  16. Anthony RJ, Ellis JT, Sathish A, Rahman A, Miller CD, Sims RC. Effect of coagulant/flocculants on bioproducts from microalgae. *Bioresour Technol* 2013;149:65–70. doi:10.1016/j.biortech.2013.09.028.
  17. Minowa T, Sawayama S. A novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel* 1999;78:1213–5. doi:10.1016/S0016-2361(99)00047-2.
  18. Duman G, Uddin MA, Yanik J. Hydrogen production from algal biomass via steam gasification. *Bioresour Technol* 2014;166. doi:10.1016/j.biortech.2014.04.096.
  19. Manara P, Zabaniotou A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion - A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:2566–82. doi:10.1016/j.rser.2012.01.074.
  20. Patzelt DJ, Hindersin S, Elsayed S, Boukris N, Kerner M, Hanelt D. Hydrothermal gasification of *Acutodesmus obliquus* for renewable energy production and nutrient recycling of microalgal mass cultures. *J Appl Phycol* 2015;27. doi:10.1007/s10811-014-0496-y.
  21. Pérez-López P, González-García S, Ulloa RG, Sineiro J, Feijoo G, Moreira MT. Life cycle assessment of the production of bioactive compounds from *Tetraselmis suecica* at pilot scale. *J Clean Prod* 2014;64. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.028.
  22. [29] Pérez-López P, González-García S, Allewaert C, Verween A, Murray P, Feijoo G, et al. Environmental evaluation of eicosapentaenoic acid production by *Phaeodactylum tricornutum*. *Sci Total Environ* 2014;466–467:991–1002. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.07.105.
  23. De Benedetti B, Barbera AC, Freni P, Tecchio P. Wastewater valorization adopting the microalgae accelerated growth. *Desalin Water Treat* 2015;53:1001–11. doi:10.1080/19443994.2013.848412.
  24. Maranduba HL, Robra S, Nascimento IA, da Cruz RS, Rodrigues LB, de Almeida Neto JA. Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system. *Bioresour Technol* 2015;194:21–7. doi:10.1016/j.biortech.2015.06.113.
  25. Medeiros DL, Sales EA, Kiperstok A. Energy production from microalgae biomass: Carbon footprint and energy balance. *J Clean Prod* 2015;96. doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.038.
  26. Sharara MA, Sadaka SS. Gasification of phycoremediation algal biomass. *Bio-Resources* 2015;10. doi:10.15376/biores.10.2.2609-2625.
  27. Zhu Y, Piotrowska P, Van Eyk PJ, Boström D, Wu X, Boman C, et al. Fluidized Bed Co-gasification of Algae and Wood Pellets: Gas Yields and Bed Agglomeration Analysis. *Energy and Fuels* 2016;30. doi:10.1021/acs.energyfuels.5b02291.
  28. Zhu Y, Piotrowska P, Van Eyk PJ, Boström D, Kwong CW, Wang D, et al. Cogasification of Australian brown coal with algae in a fluidized bed reactor. *Energy and Fuels*

- 2015;29. doi:10.1021/ef502422t.
29. Onwudili JA, Lea-Langton AR, Ross AB, Williams PT. Catalytic hydrothermal gasification of algae for hydrogen production: Composition of reaction products and potential for nutrient recycling. *Bioresour Technol* 2013;127. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.020.
30. Lananan F, Mohd Yunus FH, Mohd Nasir N, Abu Bakar NS, Lam SS, Jusoh A. Optimization of biomass harvesting of microalgae, *Chlorella* sp. utilizing auto-flocculating microalgae, *Ankistrodesmus* sp. as bio-flocculant. *Int Biodeterior Biodegrad* 2016;113:391–6. doi:10.1016/j.ibiod.2016.04.022.
31. Ummalyma SB, Mathew AK, Pandey A, Sukumaran RK. Harvesting of microalgal biomass: Efficient method for flocculation through pH modulation. *Bioresour Technol* 2016;213:216–21. doi:10.1016/j.biortech.2016.03.114.