

Mapeamento Prospectivo dos Processos Termoquímicos que Utilizam Biomassa

Prospective Mapping of Thermochemical Processes Using Biomass

Munique Gonçalves Guimarães¹

Grace Ferreira Ghesti¹

Mario Manoel Gonçalves da Costa (in memoriam)²

¹Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

²Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

Resumo

Uma forma de tratamento de resíduos oriundos de biomassa é o seu uso na geração de energia. Das tecnologias de conversão, a combustão é amplamente comercializada, sendo responsável pelo maior número de depósitos de patentes em âmbito mundial. A liquefação, a pirólise e a gaseificação são mais robustas, porém já amplamente utilizadas em países desenvolvidos. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo prospectivo sobre processos termoquímicos, com o uso de biomassa, sob duas perspectivas: indicadores tecnológicos baseados em documentos patentários e indicadores científicos baseados em artigos científicos indexados, utilizando-se o programa de computador Orbit Intelligence, da Questel, e a plataforma de artigos científicos Web of Science. Com base nos resultados, e no cenário mundial relacionado a questões ambientais e energéticas, as tecnologias de conversão termoquímicas são viáveis e podem contribuir com os conceitos de química verde, economia circular e sustentabilidade, uma vez que estão dominadas e há grandes empresas comercializando sistemas que se adequam às características das mais diferentes biomassas.

Palavras-chave: Biomassa. Perspectiva Tecnológica. Conversão Termoquímica.

Abstract

One way of treating waste from biomass is its use in power generation. Of the conversion technologies, combustion is widely commercialized, being responsible for the largest number of patent deposits worldwide. Liquefaction, pyrolysis and gasification are more robust, but already used in developed countries as large scale. The objective of this work was to carry out a prospective study on thermochemical processes, using biomass, from two perspectives: technological indicators based on patent documents and scientific indicators based on indexed scientific articles using the software Questel's Orbit and the *Web of Science* platform. Based on the results, and the global scenario related to environmental and energy issues, thermochemical conversion technologies are viable and can contribute to the concepts of green chemistry, bioeconomy and sustainability, since they are dominated and there are international companies selling systems for this use.

Keywords: Biomass. Technological Perspective. Thermochemical Conversion.

Área Tecnológica: Química de Materiais. Processos Térmicos. Energia Renovável.



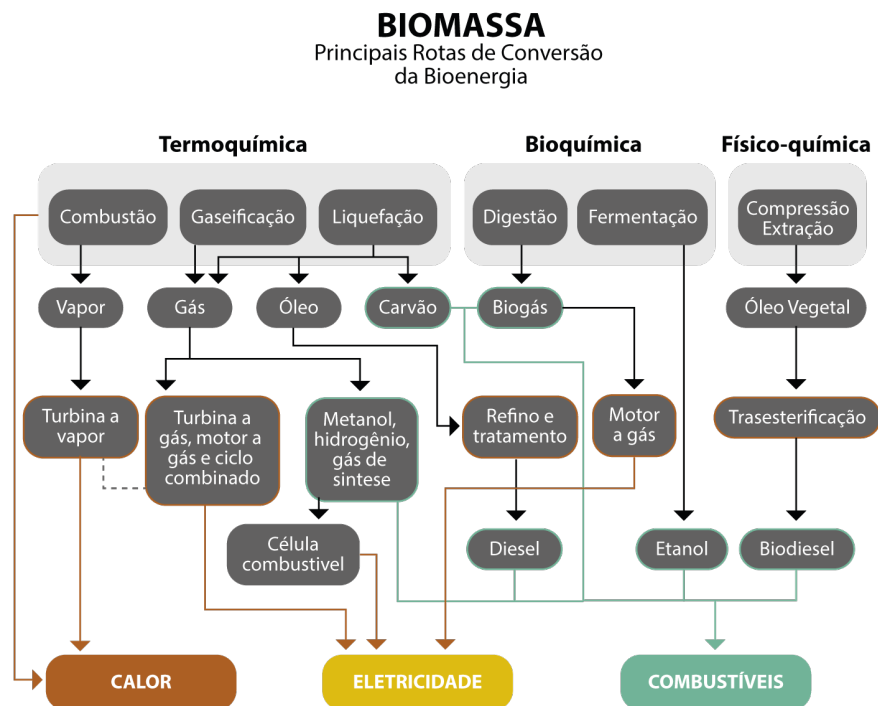
1 Introdução

Energias renováveis estão surgindo em todo o mundo, na tentativa de desacelerar o aquecimento global e melhorar a segurança energética nacional em face do esgotamento das reservas tradicionais (fósseis). No entanto, a preocupação mundial e as ações adotadas exigem a substituição de combustíveis fósseis pelas chamadas energias “verdes”, as quais podem não ser tão eficazes e ecológicas, como se pensava anteriormente, devido aos impactos secundários das energias renováveis frente a outras questões sociais associadas. Assim, uma estrutura de análise de sistemas integrada é essencial para selecionar as fontes de energia ideais que tratam de questões de aquecimento global e segurança energética com o mínimo de consequências e impactos secundários indesejados sobre recursos naturais (HADIAN; MADANI, 2015; YANG *et al.*, 2019).

Muitos países estão desenvolvendo políticas na tentativa de preservar sua segurança energética nacional e se adaptar às mudanças climáticas. As políticas emergentes tendem a usar mais energias renováveis. As alternativas incluem uma combinação de combustíveis fósseis e renováveis, com a participação das renováveis aumentando gradualmente (GUIMARÃES *et al.*, 2017b).

Existem várias razões que motivam a utilização da biomassa para fins energéticos (GUIMARÃES *et al.*, 2017a), entre elas, destaca-se o fato de a biomassa constituir uma riqueza sustentável e renovável, com elevada disponibilidade e relativa facilidade de uso. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora com eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. A fim de aumentar a eficiência do processo e reduzir os impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, além da liquefação (ANEEL, 2008; GÓMEZ, 2002). A Figura 1 apresenta as formas de conversão de biomassa sendo que, ao contrário das conversões biológicas e mecânicas, as termoquímicas não requerem purificação extra e procedimentos longos de reação.

Figura 1 – Rotas de conversão de biomassa



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

Dessa forma, sabendo-se das vantagens das tecnologias termoquímicas e que estão em ascensão, é pertinente realizar uma investigação dessas tecnologias empregadas na geração de energia. Nesse sentido, este trabalho apresenta um levantamento documental de cunhos científicos e tecnológicos que enfatizam o uso de biomassa em processos termoquímicos, assim como os processos termoquímicos aplicados em outras tecnologias que não utilizam biomassa, a fim de acompanhar os acontecimentos atuais, gerar conhecimento e subsidiar planos e investimentos no desenvolvimento de novos produtos, materiais e processos.

2 Metodologia

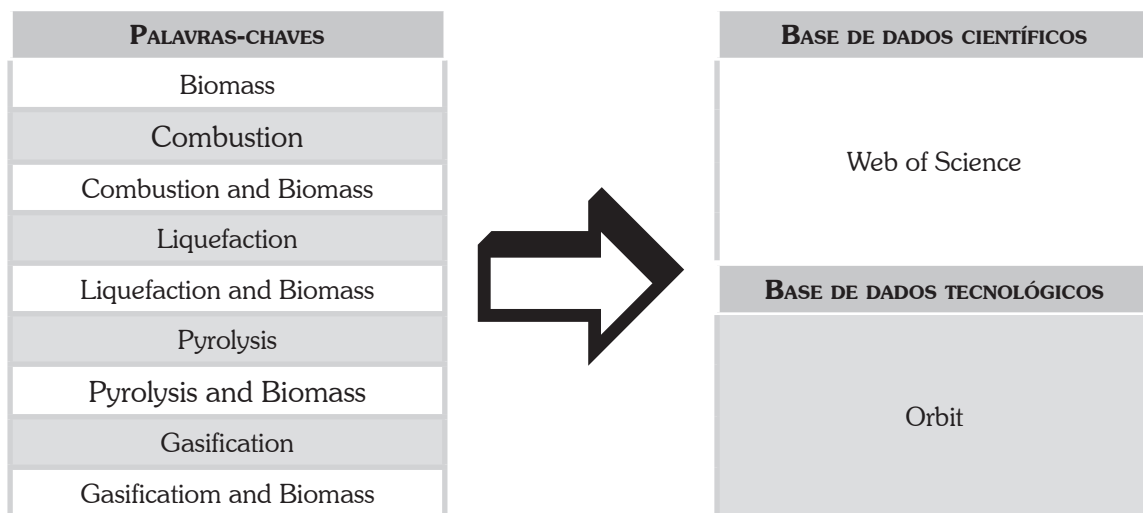
A metodologia utilizada baseou-se em duas perspectivas de prospecção utilizando as bases de dados tecnológicos, realizada por meio de pesquisa de patentes, e científica, e de pesquisa de artigos.

As buscas ocorreram no período de 5 de agosto de 2019 a 19 de fevereiro de 2020, adotando-se uma base de dados como fonte de pesquisa patentária, sendo ela o *software* Orbit, da Questel, e uma plataforma de artigos científicos, a Web of Science, da coleção principal da Clarivate Analytics.

A busca na base Web of Science (2019) foi realizada por meio da inserção dos termos de busca em “basic search”, “topic” e language: English”. Na base de dados do *software* Orbit Intelligence (2019) realizaram-se as buscas selecionando-se a opção “busca avançada”, e na sequência foram inseridas as palavras-chave no “título” e no “resumo”. O *software* foi utilizado para a reprodução das buscas realizadas e para a geração de figuras e gráficos específicos a partir dos resultados obtidos, e algumas imagens foram reproduzidas por meio do Excel.

Para se alcançar o objetivo do presente trabalho, as investigações foram realizadas por meio da combinação de palavras-chave aplicando-se operadores booleanos, tanto nas bases patentárias quanto nas bases de dados de periódicos. As palavras selecionadas para a busca em ambas as bases estão descritas no Quadro 1 e serão discutidas no decorrer deste trabalho.

Quadro 1 – Palavras-chave e bases de dados utilizadas ao longo do trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2019)

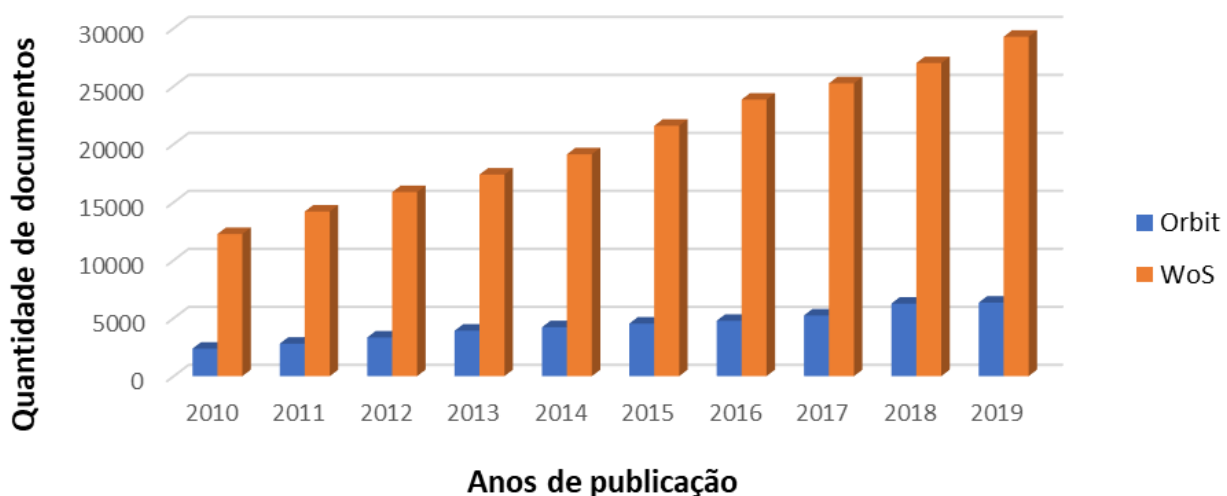
Tais palavras-chave foram selecionadas por satisfazerem os critérios técnicos e científicos da área e são as que trazem resultados mais coerentes para os objetivos deste trabalho.

3 Resultados e Discussão

Ao realizar um refinamento na plataforma Web of Science por meio da palavra “biomass” obteve-se um quantitativo de 205.822 documentos publicados (artigos, revisões, capítulo de livros etc.). Já na pesquisa utilizando-se o programa de computador Orbit, obteve-se 62.756 patentes depositadas. Ou seja, o termo está bastante em voga na área da pesquisa, apresentando três vezes mais documentos publicados em relação a patentes depositadas.

A Figura 2 apresenta o crescimento de publicações do uso de biomassa ao longo dos últimos 10 anos. Vale a pena ressaltar que os documentos patentários depositados podem ainda não estar acessíveis, uma vez que há o prazo para a publicação dependente de cada país. Observam-se valores crescentes de produção para ambas as modalidades, que são atividades desenvolvidas em função de políticas e acordos internacionais, entre outras questões mundiais climáticas em voga (GUIMARÃES *et al.*, 2017b).

Figura 2 – Levantamento do número de patentes depositadas e documentos publicados no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2019, sobre biomassa, recuperados pela busca no *software* Orbit e na plataforma de dados Web of Science (WoS)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

Entre as tecnologias dominantes relacionadas à “biomass” em termos de publicação, a China (CN) aparece em primeiro lugar, dominando a área de química básica de materiais, com 16.584 documentos publicados e, em segundo lugar, os países da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) (WO), com 4.497. Diante disso, um domínio que tem crescido e está entre as 10 tecnologias dominantes relacionadas ao termo são os processos térmicos e equipamentos, com 9.778 pedidos de patentes da China, seguida pelos países da Organização Mundial de

Propriedade Intelectual – OMPI (WIPO) (WO) (778), Estados Unidos (USA) (692), Japão (JP) (683) e Organização Europeia de Patentes (EP) (638). O Brasil (BR) aparece em oitavo lugar, com 235 pedidos de patentes. Sabe-se que os critérios de proteção variam de acordo com o país, assim como o prazo de sigilo após o depósito da patente, porém os números refletem os investimentos e a quantidade de equipamentos em funcionamento utilizando biomassa. Por exemplo, há diversas tecnologias tais como: biodigestão, biomateriais, compostagem, pirólise, combustão, gaseificação, usinas de biodiesel e bioetanol, entre outras, que estão em operação em escala industrial nos países que apresentam maior número de patentes.

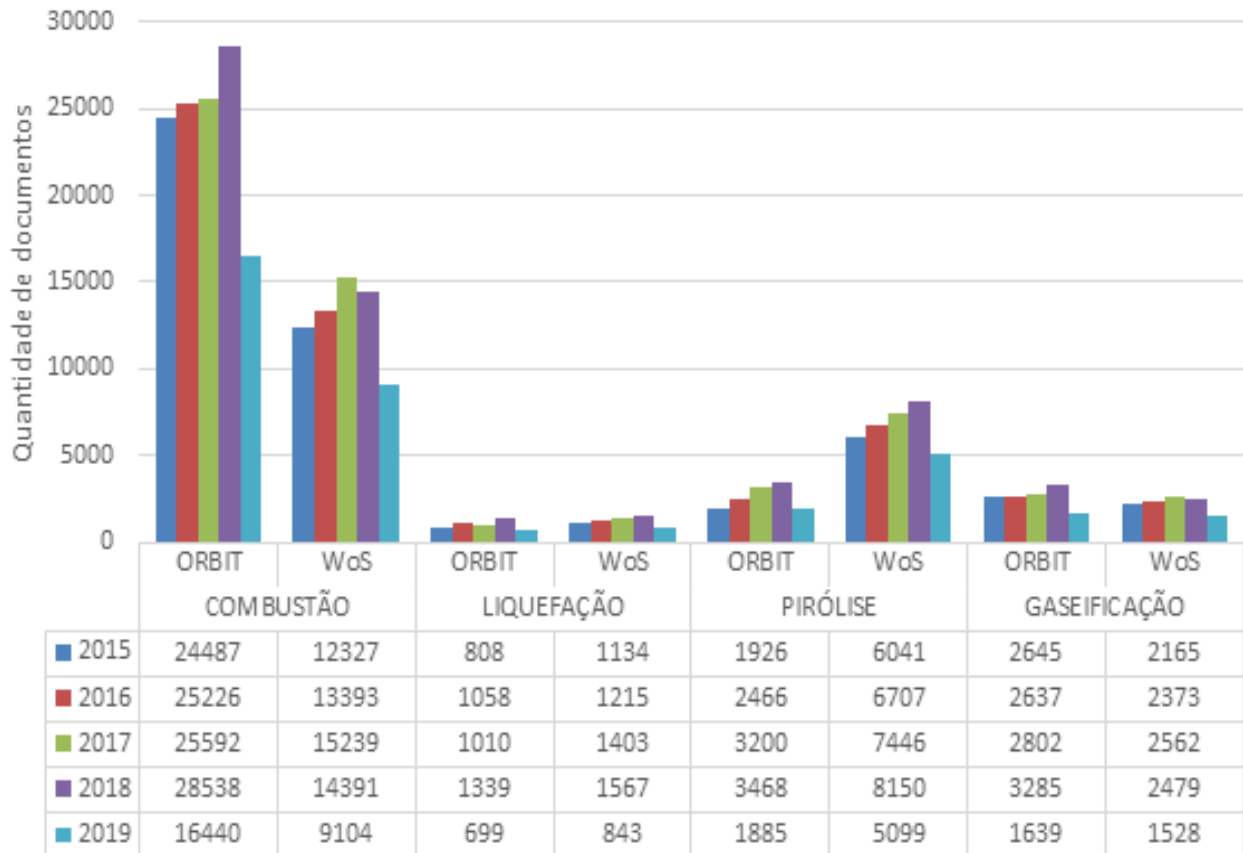
Assim, verificou-se ser a biomassa uma *commodity* valiosa devido à sua escalabilidade, viabilidade econômica, sustentabilidade e sua potencialidade neutra de carbono. Esses aspectos convenientes convergem na produção de biocombustíveis renováveis e de produtos de maior valor agregado por meio de tecnologias apropriadas. Portanto, existe a necessidade de se estabelecer processos inovadores e amigáveis ao meio ambiente e perspectivas de custo acessíveis para se beneficiar desses recursos naturais, promovendo assim economia circular e bioeconomia (GOMEZ *et al.*, 2019).

3.1 Processos Termoquímicos

Quando se buscam nos bancos de dados as palavras “combustion”, “pyrolysis”, “liquefaction”, “gasification”, relacionadas a processos termoquímicos apresentados na Figura 1, observa-se que 70,8% das comunicações foram pedidos de patente, enquanto que 29,2% foram classificados como artigo. Portanto, os processos termoquímicos apresentam ampla aplicação industrial, caracterizando que há uma tecnologia dominada, o que justifica o número de patentes ser superior ao número de artigos, ou seja, são tecnologias que apresentam valores superiores a 5 na escala de nível de maturidade tecnológica (QUINTELLA *et al.*, 2017).

De acordo com a Figura 3, foram encontradas as seguintes quantidades de pedidos de patentes com relação ao número de produções: combustão (79,4%), gaseificação (56,6%), liquefação (44,8%) e pirólise (24,3%). Ou seja, apenas para a pirólise a quantidade de artigos é significativamente maior que a de patentes.

Figura 3 – Quantidade de depósitos de patentes e artigos nos últimos 5 anos sobre os processos térmicos (combustão, liquefação, pirólise e gaseificação), recuperados pela busca no *software* Orbit e na plataforma de dados Web of Science (WoS)

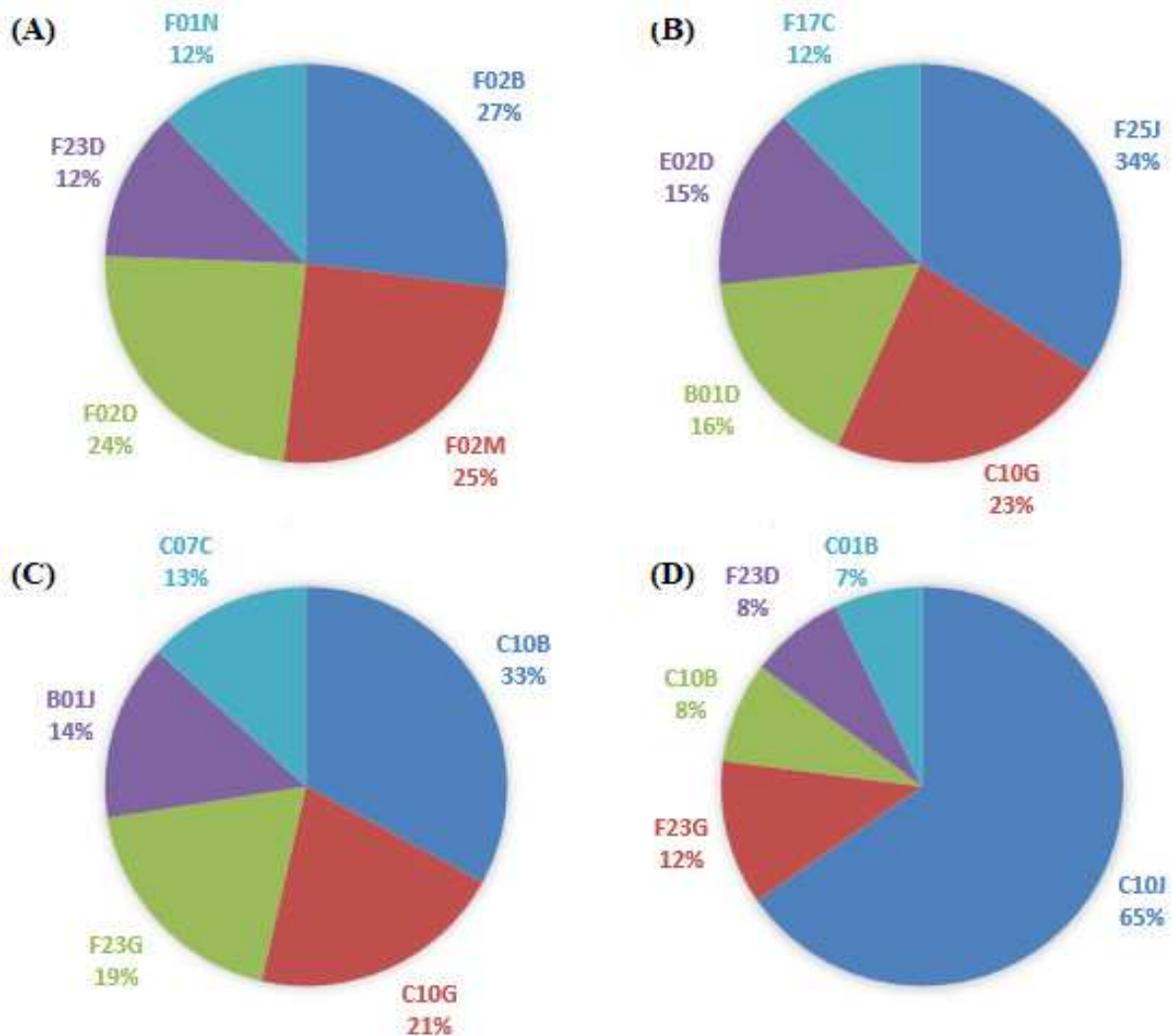


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

Observa-se que a tecnologia de liquefação é menos desenvolvida tanto no âmbito de artigos quanto no de patentes, situação contrária a observada para a combustão, a qual é amplamente dominada. Isso porque a liquefação necessita de equipamentos caros e mais robustos, além do que pode ser substituída pelo processo de pirólise (BRAGA, 2012). Além disso, é necessário um consumo de energia para seu funcionamento superior à sua capacidade de produção. Logo, o balanço energético é desfavorável, além das questões econômicas e tecnológicas.

Em relação à Classificação Internacional de Patentes (CIP), percebe-se, pelas informações apresentadas na Figura 4, a predominância da Seção B (Operações de processamento – separação e mistura), Seção C (Química) e seção F (Engenharia mecânica – motores e bombas e aquecimento), com ênfase para a subclasse F02B da combustão, a qual abarca os motores de combustão em geral, com 60.829 patentes. Ainda, na Seção F, destaca-se a subclasse F25J da liquefação, solidificação ou separação dos gases ou das misturas gasosas por pressão e tratamento a frio, com 3.160 patentes. E, na classe C, ressalta-se a subclassificação C10B da pirólise, que trata da destilação destrutiva de substâncias carbonáceas para produção de gás, alcatrão ou substâncias similares, e a subclasse C10J da gaseificação, que se refere à produção de gases contendo CO e H a partir de matérias carbonáceas sólidas por processos de oxidação parcial envolvendo O ou vapor. Diante do exposto, observa-se que há patentes em todas as etapas do uso das respectivas tecnologias em questão.

Figura 4 – Processos termoquímicos – (A) combustão; (B) liquefação; (C) pirólise; (D) gaseificação – de acordo com a classificação nacional de patentes

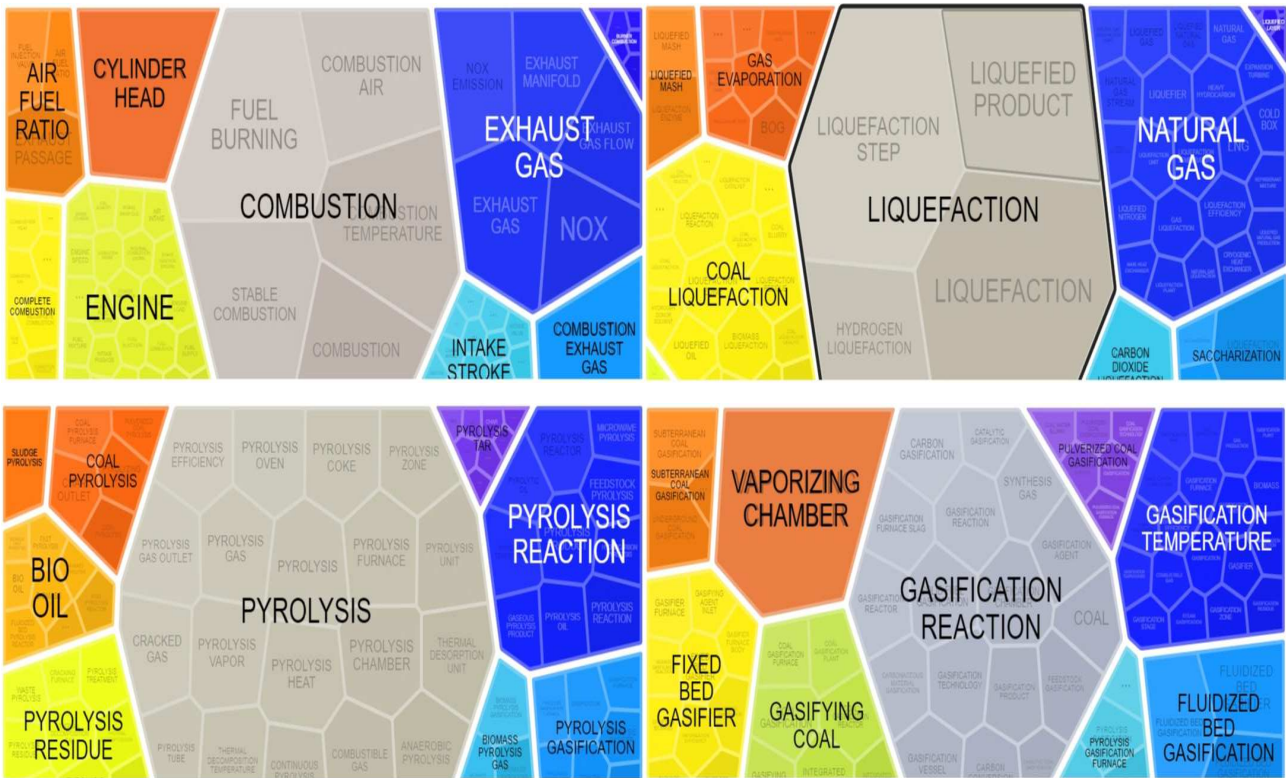


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

Quando se obtém os domínios tecnológicos (relacionados às patentes), em todos os casos, o que mais se destaca é aquele relacionado à tecnologia ambiental, seguido de química de materiais básicos, processos e aparelhos térmicos, engenharia química, metalurgia de materiais e motores, bombas e turbinas. Quando se referem aos domínios científicos, as principais categorias encontradas são: engenharia, química, combustíveis, ciência dos materiais e termodinâmica. Logo, há concordância entre os domínios de atuação tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial.

Com relação aos produtos que são gerados pelas respectivas rotas, foi realizada uma classificação nos principais domínios, a qual está apresentada na Figura 5. Pode-se observar que sobre a combustão predominam as tecnologias referentes a equipamentos; quanto à liquefação e à pirólise, a ênfase é dada ao produto final e aos processos/reações associados, porém a pirólise apresenta um quantitativo maior pelos aspectos relacionados às vantagens tecnológicas, econômicas e energéticas; e quanto à gaseificação, a ênfase é dada em equipamentos (especificamente em reatores), sistemas conjugados de geração de energia e produção de carvão.

Figura 5 – Conceitos relacionados a cada rota tecnológica

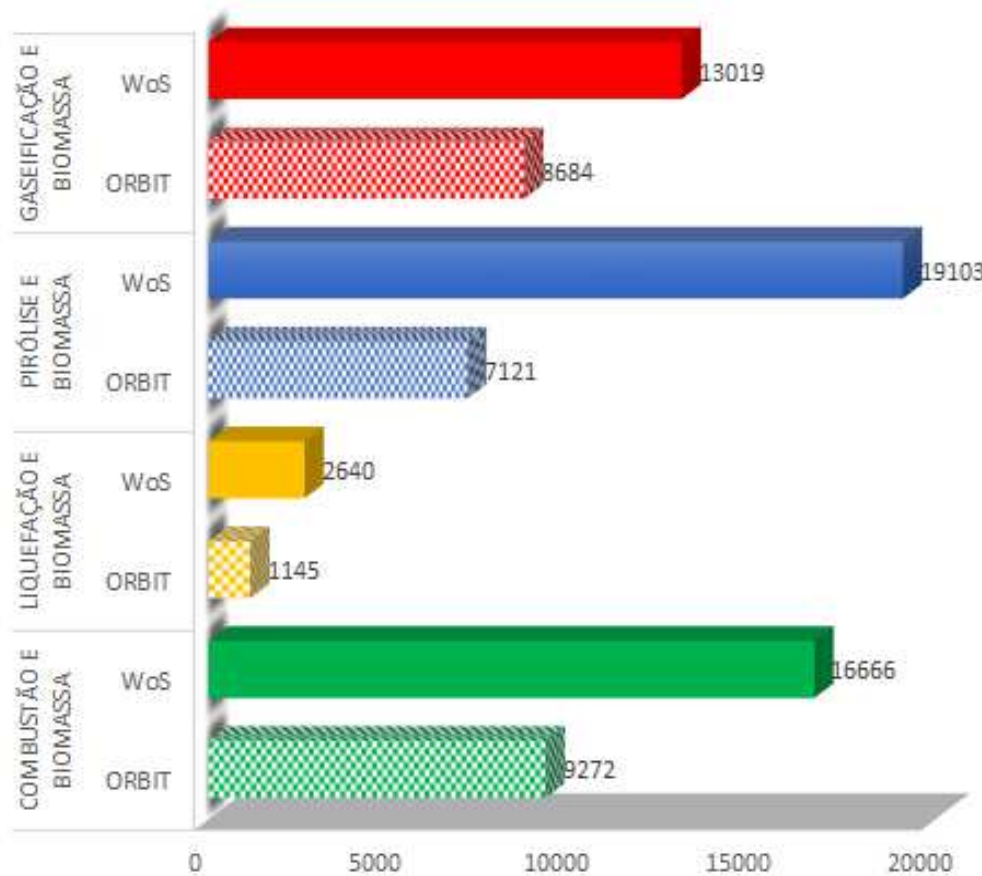


Fonte: Orbit Intelligence (2019)

3.23.2 Processos Termoquímicos e Biomassa

Visando a uma aplicação de rotas termoquímicas utilizando-se a biomassa, foi realizada a busca pelas palavras-chave “combustion AND biomass”, “pyrolysis AND biomass”, “liquefaction AND biomass”, “gasification AND biomass”. Entre os documentos encontrados nos bancos de dados em relação à investigação e desenvolvimento observados para as rotas termoquímicas, observou-se que 66,2% correspondem a documentos científicos (artigos) e 33,8% a patentários, sendo eles mostrados na Figura 6.

Figura 6 – Quantidade de depósito sobre as rotas termoquímicas de biomassa obtidos pela busca no software Orbit e no banco de dados Web of Science (WoS)



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

A combustão é uma tecnologia dominada, amplamente utilizada na indústria, e possui o maior número de patentes depositadas, sendo responsável por 9.272 depósitos. É muito aplicada para fins energéticos em caldeiras e turbinas, como, por exemplo, no processo de cogeração de energia em termoeletricas. Ainda, há um número expressivo de artigos científicos que dão ênfase maior para aumento de eficiência de combustão, sistema de geração de energia descentralizado, limpeza de gases, aditivos e tratamento de resíduos de indústrias, entre outros.

A liquefação é o processo mais complexo e possui maior custo de implantação do que o de pirólise, entretanto, o bio-óleo produzido na liquefação possui menor teor de oxigênio e maior viscosidade em relação ao bio-óleo obtido pela pirólise (BRAGA, 2012). Sendo assim, observa-se pelos dados da Figura 6 que há pouco investimento nesse processo, responsável pela menor quantidade de documentos registrados, tanto de patentes quanto de artigos. Dessa forma, o processo de liquefação pode lidar com biomassa com alto teor de umidade, enquanto a pirólise precisa de biomassa com um teor de umidade inferior a 10%, a fim de reduzir o teor de água no bio-óleo. No entanto, o processo de liquefação é mais complicado, pois opera a altas pressões e/ou utiliza solventes e catalisadores, além de outras desvantagens já citadas anteriormente.

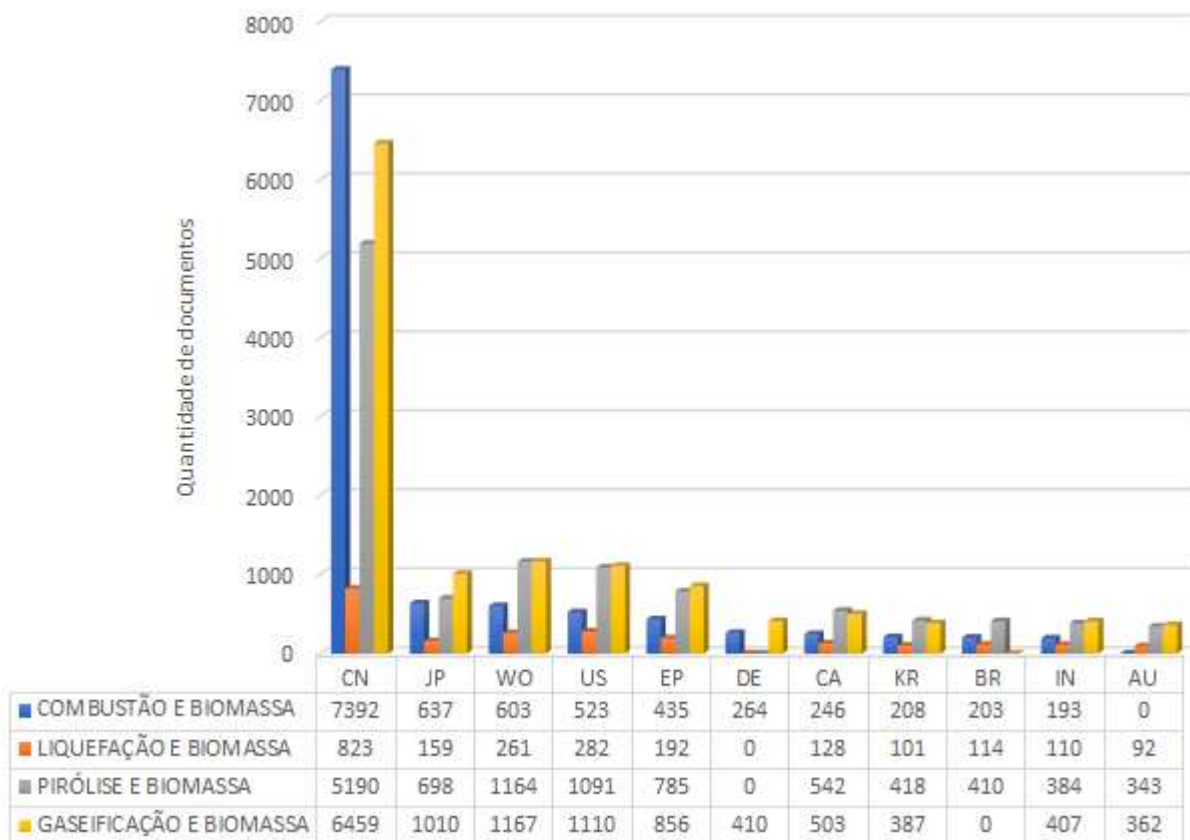
Na pirólise, o principal objetivo é a obtenção de produtos com densidade energética mais alta e melhores propriedades do que aquelas apresentadas pela biomassa inicial. O principal produto final é o carvão, além do gás combustível que é produzido, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso (ANEEL, 2008). Devido a tantos compostos presentes no bio-óleo, eles

podem ser empregados em outros setores e gerarem maior retorno financeiro ao processo. Por isso, há uma grande quantidade de documentos publicados (vide Figura 6) os quais visam a economia circular e a bioeconomia ao sistema de pirólise, propondo biorrefinarias acopladas. Porém, em função dos requisitos de proteção, esses novos sistemas propostos nos artigos não podem ser protegidos.

Na gaseificação de biomassas, a limpeza dos gases, mais especificamente do alcatrão, requer plantas específicas de elevado custo e complexidade, o que é demonstrado nos dados da Figura 7. O número de artigos dentre as tecnologias é menor, justamente porque depende muito das condições locais e, dependendo da interpretação, muitos estudos consideram a pirólise uma etapa da gaseificação (BRIDGWATER; CZERNICK; PISKORZ, 2001).

Sobre os principais países depositantes de patentes em relação a cada rota tecnológica, a China aparece em primeiro lugar para os quatro processos, com 19.864 documentos no total. Se destaca nesse país a combustão, devido às plantas termoelétricas de carvão que prevalecem no país, o que é, indiscutivelmente, o maior contribuinte para as mudanças climáticas no mundo, sendo a principal contribuição antropogênica para a poluição atmosférica no país (DICYT, 2012). Porém, já há plantas industriais de combustão de lixo e biomassas residuais em funcionamento nos grandes centros populacionais.

Figura 7 – Relação do número de patentes por países depositantes de acordo com cada processo termoquímico



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2019)

Diante dos 10 principais países depositantes de patentes (Figura 7), o Brasil aparece apenas nas tecnologias de combustão (203), liquefação (114) e pirólise (410). Com a instituição da Lei n. 12.305/10 (Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS), houve a necessidade de se buscar formas de energia limpa e renováveis oriundas dos resíduos. A combustão e a pirólise são as principais alternativas termoquímicas na produção de energia primária no Brasil (GARCIA *et al.*, 2019). Além disso, a Petrobrás utiliza a pirólise em uma usina de reprocessamento de xisto e de pneus produzindo óleo e gases utilizados como combustíveis (PETROBRÁS, 2019).

4 Considerações Finais

A prospecção tecnológica realizou um levantamento dos estudos e de pesquisas já existentes sobre o tema e foi observada a real importância diante do cenário mundial. A combustão é a que apresenta maior maturidade tecnológica e diversas patentes abordam sistemas de melhoria de eficiência do processo, cogeração e desenho de reatores.

A liquefação e a pirólise são muito próximas, processualmente falando, porém, a pirólise apresenta diversas vantagens energéticas, econômicas e tecnológicas. Logo, há várias plantas de pirólise em larga escala e têm sido trabalhados aspectos relacionados à composição do bio-óleo e do biocarvão a fim de propor aspectos relacionados à economia circular, biorrefinarias e outras rotas que agreguem maior valor à tecnologia. Diante da situação, observa-se uma maior dominância de artigos relacionados a essas tecnologias. Com relação à gaseificação, a tecnologia também está dominada e está diretamente relacionada a sistemas de geração de energia descentralizada.

Sendo assim, diante do exposto e do cenário mundial relacionado a questões ambientais e energéticas, as tecnologias de conversão termoquímicas são viáveis e podem contribuir com os conceitos de química verde, economia circular e sustentabilidade, uma vez que estão dominadas e há grandes empresas comercializando sistemas que se adequam às características das mais diferentes biomassas.

Referências

- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- BRAGA, R. M. **Pirólise Rápida Catalítica do Capim Elefante Utilizando Materiais Mesoporosos e Óxidos Metálicos para Deoxigenação em Bio-óleo**. 2012. 46 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2012.
- BRIDGWATER, A. V.; CZERNICK, S.; PISKORZ J. **An Overview of Fast Pyrolysis**. [S.l.]: [s.n.], 2001.
- DICYT – AGÊNCIA IBEROAMERICANA PARA LA DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. [2012]. Disponível em: <http://www.dicyt.com/noticia/questiones-ambientais-e-prioridades-politicas-na-china>. Acesso em: 14 ago. 2019.

GARCIA, A. *et al.* Determination Of The Physical-Chemical Properties Of Solid Waste For Use In The Pyrolysis Process. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S.l.], v. 8, n. 3, 2019.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão**. 2002. 412f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2002.

GOMEZ M. G. *et al.* Recent advances in the catalytic production of platform chemicals from holocellulosic biomass. **Chem. Cat. Chem.**, [S.l.], v. 11, n. 8, p. 2.022-2.042, 2019.

GUIMARÃES, M. G. *et al.* Evaluation of Brasilia wastewater sludge as a biomass resource for the production of energy by gasification simulation. **International Journal of Sustainable Engineering**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 32-39, 2017a.

GUIMARÃES, M. G. *et al.* Estudo Prospectivo sobre Processo de Extração de Material Graxo de Resíduos Agroindustriais com Produção Simultânea de Biodiesel. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 816- 827, 2017b.

HADIAN, S.; MADANI, K. A system of systems approach to energy sustainability assessment: Are all renewables really green? **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 52, p. 194-206, 2015.

ORBIT INTELLIGENCE. **Questel software**. [2019]. Disponível em: <https://www65.orbit.com/?locale=en&ticket=441c93b4-936e-4b59-b2a5-0d3c1796b0bb>. Acesso em: 15 fev. 2020.

PETROBRÁS. **Petróleo Brasileiro S.A.** [2019]. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/unidade-de-industrializacao-do-xisto-six.htm>. Acesso em: 14 ago. 2019.

QUINTELLA, C. M. A. *et al.* Revista Cadernos de Prospecção e os níveis de maturidade de tecnologias (TRL). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, p. 1-2, 2017.

WEB OF SCIENCE. [2019]. Disponível em: http://apps- webofknowledge.ez54.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=6FWkXdqe pSNuxQJzjYG&preferencesSaved=. Acesso em: 15 fev. 2020.

YANG, Z. *et al.* Recent advances in co-thermochemical conversions of biomass with fossil fuels focusing on the synergistic effects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 103, p. 384-398, 2019.

Sobre os Autores

Munique Gonçalves Guimarães

E-mail: muniqueegg@gmail.com

Mestrado em Química pela Universidade de Brasília em 2017.

Endereço profissional: Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília, DF. CEP: 70910-900.

Grace Ferreira Ghesti

E-mail: grace@unb.br

Pós-doutorado pelo Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa em 2020.

Endereço profissional: Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília, DF. CEP: 70910-900.

Mario Manoel Gonçalves da Costa (*in memoriam*)

E-mail: mcosta@tecnico.ulisboa.pt

Doutorado em Engenharia Mecânica no Imperial College London em 1992.

Endereço profissional: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, IDMEC, Portugal.