

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO MICROALGA *Chlorella vulgaris*

TECHNOLOGICAL PROSPECTION OF EFFLUENT TREATMENT USING MICROALGA *Chlorella vulgaris*

Yasmin Oliveira Carvalho - yasminfive@hotmail.com

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Sergipe

Monique Lima de Melo - moniquelima1@hotmail.com

Graduada em Química Industrial – Universidade Federal de Sergipe

Cristina Ferraz Silva - ferrazcristina@ufs.br

Docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Sergipe

Resumo—Devido ao aumento das atividades industriais e humanas, e do grande crescimento populacional, diversos danos estão sendo causados ao meio ambiente. Diante disso, existe a necessidade de se adotar tecnologias e processos mais limpos e sustentáveis, com maior eficiência e baixos custos, que não impactem negativamente no meio ambiente nem na sociedade. Com isso, as microalgas vêm demonstrando grande destaque, no que se refere a novas tecnologias. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo prospectivo sobre a aplicação da tecnologia da microalga *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes. Foram investigados patentes, teses e artigos científicos em bases de dados gratuitas com o uso de onze palavras-chave, tanto em inglês como em português, além do uso da ferramenta de pesquisa avançada. Os resultados obtidos demonstram que esse tipo de tecnologia se destaca como uma das principais aplicações das microalgas. Os Estados Unidos encontram-se em primeiro lugar no ranking de patentes, com um total de 133 patentes no período de 2005 à 2014. O Brasil se destaca apenas em trabalhos publicados na forma de artigos e teses, com um total de 220 publicações no mesmo período.

Palavras-chave—Prospecção tecnológica; *Chlorella vulgaris*; Tratamento de efluentes.

Abstract—Due to rising industrial and human activities, with high population growth, various phenomena are occurring to the environment. Given this, there is a need to adopt cleaner and more sustainable technologies and processes, with greater efficiency and low costs, that do not negatively impact the environment or society. Therewith, microalgae have shown great emphasis, as regards for new technologies. This study aimed, conduct a prospective study on the application of technology of *Chlorella vulgaris* microalgae in wastewater treatment. Patents, theses and scientific papers were investigated in free databases with the use of eleven keywords, in English as well as in Portuguese, as well as the use of the advanced search tool. It is observed in the results that this technology stands out as one of the main applications of microalgae. The United States ranks first in the patent rankings, with a total of 133 patents over a period of 2005 to 2014. Brazil stands out only in articles published in the form of articles and theses, with a total of 220 publications in the same period.

Keywords—Prospecting technology; *Chlorella vulgaris*; wastewater treatment.

1 INTRODUÇÃO

O aumento das atividades industriais, humanas e agrícolas, vem acarretando a aceleração do processo de eutrofização, fenômeno caracterizado pela proliferação de algas, causando a escassez de oxigênio, desequilibrando o ecossistema, matando a vida marinha e poluindo as águas. Devido à diversidade de causas desse processo, procura-se evitar a introdução nos corpos d'água de nutrientes ou de matéria orgânica passível de mineralização (MUJTABA e LEE, 2017). Como isso, inúmeros questionamentos têm sido levantados em relação à necessidade de se adotar tecnologias e processos mais limpos, sustentáveis, produtivos, com menores custos e com mínimo efeito nocivo ao ambiente e à sociedade (BICHARA, 2014).

Por consequência, as microalgas vêm ganhando grande espaço dentro do panorama das pesquisas mundiais nessa área. A importância das microalgas está no crescimento rápido, cultivo simples e em sua biomassa. A biomassa microalgal pode ser destinada para fins de interesse alimentares, químico, cosmético e farmacêutico, já que é rica em compostos biologicamente ativos como, por exemplo, vitaminas, proteínas, ácidos graxos insaturados, dentre outros (CHEW et al., 2017).

A grande diversidade de microalgas e suas características fisiológicas tornam este grupo uma fonte potencialmente rica para a aplicação em diferentes setores da economia (GALARZA et al., 2016). Diversos estudos mostram que as microalgas são uma excelente alternativa para a remoção de nitrogênio e fósforo no tratamento de efluentes, com destaque na espécie *Chlorella vulgaris*. Os processos biológicos tornaram-se uma alternativa interessante no combate à poluição e na geração de novos produtos, uma vez que esses processos utilizam-se do metabolismo microbiano para degradar e remover poluentes (GADD, 2008). Sendo assim, torna-se indispensável o conhecimento do panorama de patentes e trabalhos científicos relacionados ao tratamento de efluentes com o uso de microalgas.

Em virtude disso, o objetivo do presente trabalho foi realizar um estudo de prospecção tecnológica a fim de coletar informações a respeito do tratamento de efluentes utilizando a microalga *Chlorella vulgaris*, incluindo a busca de patentes, teses e artigos científicos em base de dados oficiais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O tratamento de efluentes envolve altos custos, com isso, há uma necessidade de buscar outros meios para a remoção de nutrientes e matéria orgânica. O uso de sistemas biológicos serve como uma forma barata e eficiente de remoção de nutrientes e metais pesados de águas residuais, podendo até ultrapassar algumas limitações dos tratamentos físicos e químicos (HAMEED, 2007).

As estações de tratamento de efluentes executam diversas etapas, tendo início a partir do tratamento primário, onde sólidos grosseiros em suspensão são removidos. O tratamento secundário elimina sólidos dissolvidos e sólidos suspensos finos, e ao final, é realizado o tratamento terciário, onde nutrientes e patógenos são removidos. É na etapa terciária que os sistemas de algas têm sido amplamente utilizados (MACHADO, 2005).

A ideia do uso de microalgas em processos de remoção de nutrientes foi proposta pela primeira vez por Oswald e Gotaas (1957). Dentre as espécies de microalgas utilizadas para a remoção de poluentes, destaca-se a *Chlorella vulgaris*. Muitos autores relatam que a *Chlorella* é uma espécie comum e eficaz para a imobilização e para fins de remoção de nutrientes (HAMEED, 2007) e metais pesados (HAMEED, 2006).

As microalgas são microrganismos fotossintéticos capazes de armazenar energia solar, convertendo-a em energia biológica. Destacam-se por apresentarem elevado teor de proteínas, aminoácidos essenciais, vitaminas, sais minerais, pigmentos, ácidos graxos poli-insaturados e outros compostos biologicamente ativos (HADJ-ROMDHANE et al., 2012). As culturas de microalgas são uma boa solução para tratamentos de água residual devido a sua capacidade de usar nitrogênio e fósforo inorgânicos para o seu crescimento (MUJTABA; LEE, 2017). As microalgas assimilam esses nutrientes incorporando-os à sua biomassa, obtendo um produto enriquecido nutricionalmente, que pode ser utilizado como suplemento alimentar, na aquicultura e em várias outras áreas de atuação (METCALF; EDDY, 1995).

Estudos realizados por Olguín et al. (2001), Rodrigues (2000) e Méndez (2003), demonstram que as microalgas podem ser utilizadas na biorremediação de resíduos industriais de fertilizantes, de resíduos de criação de suínos e efluentes de indústrias de suco de laranja.

Estudos realizados por Mujtaba e Lee (2017), obtiveram ótimos resultados no tratamento terciário de efluente sanitário. Eles utilizaram uma interação de lodo ativado com a microalga *Chlorella vulgaris*, e obtiveram em seus

ensaios 95% de remoção de nitrogênio em 84 horas de tratamento e 100% de remoção de fósforo em 36 horas de tratamento.

Diante da necessidade de definir estratégias baseadas na tecnologia, a prospecção tecnológica surge como uma importante alternativa para a tomada de decisões estratégicas. A Prospecção Tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros, capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo (CARUSO; TIGRE, 2004).

De acordo com Bahruth et al. (2006) apud Mayerhoff (2008) a prospecção é separada em quatro fases, (i) fase preparatória para a definição de objetivos, escopo, abordagem e a metodologia utilizada durante a prospecção; (ii) fase pré-prospectiva, na qual é realizado o detalhamento da metodologia, bem como o levantamento da fonte de dados; (iii) fase prospectiva, que esta relacionada à coleta, ao tratamento e à análise dos dados, obtidos durante a fase pré-prospectiva; (iv) fase pós-prospectiva, que é a etapa final do processo e inclui a comunicação dos resultados, bem como a implementação das ações e decisões a serem tomadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a prospecção tecnológica foram investigados patentes, teses e artigos científicos, seguindo as quatro fases determinadas por Bahruth et al. (2006) apud Mayerhoff (2008). O estudo prospectivo relacionado a patentes foi realizado em base de dados gratuitas, no Banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) do Brasil; no European Patent Office (Espacenet), base de dados do escritório europeu e de mais de 70 países; na World Intellectual Property Organization (WIPO); no United States Patent and Trademark Office (USPTO), escritório Norte-americano; e no Google Patents. Os artigos e teses foram mapeados na base de periódicos, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Periódicos Capes.

O foco da pesquisa foi o levantamento de dados a respeito do uso da microalga *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes, onde foi elaborada uma estratégia de busca para o levantamento dos dados, sendo levado em consideração o uso de palavras-chave em inglês e português, como o nome científico da microalga de interesse (*Chlorella vulgaris*), palavras como microalgae (microalga), wastewater treatment (tratamento de efluentes) e mais alguns substantivos de interesse, tais como biomass (biomassa), cosmetic (cosmético), food (alimento), medications (medicamentos), bioremediation (biorremediação), entre outras.

Para refinar a busca, foi utilizada a ferramenta da pesquisa avançada (Advanced Search) existente em cada banco de dados, sendo preenchidos os campos de pesquisa “título”, “resumo” e “ano de publicação”. Essa estratégia foi utilizada para determinar as especificações da publicação selecionada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento de patentes resultou em um total de 170.690 patentes para pesquisas realizadas apenas com as palavras-chave (tanto em inglês, quanto em português), sem o uso da pesquisa avançada. É possível observar na Tabela I. A Tabela I demonstra um elevado número de depósitos na base Google Patentes e Espacenet, escritórios que englobam a maior parte dos países depositantes de patentes.

TABELA I
PESQUISA DE PATENTES POR PALAVRAS-CHAVE NOS DIFERENTES BANCOS

Palavras-chave	INPI	Espacenet	USPTO	Google Patentes	Wipo	Total
Microalgas	42	3146	2872	2714	2539	11313
<i>Chlorella vulgaris</i>	0	157	856	857	148	2018
Biorremediação	18	1482	2515	1353	1400	6768
Eutrofização	0	1070	912	1027	728	3737
Tratamento de Efluentes	181	27991	7315	8564	19938	63989
Água Residual	136	402	11014	4713	396	16661
Remoção de Nutrientes em Água	6	3	0	52669	3943	56621
Biomassa Algal	2	517	742	3289	502	5052
Aplicação das Microalgas	0	200	8	2110	158	2476
Cultivo de Microalgas	12	402	145	1170	326	2055
Total	397	35370	26379	78466	30078	170690

A Tabela II demonstra o resultado obtido na busca de teses e artigos científicos. Foram catalogadas 31.301 publicações referentes à pesquisa das palavras-chave (tanto no inglês, quanto em português), sem o uso da pesquisa avançada. Foi observada uma maior quantidade de trabalhos no acervo Periódico Capes, que engloba trabalhos de diversos países.

TABELA II
PESQUISA DE TESES E ARTIGOS CIENTÍFICOS POR PALAVRA-CHAVE NOS DIFERENTES BANCOS

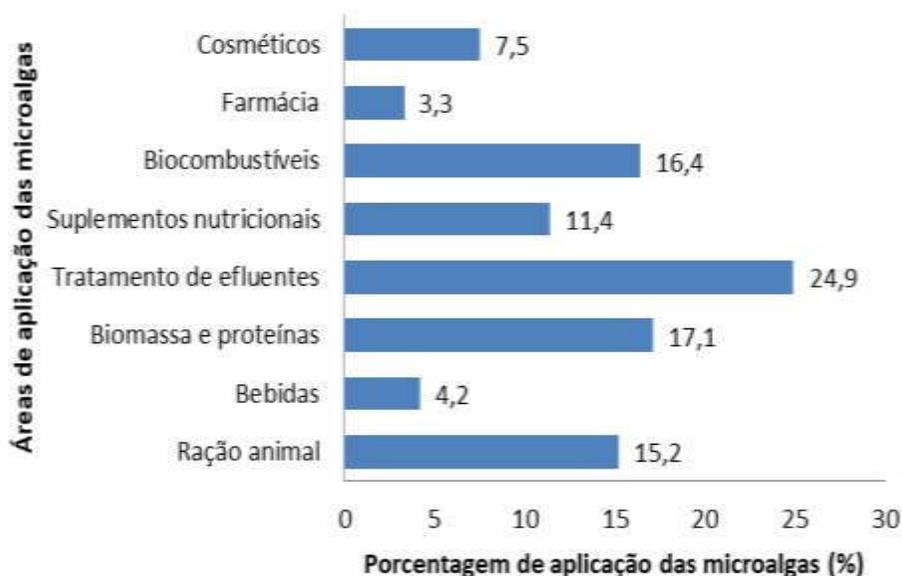
Palavra-chave	Scielo	Capes	Total
Microalgas	104	16587	16691
<i>Chlorella vulgaris</i>	6	7881	7887
Biorremediação	118	148	266
Eutrofização	167	222	389
Tratamento de Efluentes	53	875	928
Água Residual	6	456	462
Remoção de Nutrientes em Água (Nitrogênio e Fósforo)	0	110	110
Biomassa Algal	3	450	453
Aplicação das Microalgas	0	1231	1231
Cultivo de Microalgas	0	2884	2884
Total	457	30844	31301

4.1 MAPEAMENTO DE PATENTES

Com base na pesquisa de produção científica por palavras-chave de patentes, os dados totais obtidos demonstram que do total de patentes identificadas, 46,0% foram depositadas no Google Patentes, seguido do Espacenet com 20,7%, enquanto que o banco de dados brasileiro INPI possui o menor número com apenas 0,2%.

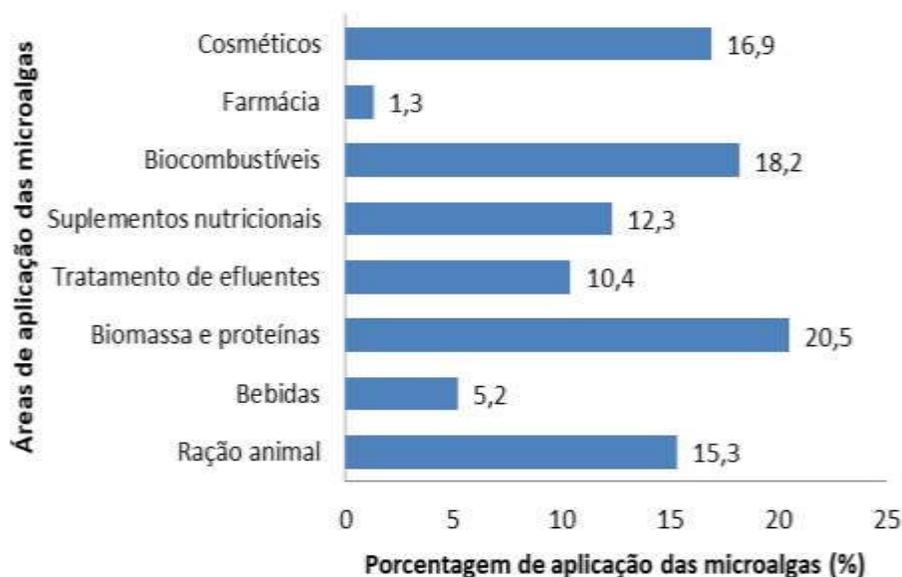
Na Figura 1, foram selecionadas as diversas aplicações das microalgas, onde a maioria das patentes refere-se à utilização de microalgas no tratamento de efluentes, demonstrando a necessidade na busca por tratamentos alternativos, mais baratos e eficazes, principalmente para a remoção de nutrientes.

Figura 1. Principais aplicações das microalgas



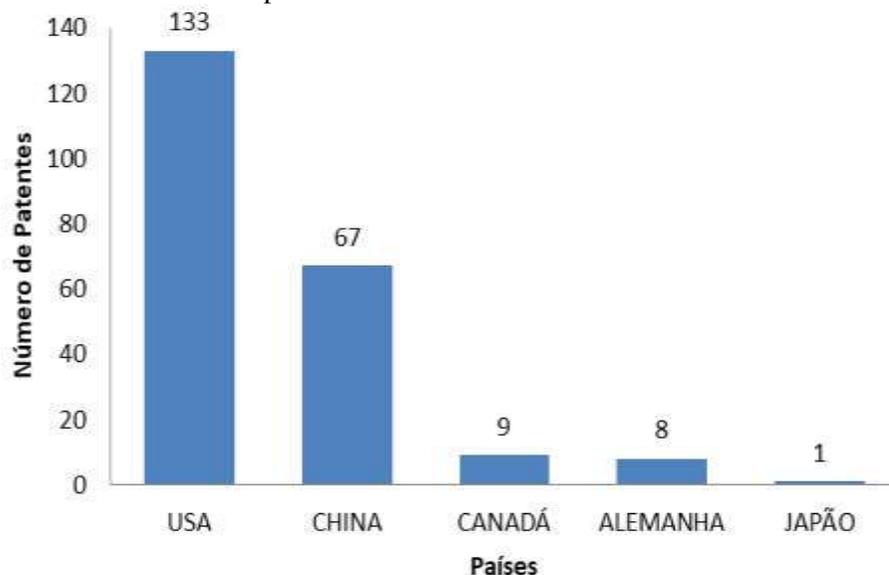
A Figura 2 evidencia as diversas aplicações da microalga *Chlorella vulgaris*. A maioria das patentes encontradas referem-se à utilização da *Chlorella vulgaris* para a obtenção de biomassa e como fonte de proteínas, seguido da aplicação em biocombustíveis. Esse resultado confirma as afirmações feitas por Galarza et al. (2016), que as microalgas têm ganhado bastante atenção, tanto pela produção de biocombustíveis como recurso energético para suprir o esgotamento dos combustíveis fósseis disponíveis, quanto pela aplicação em processos sustentáveis.

Figura 2. Principais aplicações da *Chlorella vulgaris*



Na Figura 3, estão distribuídas as patentes relacionadas ao tratamento de efluentes utilizando a *Chlorella vulgaris* em alguns países entre os anos de 2005 a 2014. Não foi encontrada nenhuma patente sobre a *Chlorella vulgaris* na base de dados brasileira, INPI.

Figura 3. Distribuição de patentes utilizando *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes publicadas por países entre 2005 – 2014



O Japão possui uma ótima colocação no ranking de patentes, devido principalmente a sua grande quantidade de examinadores no escritório de patentes (WIPO, 2015). Apesar disso, o presente estudo conseguiu identificar apenas uma patente relacionada ao tratamento de efluente utilizando a *Chlorella vulgaris*, diferente dos Estados Unidos, onde foram catalogadas mais de 100 patentes referentes ao assunto em um intervalo de quase 10 anos.

4.2 MAPEAMENTO DE TESES E ARTIGOS CIENTÍFICOS

Os dados obtidos na busca por teses e artigos científicos foram analisados e foi observado que do total de artigos e teses pesquisados, 99% foram encontrados nos periódicos Capes, enquanto que a base Scielo apresentou somente 1% de artigos e teses referentes ao assunto proposto.

Na Figura 4, estão apresentadas algumas aplicações das microalgas publicadas em artigos científicos e teses. Na Figura 5, encontram-se os artigos e teses catalogados referentes ao uso da *Chlorella vulgaris* em diversas aplicações. Os dados apresentados nas Figuras 4 e 5 demonstram um maior número de artigos e teses com aplicação das microalgas na área de biocombustíveis, seguido de tratamento de efluentes.

Figura 4. Distribuição de algumas aplicações das microalgas em artigos e teses

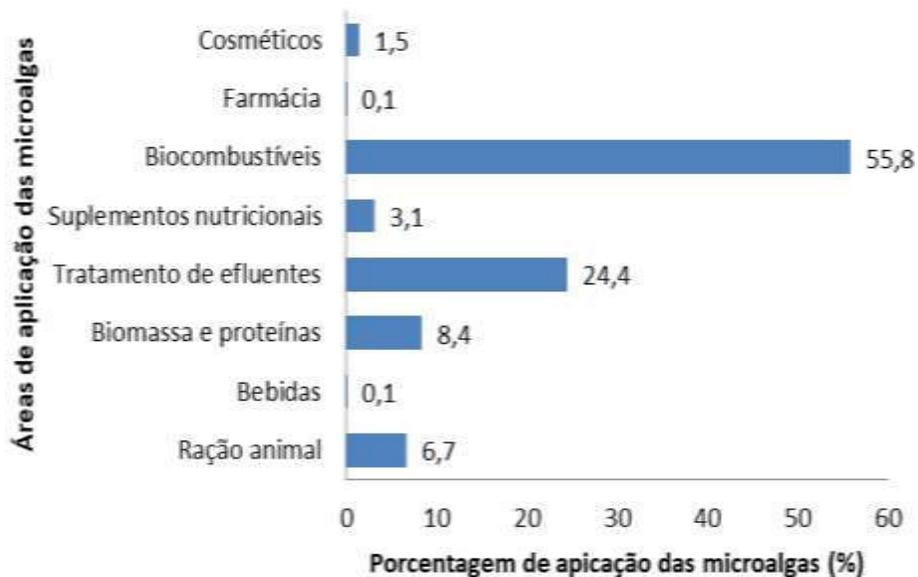
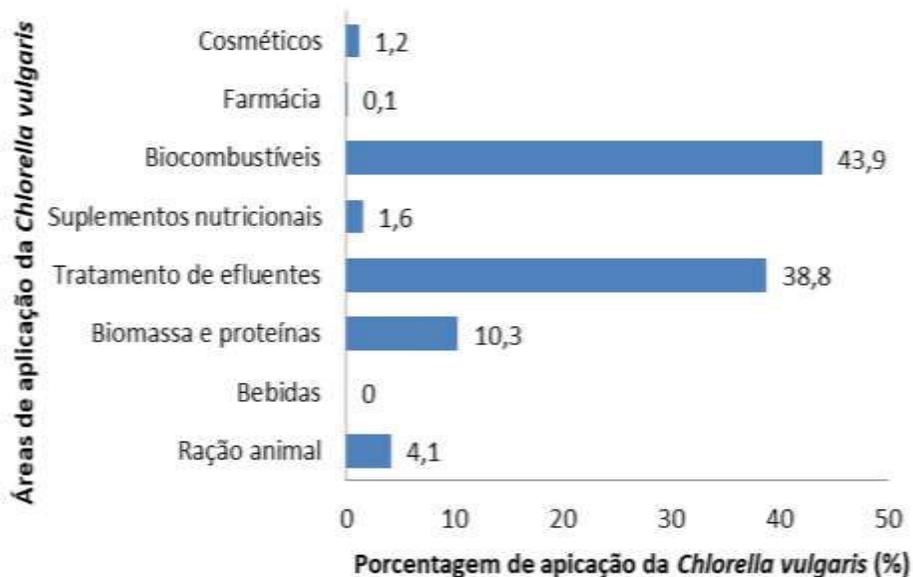
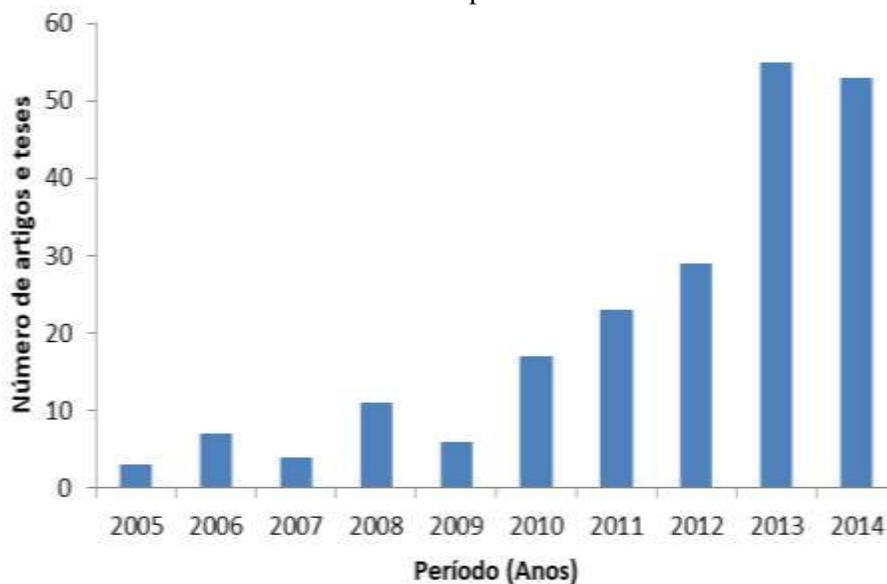


Figura 5. Distribuição de algumas aplicações da *Chlorella vulgaris* em artigos e teses



Na Figura 6 estão distribuídos os artigos e teses sobre o tratamento de efluentes utilizando a microalga *Chlorella vulgaris* nos anos de 2005 a 2014. Pequenos declínios ocorreram nos anos de 2009 e 2014. Não foram encontrados artigos e teses na base de dados Scielo sobre o uso da microalga *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes.

Figura 6. Evolução anual de artigos e teses publicados sobre o uso da microalga *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes no período de 2005 e 2014



Os estudos prospectivos por meio de sua visão para o futuro possibilitam a valorização das inovações tecnológicas, tornando-se uma ferramenta estratégica de importante uso para uma organização e para uma nação inteira. Cabe ressaltar que o uso de microalgas é viável para o tratamento de efluentes visto que, além da diversidade de aplicações, estas são produzidas de forma contínua, em curto período e compreendendo uma fonte de energia renovável. Dentre as principais microalgas estudadas, a *Chlorella vulgaris* merece destaque uma vez que é a mais utilizada no sentido de biorremediação de águas.

5 CONCLUSÕES

Esse trabalho analisou o uso da microalga *Chlorella vulgaris* no tratamento de efluentes e os dados da prospecção obtidos demonstraram que artigos e teses sobre esse assunto apresentaram um avanço crescente com o passar dos anos.

A maioria das tecnologias relacionadas à aplicação da *Chlorella vulgaris* estão relacionadas a obtenção de biocombustíveis e, no uso de sua biomassa algal em ração animal e em suplementos alimentares, principalmente devido ao fato desse microrganismo apresentar fácil cultivo, rápido crescimento e elevado conteúdo proteico.

O Brasil possui um acervo muito pequeno em relação a outros países, não havendo patentes publicadas sobre o tema, mas possui alguns estudos concluídos ou em andamento. Isso pode estar relacionado à falta de interesse do mercado e incentivos que poderiam ampliar o cenário para descobertas de novas tecnologias. Sobretudo, essa situação pode mudar futuramente, devido ao aumento na produção de tecnologias com recursos biológicos, que impulsionam a realização de atividades voltadas ao surgimento de tecnologias com características sustentáveis.

Trabalhos futuros poderão realizar estudos prospectivos sobre os vários seguimentos das microalgas no mercado brasileiro, como também focar no uso da *Chlorella vulgaris* em diversas outras aplicações.

AGRADECIMENTO

Os autores do presente trabalho agradecem à Universidade Federal de Sergipe (UFS), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PEQ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCIAS

BICHARA, A. **Tratamento de vinhaça por processo físicos-químicos de precipitação química e flotação e sua utilização como meio de cultivo para a microalga de potencial bioenergético, *Chlorella vulgaris***. 2014. 154f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP, Brasil, 2014.

CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. **Modelo SENAI de Prospecção: Documento metodológico**. Montevideo: CINTERFOR/OIT, p. 77, 2004.

CHEW, K. W.; YAP, J. Y.; SHOW, P. L.; SUAN, N. H.; JUAN, J. C.; LING, T. C.; LEE, D.; CHANG, J. Microalgae biorefinery: High value products perspectives. **Bioresource Technology**, v. 229, p. 53-62, 2017.

ESPACENET, disponível em: < <http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch> >. Acesso em 03/07/2015.

GADD, G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 84, p. 13-28, 2009.

GALARZA, J. I.; DELGADO, N.; HENRÍQUEZ, V. Cisgenesis and intragenesis in microalgae: promising advancements towards sustainable metabolites production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.100, p. 10225–10235, 2016.

GOOGLE PATENTS, disponível em: < http://www.google.com.br/advanced_patent_search >. Acesso em 05/07/2015.

HAMEED, M. S. A. Effect of algal density in bead, bead size and bead concentrations on wastewater nutrient removal. **African Journal of Biotechnology**, Vol. 6, n. 10, p. 1185-1191, 2007.

HAMEED, M. S. A. Continuous removal and recovery of lead by alginate beads, free and alginate-immobilized *Chlorella vulgaris*. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 19, p. 1819-1823, 2006.

INPI, disponível em: < <http://gru.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchAvancado.jsp> >. Acesso em 03/07/2015.

MACHADO, B. J. F. **Reuso de efluentes em torres de resfriamento – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. 2005. 106f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2005.

MAYERHOFF, Z. D. V. L. **Uma análise sobre os estudos de prospecção tecnológica**. Caderno de Prospecção, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2008.

MÉNDEZ, N. J. Evaluación de la remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales por El alga *Chlorella* ssp. **Revista Institucional de la Facultad de Salud. Colombia**, v. 2, p. 41-46, 2003

METCALF, R. **Ingeniería de Aguas Residuales – tratamiento, vertido y reutilización**. 1. ed. Espanha: MacGRAW Hill, p. 1508, 1995.

MUJTABA, G.; LEE, K. Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge. **Water Research**, v. 120, p. 174-184, 2017.

OLGUÍN, E. J.; GALICIA, S.; GUERRERO, O.; HERNANDEZ, E. The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of Spirulina sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 1, p. 19-24, 2001.

OSWALD, W. J.; GOTAAS, H. B. Photosynthesis in sewage treatment. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 122, n. 1, p. 73-97, 1957.

PERIÓDICOS CAPES, disponível em: < <http://periodicos.capes.gov.br/> >. Acesso em 11/08/2015.

RODRIGUES, J. B. R. **Eficiência do Crescimento da microalga *Chlorella minutissima* e sua aplicação em resíduos de suinocultura: valorização e tratamento.** 2000. 118f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, Brasil, 2000.

SCIELO, disponível em : < <http://www.scielo.br/> >. Acesso em 10/08/15.

USPTO, disponível em: < <http://uspto.gov/patents-application-process/search-patents> >. Acesso em 22/07/2015.

WIPO, disponível em: < <http://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf> >. Acesso em 22/07/2015.