

MAPEAMENTO PROSPECTIVO DAS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Rafael de Figueiredo¹, João Inácio Soletti^{2*}, Sheyla Welma Duarte da Silva³, Jumelice dos Santos Silva⁴, Kelyane da Silva⁵, Pierre Barnabé Escodro⁶, Denise Macêdo da Silva⁷, Karol Fireman de Farias⁸, Tatiane Luciano Balliano⁹

^{1,2,3,4,6,7,8,9} Universidade Federal de Alagoas, UFAL

⁵ Instituto Nacional da Propriedade Industrial, RJ, Brasil

Rec.:19/07/2017. Ace.:04/10/2017

RESUMO

A produção de bioetanol trata-se de uma alternativa promissora que pode competir com os combustíveis fósseis e ainda contribuir com a mitigação dos gases do efeito estufa. Apesar de intensos estudos, a conversão de biomassa lignocelulósica em bioetanol ainda enfrenta vários desafios, como altos custos de produção associados às enzimas hemicelulases e celulases. O presente trabalho pretende mostrar um mapeamento das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol a partir do levantamento das patentes relacionadas ao tema tanto no Instituto Nacional de Propriedade Industrial, quanto nos principais bancos de patente internacionais, a fim de delinear os pontos positivos e negativos dessas tecnologias, tornando possível o estudo dos problemas relacionados ao processo de produção de bioetanol em larga escala.

Palavras-chave: Bioetanol. Reator. Celulase.

PROSPECTIVE MAPPING OF TECHNOLOGIES INVOLVED IN THE PRODUCTION OF BIOETHANOL

ABSTRACT

Bioethanol production is a promising alternative that can compete with fossil fuels and contribute to the mitigation of greenhouse gases. Despite intense studies, the conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol still faces several challenges, such as high production costs associated with the enzymes hemicellulases and cellulases. The present work intends to show a mapping of the technologies involved in the production of bioethanol from the survey of patents related to the subject both in the National Institute of Industrial Property and in the main international patent banks in order to delineate the positive and negative aspects of these technologies, making it possible to study the problems related to the bioethanol production process on a large scale.

Keywords: Bioethanol. Reactor. Cellulase.

Área Tecnológica: Biocombustíveis

*Autor para correspondência: jisoletti@gmail.com

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem aumentado substancialmente as preocupações com a dependência mundial dos combustíveis fósseis, devido às flutuações políticas e econômicas, bem como pelos riscos ambientais causados por sua combustão incompleta, levando à liberação de gases que contribuem para o efeito estufa e poluição ambiental (Balat & Balat, 2009; Kuloyo *et al.*, 2014; Gaur & Tiwari, 2015). Uma alternativa para minimizar tais danos ao meio ambiente é o uso de biomassa fotossintética para geração de energia, uma vez que essa matéria-prima se apresenta como um artifício promitente para produção de biocombustíveis renováveis e outros bioprodutos valiosos (Mamo *et al.*, 2013). A expectativa em produzir biocombustíveis decorrentes da maior fonte de carbono existente no planeta (complexo hemicelulósico) instigou grandes investimentos nas indústrias emergentes de biocombustíveis (Bansal *et al.*, 2009). O bioetanol derivado de materiais lignocelulósicos trata-se de uma alternativa promissora que pode competir com os combustíveis fósseis e ainda contribuir com a mitigação dos gases do efeito estufa. Sua mistura na gasolina reduz a emissão do dióxido de carbono, tornando o bioetanol um combustível limpo e renovável (Singhania *et al.*, 2010).

Dados de 2016 mostram que o Brasil assume o posto de maior produtor de etanol extraído da cana-de-açúcar no mundo. Sendo o segundo maior produtor mundial deste combustível, perdendo apenas para os Estados Unidos (que produzem o mesmo a partir do milho). Valendo ressaltar a importância desta produção, uma vez que, toda a gasolina vendida no país conta com 25% do biocombustível em sua formulação (MAPA, 2016; RFA, 2017; UNICA, 2017).

Para a produção do etanol de segunda geração, utilizando a cana-de-açúcar como biomassa, é necessário realizar a separação das fontes de carboidratos, tais como bagaço e a palha da cana. Numa etapa subsequente, as amostras são trituradas e submetidas a processos de pré-tratamento e hidrólise em reatores bioquímicos, onde há a quebra da celulose, convertendo-a em açúcares mais simples e solúveis. Após realização da hidrólise, o mosto é fermentado a partir da ação de microrganismos, e os açúcares são transformados em moléculas de etanol (Hamelinck *et al.*, 2011).

A produção de etanol a partir dos resíduos de cana-de-açúcar torna-se alvo de grande interesse para o mercado brasileiro, pois o aumento na produção pode ser obtido sem que haja a necessidade de ampliar a área plantada. Estudos mostram que uma destilaria cuja produção de etanol a partir da cana-de-açúcar seja de 1 milhão de litros por dia, poderia aumentar sua produção em 150.000 litros, com a utilização do bagaço de etanol para geração de E2G. Com a evolução da tecnologia e o aperfeiçoamento da técnica utilizada na produção de E2G, existe a expectativa de um acréscimo de 400.000 litros para o ano de 2025. Além do bagaço da cana-de-açúcar, a palha também apresenta alto potencial no teor de celulose, tornando-se assim, uma fonte rica para a extração de etanol. Valendo ressaltar ainda, que com a proibição das queimadas, esta alternativa supre a preocupação com um destino adequado para as palhas (Marques, 2009; Milanez, 2015).

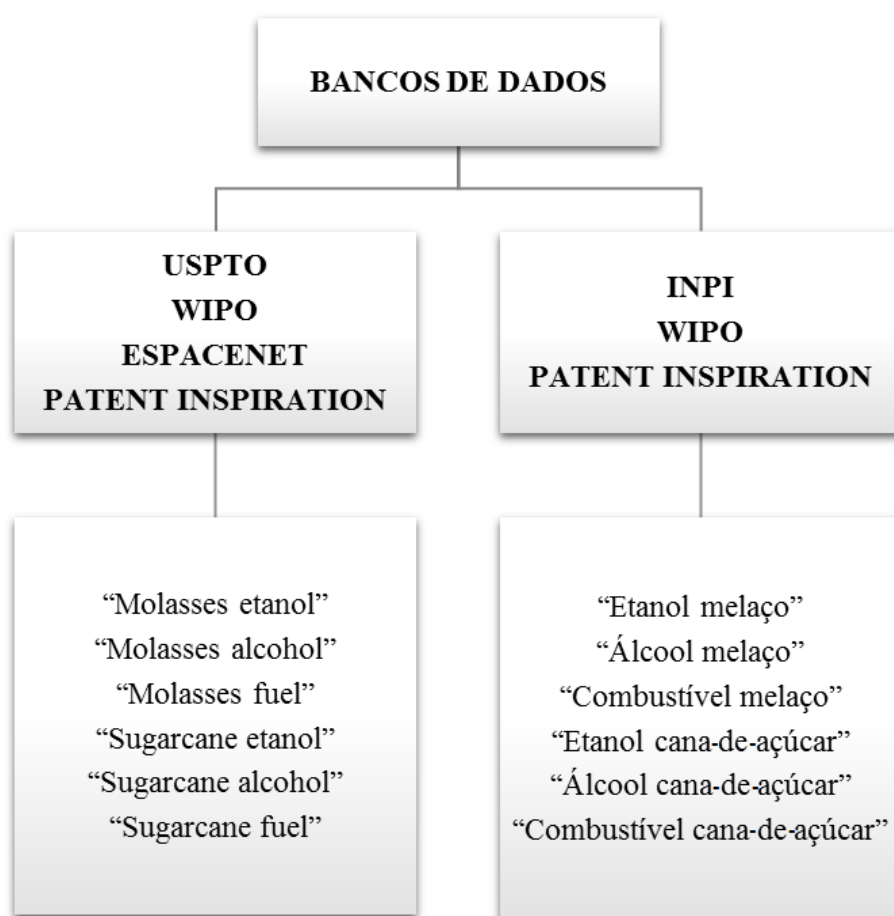
Dessa forma, é de fundamental importância o aprofundamento das investigações frente aos rendimentos dos processos empregados, levando-se em consideração a necessidade de se trabalhar em larga escala, já que é o objetivo a obtenção de um processo em escala industrial para produção de bioetanol. Nesse ínterim, o presente trabalho pretende realizar um mapeamento das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol a partir, tanto da cana-de-açúcar (1ª geração), quanto do bagaço da cana-de-açúcar (2ª geração).

METODOLOGIA

Esta prospecção foi baseada no levantamento de artigos científicos, onde as bases SCOPUS e SCIENCE DIRECT foram empregadas para o levantamento bibliográfico, bem como, na FIGUEIREDO, R. de.. Mapeamento prospectivo das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol.

investigação de patentes, utilizando as seguintes bases de dados gratuitas: Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI, 2017), *World Intellectual Property Organization* (WIPO, 2017), *European Patent Office* (EPO, 2017), *United States Patent and Trademark Office* (USPTO, 2017) e *Patent inspiration* (PI, 2017). Para tanto, foram utilizados os termos “*sugarcane fuel*”, “*sugarcane ethanol*”, “*sugarcane alcohol*”, “*molasses ethanol*”, “*molasses alcohol*”, e “*molasses fuel*” nas bases de dados internacionais, e os termos em português “*etanol melação*”, “*álcool melação*”, “*combustível melação*”, “*etanol cana-de-açúcar*”, “*álcool cana-de-açúcar*” e “*combustível cana-de-açúcar*”. A metodologia está mostrada de forma mais clara na Figura 1. A pesquisa de patentes ficou compreendida entre 1973 a 2017, ressaltando que algumas patentes estavam protegidas pelo período de sigilo.

Figura 1 - Metodologia utilizada para pesquisa de patentes.



Fonte: Autores, 2017.

Para o levantamento de dados referentes aos artigos científicos, foram utilizadas as mesmas palavras-chave empregadas nas buscas de patentes nos bancos ESPACENET (EPO, 2017) e USPTO (USPTO, 2017), a partir das bases SCIENCE DIRECT (SCIENCE DIRECT, 2017) e SCOPUS (SCOPUS, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a pesquisa nos bancos de patentes, os resultados foram sumarizados na Tabela 1 onde são apresentadas as palavras-chave utilizadas nas buscas de patentes, com os respectivos resultados obtidos quanto ao número de patentes encontradas.

Tabela 1 - Número de patentes e documentos encontrados segundo as palavras-chave por base de dados.

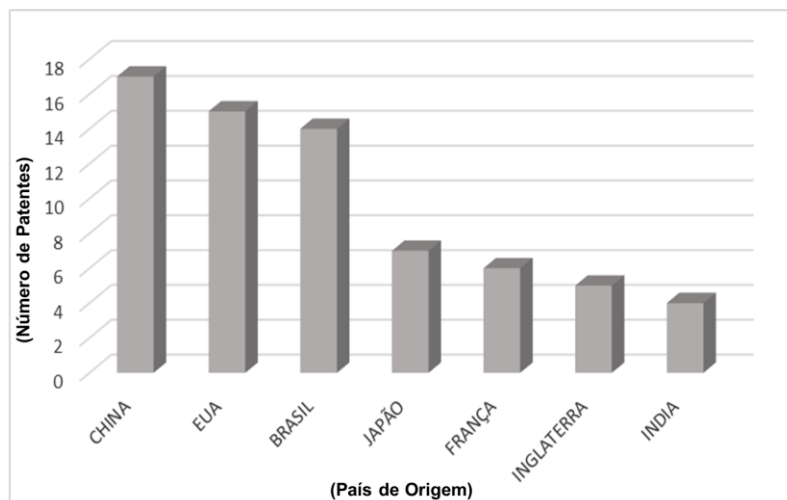
PALAVRAS-CHAVE		BANCO DE DADOS				
ABSTRACT	TÍTULO	ESPACENET	WIPO	USPTO	INPI	PI
MOLASSES	ETHANOL	46	44	4	-	229
MOLASSES	ALCOHOL	233	162	2	-	870
MOLASSES	FUEL	82	78	4	-	192
SUGARCANE	ETHANOL	18	22	2	-	121
SUGARCANE	ALCOHOL	25	31	0	-	228
SUGARCANE	FUEL	19	13	0	-	75
MELAÇO	ETANOL	-	4	-	4	11
MELAÇO	ÁLCOOL	-	2	-	3	12
MELAÇO	COMBUSTÍVEL	-	0	-	0	1
CANA	ETANOL	-	17	-	28	82
CANA	ÁLCOOL	-	10	-	22	91
CANA	COMBUSTÍVEL	-	6	-	9	42
TOTAL		423	389	12	66	1954

Fonte: Autores, 2017.

Utilizando todas as palavras-chave em conjunto, no banco de dados *Patent Inspiration* foram obtidas 1701 patentes. Foi realizado um refinamento, retirando algumas palavras-chave e classificações indesejadas, bem como patentes que ainda não foram concedidas, reduzindo esse resultado para 87. A partir desse conjunto de resultados, foram realizadas análises em relação ao país de origem, a classificação internacional, ao depositante e ao inventor.

A Figura 2 denota os países mais expressivos no número de patentes em relação à jurisdição. Foi possível observar que a China se destaca com 17 patentes, seguido pelos EUA com 15 e Brasil com 14, o que demonstra a força e o alto investimento por parte destes países nesta área, na obtenção de uma fonte energética renovável com menor poder de poluição que os combustíveis fósseis.

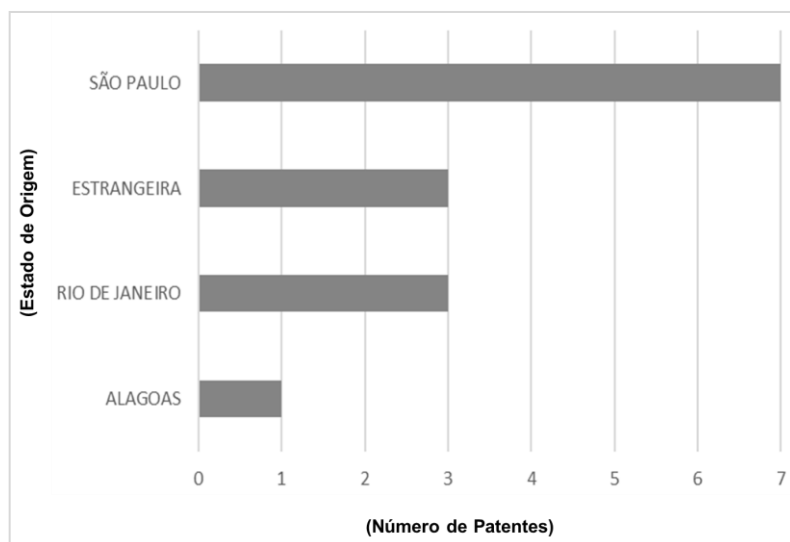
Figura 2 – Número de patentes em relação ao país de origem.



Fonte: Autores, 2017.

Pela Figura 3 pode-se notar que das 14 patentes depositadas no Brasil, 7 são originárias do estado de São Paulo, ao passo que 3 foram depositadas por uma empresa americana, 3 do estado do Rio de Janeiro e o Nordeste é representado pelo estado de Alagoas com apenas uma patente. Com isso é possível perceber a força e a representatividade do Sudeste na evolução do setor sucroenergético no Brasil, tendo em vista o forte investimento na área de pesquisa, bem como na produção e melhoria das técnicas de obtenção de etanol, sendo esta região, a que mais recebeu incentivo do Programa Nacional do Álcool (Próálcool) (KOHLHEPP, 2010).

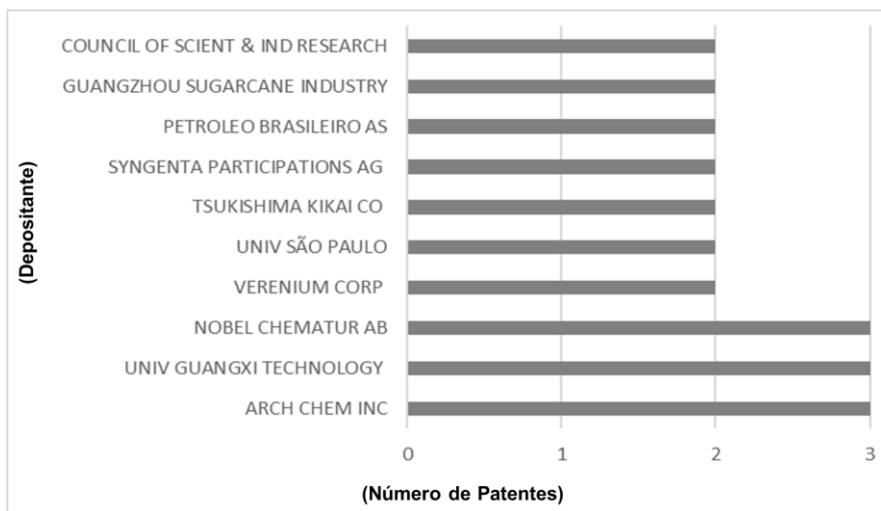
Figura 3 – Número de patentes em relação ao estado de origem.



Fonte: Autores, 2017.

Quanto ao depositante, observou-se na representação da Figura 4 que há uma dispersão nos resultados, e que grande maioria dos depositantes são empresas, com exceção da Universidade de Guangxi e de São Paulo, não havendo nenhum destaque de pessoas físicas neste segmento.

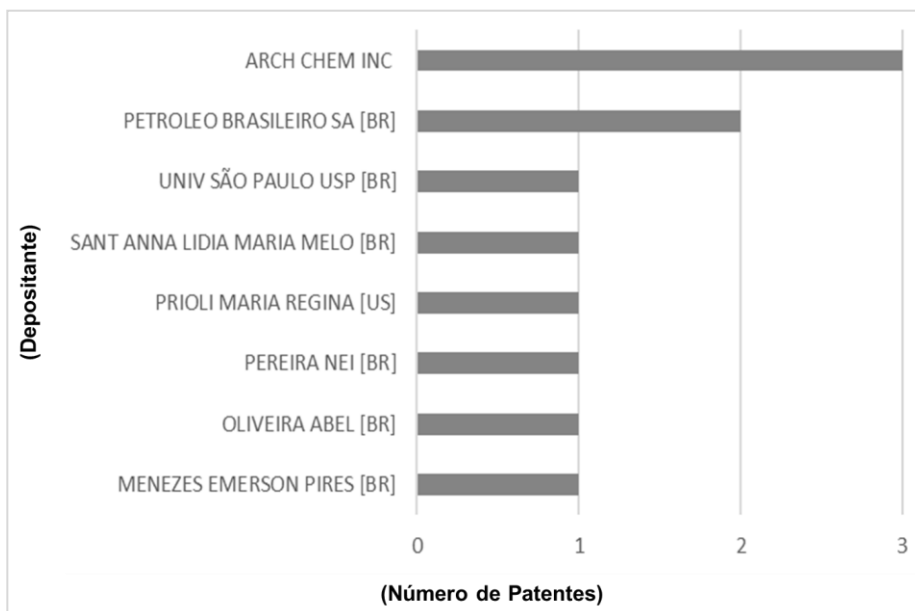
Figura 4 – Número de patentes em relação ao depositante.



Fonte: Autores, 2017.

A Figura 5 mostra que o mesmo ocorreu nos resultados para as 14 patentes depositadas em território brasileiro, com destaque para a empresa americana Arch Chem com 3 depósitos de patentes, seguido de perto pela estatal Petrobras AS, com 2 documentos.

Figura 5 – Número de patentes em território brasileiro quanto ao depositante.

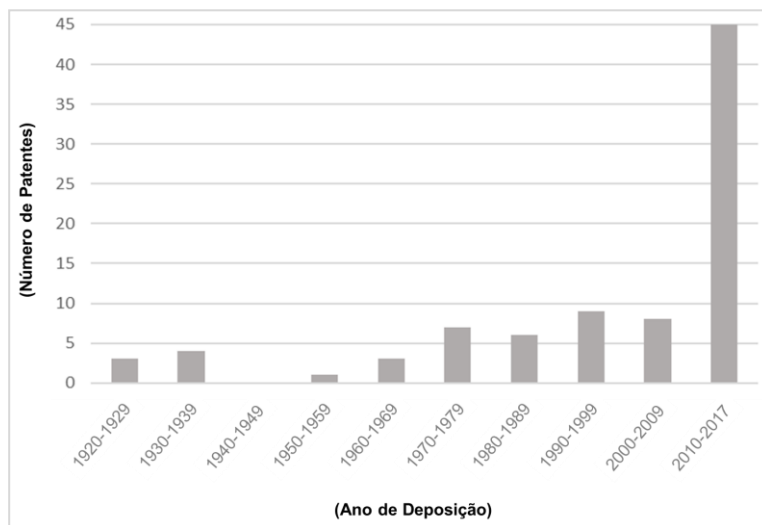


Fonte: Autores, 2017.

A Figura 6 reporta o número de patentes em relação ao ano de deposição, onde foi-possível perceber que houve um grande aumento no número de patentes depositadas na última década, visto que das 87 patentes encontradas, 45 foram depositadas entre o ano de 2010 a 2017, o que demonstra a crescente busca mundial por alternativas na produção de combustíveis.

FIGUEIREDO, R. de.. Mapeamento prospectivo das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol.

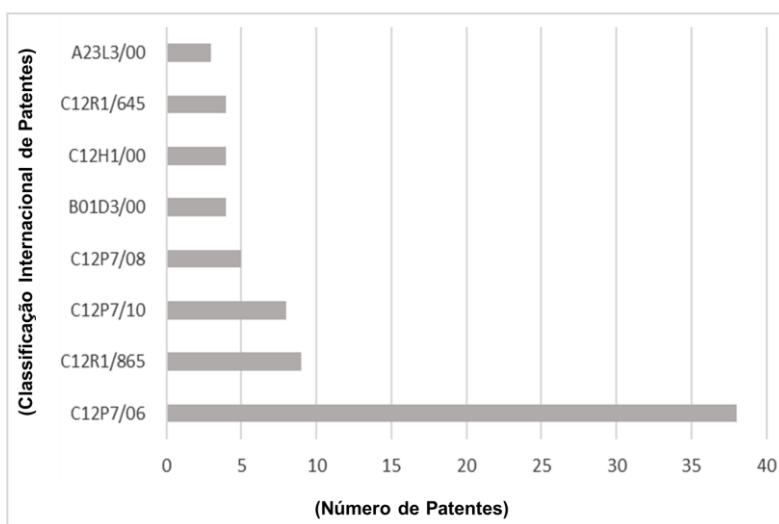
Figura 6 – Número de patentes em relação ao ano de deposição.



Fonte: Autores, 2017.

Em conformidade com a Classificação Internacional de Patentes (CIP), foi reportado no gráfico da Figura 7 que houve uma predominância da classe C (Química; Metalurgia), com destaque maior para a subclasse C12P7/06 (Etanol) com 30 patentes, seguida por C12R1/865 (*Saccaromyces Cerevisae*) com 9 e C12P7/10 (Substrato contendo material celulósico) com 8.

Figura 7 – Número de patentes em relação à classificação internacional de patentes (CIP).



Fonte: Autores, 2017.

Considerando o levantamento de informações referentes às pesquisas científicas obtidas a partir da recuperação de artigos publicados em periódicos científicos utilizando as bases SCIENCE DIRECT e SCOPUS, foi possível verificar que o volume de resultados é muito superior àqueles recuperados

nas bases de patentes, mostrando que o desenvolvimento tecnológico referente a estes conhecimentos ainda é muito pequeno, o que direciona a possibilidade de maiores investimentos e ações estratégicas voltadas para esta área. Os resultados referentes a estas informações encontram-se sumarizados na Tabela 2, onde percebe-se que a maior parte dos estudos realizados sobre o tema são referentes ao etanol combustível, visto que dos 7602 artigos encontrados, cerca de 76% continham as palavras-chave “Ethanol” e “fuel”.

Tabela 2 – Número de artigos recuperados a partir das palavras-chave por base de periódicos.

PALAVRAS-CHAVE	SCIENCE DIRECT	SCOPUS
<i>Molasses AND ethanol</i>	62	168
<i>Molasses AND alcohol</i>	19	51
<i>Molasses AND fuel</i>	12	25
<i>Sugarcane AND ethanol</i>	603	385
<i>Sugarcane AND alcohol</i>	33	38
<i>Sugarcane AND fuel</i>	12	47
<i>Ethanol AND fuel</i>	3280	2487
<i>Bioethanol AND fuel</i>	208	172
TOTAL	4229	3373

Fonte: Autores, 2017.

CONCLUSÃO

A partir de uma prospecção científica e tecnológica, tenta-se prenunciar possíveis estados futuros da adoção e uso de uma determinada tecnologia, identificando oportunidades e necessidades mais relevantes nas áreas econômica, social e ambiental. Isto pode ser observado em trabalhos disponíveis na literatura que mostram a relevância de se intensificar as pesquisas relacionadas ao processo de produção de bioetanol a partir de matéria-prima lignocelulósica, com o intuito de trazer à consolidação da fermentação da biomassa lignocelulósica como opção economicamente viável para a produção de combustíveis renováveis. Assim, pode-se concluir com este estudo, que por ser uma área ainda muito recente, a convergência entre os dados científicos e tecnológicos está distante. Isto pode estar relacionado à complexidade em algumas etapas do processo na produção de etanol de segunda geração. Em contrapartida foi possível perceber a crescente busca mundial por alternativas na produção de combustíveis nos últimos anos, tendo o Brasil como um dos países mais expressivos no número de patentes nesta área, perdendo apenas para China e Estados Unidos, o que demonstra investimentos consideráveis por parte do país. Porém existe a necessidade de uma mudança organizacional, o que inclui uma gestão de inovação, precedida de estudos prospectivos e ferramentas que possam auxiliar os gestores a indicar alternativas que atendam as demandas específicas. Neste contexto, vale ressaltar a importância da realização do mapeamento das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol, por ser necessário conhecê-las para com esforços multidisciplinares avaliar as necessidades do mercado, cooperando para aumentar a competitividade da indústria brasileira de biocombustível nos próximos anos, consolidando o Brasil como um dos países que mais produzem energia a partir de fontes renováveis.

REFERÊNCIAS

- BALAT M; BALAT H. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Appl Energy*. v. 86, n. 11, p. 2273-2282, 2009.
- BANSAL, P.; HALL, M.; REALFF, M. J.; LEE, J. H.; BOMMARIUS, A. S. Modeling cellulase kinetics on lignocellulosic substrates. *Biotechnology Advances*. v. 27, p. 833-848, 2009.
- EPO. European Patent Office. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com>. Acesso em: 08 Abr. 2017.
- GAUR, R.; TIWANI, S. Isolation, production, purification and characterization of an organic-solventthermostable alkalophilic cellulase from *Bacillus vallismortis* RG-07. *BMC Biotechnology*. v. 15, n. 19, 2015.
- HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. V.; FAAIJ, A. P. C. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middleand long-term. *Biomass and Bioenergy*, n. 28 p. 384-410, 2005.
- INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>. Acesso em: 08 Abr. 2017.
- KOHLHEPP, Gerd. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos avançados*. 24 (68), 2010.
- KULOYO, Olukayode. O.; PREEZ, James. C.; GARCÍA-APARICIO, Maria del Prado.; KILIAN, Stephanus. G.; STEYN, Laurinda.; GORGENS, Johann. *Opuntia ficus-indica* cladodes as feedstock for ethanol production by *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *World. J. Microbiol Biotechnol*. v. 30, p. 3173-3183, 2014. DOI 10.107/s11274-014-1745-6.
- MAMO G; FARYAR R; Karlsson, E. Microbial glycoside hydrolases for biomass utilization in biofuels applications. In *Biofuel Technologies*. Edited by Gupta VK, Tuohy MG. eidelberg: Springer. p. 171-188, 2013.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2016). Portal do MAPA. Disponível em: < www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 27 set. 2017.
- MARQUES, F. O bagaço é o alvo. *Revista Pesquisa FAPESP*, nº 163, setembro de 2009.
- MILANEZ, A. Y. et al. De promessa a realidade : como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar - uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *Biocombustíveis BNDES setorial*, v. 41, p. 237-294, 2015.
- PI. Patent Inspiration. Disponível em: <https://app.patentinspiration.com>. Acesso em: 08 Abr. 2017.
- RFA – Renewable Fuels Association. Disponível em: < www.ethanolrfa.org>. Acesso em: 25 set. 2017.
- SCIENCEDIRECT. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 08 Abr. 2017.
- FIGUEIREDO, R. de.. Mapeamento prospectivo das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol.

SCOPUS. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez9.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 08 Abr. 2017.

SINGHANIA, R. R.; SUKUMARAN, R. K.; PATEL, A. K.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. *Enzyme and Microbial Technology*. v. 46, p. 541-549, 2010.

UNICA – União da Indústria de Cana- de-açúcar. Disponível em: < www.unica.com.br>. Acesso em: 27 set. 2017.

USPTO. United States Patent and Trademark Office - An Agency of the Department of Commerce. Disponível em: <http://patft.uspto.gov>. Acesso em: 08 Abr. 2017.

WIPO. PATENTSCOPE World Intellectual Property Organization. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int>. Acesso em: 08 Abr. 2017.