

**Inovação em combustíveis fósseis e energias limpas: um estudo bibliométrico comparativo das disciplinas, origens e tendências**

**JÚLIO CÉSAR BORGES**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

juliorp@usp.br

**GECIANE PORTO**

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE FEA-RP/USP (RIBEIRÃO PRETO)

geciane@usp.br

# **Inovação em combustíveis fósseis e energias limpas: um estudo bibliométrico comparativo das disciplinas, origens e tendências**

## **Resumo**

O aquecimento global pela emissão de gases de efeito estufa assumiu uma posição de destaque começo de século nos debates sobre a sustentabilidade da vida na Terra. Uma das soluções para esse problema seria a transição energética dos combustíveis fósseis para as energias limpas, necessariamente por um fenômeno de inovação em grande escala com a participação da comunidade científica e da sociedade. O propósito desse estudo bibliométrico é avaliar as publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas, no período de 2007 a 2016. Este trabalho visa contribuir para a orientação de pesquisadores, governos, empresas, universidades e formuladores de políticas de pesquisa e inovação em busca da transição energética para as energias limpas. Foram analisadas quantitativamente 582 publicações e comparadas em grupos sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas. Países com maior Índice de Desenvolvimento Humano tiveram melhor desempenho em energias limpas, assim com universidade bem classificadas no ranking "Times Higher Education 2018". Poucos periódicos e disciplinas concentram grandes volumes de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas. Finalmente, foi demonstrada que há uma tendência crescente e acentuada nas publicações sobre inovação em energias limpas e que a inovação em combustíveis fósseis está estagnada.

Palavras-chave: inovação; combustíveis fósseis; energias limpas; comparativo bibliométrico; transição energética.

## **Abstract**

Global warming by the emission of greenhouse gases assumed a prominent position at beginning of this century in the debates on the sustainability of the life on the Earth. One solution to this problem would be the energy transition from fossil fuels to clean energy, necessarily through a large-scale innovation phenomenon involving the scientific community and the society. The purpose of this bibliometric study is to evaluate publications on innovation in fossil fuels and clean energy, from 2007 to 2016. This work aims to contribute to the orientation of researchers, governments, companies, universities, and policymakers of research and innovation aiming energy transition to clean energy. We quantitatively analyzed 582 publications and compared them in groups on innovation in fossil fuels and clean energies. Countries with higher Human Development Index had better performance in clean energy, as well as university well classified in the "Times Higher Education 2018" ranking. Few periodicals and disciplines concentrate large volumes of publications on innovation in fossil fuels and clean energy. Finally, was demonstrated that there is a growing and consistent trend in publications on clean energy innovation and that innovation in fossil fuels is stagnating.

Keywords: innovation; fossil fuels; clean energies; comparative bibliometric; energy transition.

## 1 Introdução

O combate ao aquecimento global, causado pela emissão de gases de efeito estufa, é um dos maiores desafios da humanidade a serem superados no presente século. Entre os principais fatores do aquecimento global está a emissão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela queima dos combustíveis fósseis no transporte, na geração de energia elétrica ou térmica, entre outros (Hansen et al., 2016; Rogelj et al., 2016).

Para enfrentar este desafio “o mundo precisa de outra revolução industrial em que nossas fontes de energia sejam de preço acessível, disponíveis e sustentáveis” (Chu & Majumdar, 2012, p. 294), substituindo as fontes energéticas derivadas de combustíveis fósseis pelas energias limpas (IEA, 2016).

A transição energética dos combustíveis fósseis para energias limpas é urgente no século XXI e tem com um de seus principais meios a inovação (Solomon & Krishna, 2011). A primeira grande transição energética, a substituição da madeira pelos combustíveis fósseis, durou quase 200 anos, no entanto a transição dos combustíveis fósseis para as energias limpas não deve, e não pode, demorar tanto (Solomon & Krishna, 2011).

Para Solomon e Krishna (2011), a transição de sistemas energéticos depende de inúmeros fatores, tais como escassez de recursos, comprometimento governamental e inovação. A inovação tem um papel fundamental tanto na indústria dos combustíveis fósseis (Fri, 2003; Hassani, Silva, & Al Kaabi, 2017; Zhang, Zhou, & Choi, 2013), como nas energias limpas (de Paulo & Porto, 2017; Dincer & Acar, 2015; Fankhaeser, Sehlleir, & Stern, 2008; Fri, 2003; Su & Moaniba, 2017). A inovação tecnológica tem um papel fundamental nos sistemas energéticos, ora incentivada por governos, outrora por empresas (Fri, 2003) e está respondendo rapidamente ao desafio de mitigação das mudanças climáticas (de Paulo & Porto, 2017; Su & Moaniba, 2017), no entanto, não há estudos comparando os volumes de pesquisas acadêmicas sobre inovação em combustíveis fósseis (petróleo e carvão) com energias limpas (solar e eólica).

Várias revisões de literatura investigam as inovações em energias limpas, tais como, energias renováveis na Coreia do Sul (Lee & Huh, 2017), integração energética urbana (Kammen & Sunter, 2016), oportunidades de pesquisa (Lewis, 2016), projetos de difusão de inovação tecnológica limpa (Bossink, 2015), políticas de inovação e comércio internacional (Kim & Kim, 2015), capacidades tecnológicas para inovação na Europa (Corsatea, 2014), Engenharia de Energia Eletroquímica (Gu, Xu, & Yan, 2014), investimentos de capital de risco (Marcus, Malen, & Ellis, 2013), processos de dessalinização (Subramani, Badruzzaman, Oppenheimer, & Jacangelo, 2011) e sistemas energéticos para a sociedade de baixo carbono (Nakata, Silva, & Rodionov, 2011).

Outras revisões acadêmicas investigaram especificamente a inovação em energia solar, como as barreiras à adoção de sistemas fotovoltaicos (Karakaya & Sriwannawit, 2015), a dinâmica de mercado e inovação da energia solar na China (Urban, Geall, & Wang, 2016; Zou et al., 2017), avaliação de políticas estratégicas na Índia (Quitow, 2015), motivadores para a adoção de sistemas fotovoltaicos na Alemanha (Karakaya, Hidalgo, & Nuur, 2015), materiais para células solares (Deepak et al., 2014), ciclo de vida de filmes fotovoltaicos orgânicos (Lizin et al., 2013), inovação e aplicabilidade no oeste africano (Py, Azoumah, & Olives, 2013), processos de dessalinização (Raluy et al., 2012), células solares orgânicas (Liao, Yambem, Haldar, Alley, & Curran, 2010).

Quanto à inovação em energia eólica destacam-se as revisões acadêmicas sobre o cluster energético na China (He, Xu, Shen, Long, & Yang, 2016), estratégias de mercado da energia eólica na Europa (Dedecca, Hakvoort, & Ortt, 2016), sistemas de inovação tecnológica no noroeste europeu (Wieczorek, Hekkert, Coenen, & Harmsen, 2015).

Algumas poucas revisões bibliográficas abordam a inovação em combustíveis fósseis, por exemplo, nanomateriais avançados (Khalil, Jan, Tong, & Berawi, 2017), a transferência de conhecimento na inovação tecnológica (Burnett & Williams, 2014) e extração por fraturamento hidráulico (Koplos, Tuccillo, & Ranalli, 2014).

Apesar de algumas dezenas de estudos versarem sobre revisões de literatura de inovação em energias limpas e combustíveis fósseis, não há publicações comparando os volumes de pesquisas em energias limpas e combustíveis fósseis, as disciplinas de concentração dos estudos e suas origens. Além disso, segundo o Manual de Oslo (OCDE, 2005), as instituições de pesquisas e suas publicações em inovação são fundamentais para o surgimento e difusão de tecnologias inovadoras, pois se integram diretamente com a demanda, as empresas e as políticas de inovação.

Segundo Merigó et al. (2016) as pesquisas acadêmicas em inovação ganharam importância a partir de meados século passado, tendo aumentado rapidamente nos últimos anos, principalmente na América do Norte, oeste europeu e leste asiático.

A inovação entendida como destruição criativa (Schumpeter, 2003) é um caminho necessário para a substituição dos combustíveis fósseis pelas energias limpas (Hart, 2005; Lovio, Mickwitz, & Heiskanen, 2011; Mazzucato, 2013). Além do que, as mudanças estruturais direcionadas pela inovação podem trazer benefícios como crescimento, geração de emprego e aumento da produtividade (Fankhaeser et al., 2008).

Tanto os setores públicos como o privado estimulam e dependem da inovação nos sistemas energéticos (Fri, 2003) e a resposta tem sido rápida ao desafio de mitigação das mudanças climáticas por meio de novas patentes, úteis no combate ao aquecimento global (Su & Moaniba, 2017). Para Su e Moaniba (2017) os países que mais emitem CO<sub>2</sub> também são os que mais produzem patentes de combate ao aquecimento global.

As inovações em energias solar e eólica tem apresentado resultados promissores tanto para a redução das emissões dos gases de efeito estufa como para a sua captação e aproveitamento na criação de energia, combustíveis e produtos químicos (Yuan & Chen, 2012), no entanto, “mesmo os planos bem delineados para o futuro podem ser prejudicados pelas mudanças nas principais tecnologias energéticas, particularmente porque os governos e a indústria intensificam seus esforços para promover a inovação energética limpa” (IEA, 2016).

Para Stuart Hart (2005) o futuro sustentável não será alcançado apenas com inovações contínuas e incrementais, pois mais de 4 bilhões de pessoas ainda estão excluídas das “economias industrializadas” com pouco, ou nenhum acesso, a energias e esta demanda global é extremamente favorável para a inovação disruptiva em energias limpas.

Apesar de serem grandes antagonistas para a preservação do clima na Terra, a produção e consumo dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, tende a aumentar nos próximos anos (IEA & NEA, 2015), portanto, seu desenvolvimento tecnológico ainda é muito ativo (Hassani et al., 2017). De certo modo há uma preocupação com a redução das emissões de CO<sub>2</sub> na própria indústria energética a base de combustíveis fósseis (Hassani et al., 2017; Zhang et al., 2013). Assim como na indústria das energias limpas, a inovação tem um papel crucial na sobrevivência da indústria do petróleo e petroquímica, tanto para o aumento da produtividade e eficiência, como para a redução da emissão de poluentes (Hassani et al., 2017; Yuan & Chen, 2012; Zhang et al., 2013).

Os custos de produção de energia oriunda dos combustíveis fósseis ainda é mais atrativo do que as energias limpas, no entanto, políticas públicas e investimentos em inovação nas energias limpas tendem a deixá-las mais baratas em meados do séc. XXI (IEA, 2016).

Neste sentido, este estudo bibliométrico tem o propósito de “avaliar as publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas, no período de 2007 a 2016”. Mais especificamente, este estudo busca: a) Identificar as origens dessas pesquisas; b) Identificar as

disciplinas de concentração das publicações; c) Comparar as tendências de pesquisas sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas; d) Contribuir para o conhecimento teórico e prático, fornecendo informações para a formulação de políticas de fomento de pesquisas em empresas, universidades e governos, assim como direcionar pesquisadores para o futuro energético de baixo carbono, entre outros.

O estudo se divide em três partes. Primeiramente é apresentada a metodologia e os procedimentos de análises dos dados. Posteriormente são apresentados os resultados encontrados na investigação e finalmente as conclusões.

## 2 Metodologia

As bases bibliográficas *Scopus* e *Web Of Science* são as melhores opções para pesquisas bibliométricas, especialmente usando termos em língua inglesa, não havendo um consenso sobre qual das duas seria a mais indicada, cabendo ao pesquisador escolher entre uma ou outra (Mongeon & Paul-Hus, 2016; Vieira & Gomes, 2009). Para definir qual das duas escolher, realizou-se um teste em agosto de 2017, usando como filtro o termo “innovation” (entre aspas), somente no título da publicação, em ambas as bases, limitando o resultado aos anos de 2007 a 2016, somente artigos e revisões. O teste apresentou os seguintes resultados: na base *Scopus* foram encontradas 30.090 publicações (26.600 em língua inglesa – 88,4%); na base *Web Of Science* foram encontradas 17.394 publicações (16.040 em língua inglesa – 92,2%). Vale dizer que a base *Web Of Science* não dispunha da opção de busca em *keywords*. Considerando que após esse teste, foram encontrados na base *Web of Scince* apenas 57,8% do volume encontrado na base *Scopus* (60,3% em língua inglesa), optamos por conduzir esse estudo apenas com a base *Scopus*. Neste caso, os resultados foram mais abrangentes em artigos e revisões sobre inovação, desconsiderando-se a análise qualitativa de fator de impacto dessas publicações.

Tabela 1  
Parâmetros de buscas

Conteúdo	Filtro de busca	Resultados
combustíveis fósseis e inovação	(( KEY ( "coal" ) OR KEY ( "petroleum" ) OR KEY ( "oil and gas" ) AND KEY ( innovation ) ) AND DOCTYPE ( ar OR re ) AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2017 AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE,"j " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE," k " ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English " ) ) )	236
energias limpas e inovação	(( KEY ( "solar energy" ) OR KEY ( "solar power" ) OR KEY ( "wind energy" ) OR KEY ( "wind power" ) AND KEY ( innovation ) ) AND DOCTYPE ( ar OR re ) AND PUBYEAR > 2006 AND PUBYEAR < 2017 AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE,"j " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE," k " ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English " ) ) )	346

Para buscar o conjunto de artigos e revisões na base *Scopus*, somente em língua inglesa, limitados aos anos 2007 a 2016, usamos na busca avançada os parâmetros demonstrados na Tabela 1. Para o grupo de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis foi utilizado o operador “or” combinado com as palavras-chaves “coal”, “petroleum” e “oil and gas”, seguido do operador “and”, mais a palavra-chave “innovation”. Para o grupo de publicações sobre inovação em energias limpas foi utilizado o operador “or” combinado com as palavras-chaves “solar energy”, “solar power”, “wind energy” e “wind power”, seguido do operador “and”, mais a palavra-chave “innovation”. Vale dizer que as palavras-chaves apresentadas pela base *Scopus* são ampliadas por método próprio da base bibliográfica, não sendo apenas as palavras-chaves propostas pelos dos autores das

publicações. Posteriormente os dados foram exportados e analisados no editor de planilhas Microsoft Excel, versão 14, do Microsoft Office Professional Plus 2010. Na primeira análise foram organizadas em tabelas as origens das publicações por países (Tabela 2) e por organizações de pesquisa (Tabela 3). Em seguida, foram sistematizadas as principais disciplinas (Tabela 4) e periódicos das publicações (Tabela 5). Por fim, foram agrupadas cronologicamente os volumes das publicações sobre inovações energias limpas e combustíveis fósseis e geradas automaticamente no editor de planilhas as tendências lineares (Figura 1).

### 3 Resultados

Este estudo identificou 582 artigos e revisões, sendo 236 publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e 346 publicações sobre inovação em energias limpas (46,6% mais publicações em energias limpas), nos anos de 2007 a 2016.

#### 3.1 Origem das publicações

Tabela 2  
Países de origem das publicações analisadas

Posição	Disciplinas de publicações em combustíveis fósseis	Totais	%	Disciplinas de publicações em energias limpas	Totais	%
1	Estados Unidos	52	22,0	Estados Unidos	75	21,7
2	China	47	19,9	Reino Unido	40	11,6
3	Noruega	16	6,8	China	36	10,4
4	Reino Unido	16	6,8	Holanda	32	9,2
5	Alemanha	13	5,5	Alemanha	29	8,4
6	Índia	13	5,5	Itália	23	6,6
7	Austrália	12	5,1	Suécia	18	5,2
8	Canadá	12	5,1	Espanha	15	4,3
9	Japão	11	4,7	Dinamarca	12	3,5
10	Brasil	9	3,8	França	11	3,2

As publicações sobre inovação em combustíveis fósseis são de autores de 41 nacionalidades conhecidas, mais 15 indefinidas, ao passo que as publicações sobre energias limpas vêm de 53 países, mais 11 indefinidos. Ao observar os países de origem das publicações identificadas (Tabela 2), nota-se que países como Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Alemanha, Itália, Suécia, Espanha, Dinamarca, França, Suíça e Taiwan, expressam em números absolutos, mais publicações sobre inovação em energias limpas do que combustíveis fósseis. No sentido oposto, China, Noruega, Canadá, Austrália, Índia, Japão, Brasil, Rússia, Singapura e Polônia apresentaram mais publicações sobre inovação em combustíveis fósseis do que energias limpas. A interpretação dos percentuais deve levar em conta que as publicações podem ter origem em mais de um país.

Analisando a listagem de origens juntamente com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (UNDP, 2016), observa-se que nos países com mais publicações em energias limpas do que combustíveis fósseis, todos tem IDH “muito alto” (Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Alemanha, Itália, Suécia, Espanha, Dinamarca, França e Suíça<sup>1</sup>). Por outro lado, três países com desenvolvimento humano “alto” aparecem entre os países com mais

<sup>1</sup> Taiwan não é listada isoladamente no IDH

publicações em combustíveis fósseis do que energias limpas (China, Índia e Brasil). Noruega, Canadá, Austrália, Japão, Rússia, Singapura e Polônia são países com IDH “muito alto”, porém apresentaram mais publicações em combustíveis fósseis do que energias limpas. Observa-se então que as publicações sobre inovação em energias limpas superou os combustíveis fósseis primeiramente nos países com IDH “muito alto”.

Investigando as organizações de origem das publicações, constatou-se que combustíveis fósseis tiveram origem em 243 organizações diferentes, enquanto as publicações sobre energias limpas surgiram de 367 organizações. A Tabela 3 demonstra um comparativo entre as 10 principais organizações de origem das publicações, seu volumes absolutos, percentuais e relativos ao *ranking* “Times Higher Education”, edição 2018 (THE-2018) (Times Higher Education World University Rankings, 2017). As publicações sobre inovação em combustíveis fósseis são provenientes de organizações com baixa classificação no *ranking* THE-2018, com exceção de 5 publicações da “Tsinghua University” (30<sup>a</sup>) e 4 publicações da “University of Cambridge” (2<sup>a</sup>).

Tabela 3

### Organizações de pesquisa de origem das publicações

Posição	Origem das publicações em combustíveis fósseis	Totais	%	Posição THE18*	Origem das publicações em energias limpas	Totais	%	Posição THE18*
1	China University of Petroleum - Beijing	9	3,8	801 <sup>a</sup> -1000 <sup>a</sup>	Tsinghua University	9	2,6	30 <sup>a</sup>
2	Universitet i Stavanger	7	3,0	NC	UC Berkeley	8	2,3	18 <sup>o</sup>
3	Harbin Institute of Technology	5	2,1	501 <sup>a</sup> -600 <sup>a</sup>	Delft University of Technology	7	2,0	63 <sup>a</sup>
4	Tsinghua University	5	2,1	30 <sup>a</sup>	Utrecht University	7	2,0	68 <sup>a</sup>
5	New Mexico Institute of Mining and Technology	5	2,1	NC	Chinese Academy of Sciences	7	2,0	NC
6	University of Calgary	4	1,7	201 <sup>a</sup> -250 <sup>a</sup>	Aalborg Universitet	7	2,0	201 <sup>a</sup> -250 <sup>a</sup>
7	China National Petroleum Corporation	4	1,7	E	The Royal Institute of Technology KTH	6	1,7	173 <sup>a</sup>
8	University of Cambridge	4	1,7	2 <sup>a</sup>	University of Sussex	6	1,7	147 <sup>a</sup>
9	China University of Mining Technology	4	1,7	801 <sup>a</sup> -1000 <sup>a</sup>	Universidad Politecnica de Madrid (Technical University of Madrid)	6	1,7	601 <sup>a</sup> -800 <sup>a</sup>
10	Universidade Federal do Rio de Janeiro	3	1,3	601 <sup>a</sup> -800 <sup>a</sup>	Cass Business School (University of East London)	5	1,4	601 <sup>a</sup> -800 <sup>a</sup>

Nota. THE18=Times Higher Education Ranking 2018; NC= organização não classificada no *ranking* THE-2018; E=empresa.

No que diz respeito às publicações sobre inovação em energias limpas, das 10 organizações listadas, 6 estão entre as 200 melhores classificadas no *ranking* THE-2018, sendo “Tsinghua University” (30<sup>a</sup>), “UC Berkeley” (18<sup>a</sup>), “Delft University of Technology” (63<sup>a</sup>), “Utrecht University” (68<sup>a</sup>), “The Royal Institute of Technology – KTH” (173<sup>a</sup>) e “University of Sussex” (147<sup>a</sup>). Na faixa de classificação 201<sup>a</sup> a 250<sup>a</sup> há 1 universidade (“Aalborg

Universitet”) e 2 estão na faixa 601<sup>a</sup> a 800<sup>a</sup> (“Universidad Politecnica de Madrid” e “Cass Business School”). A universidade “Chinese Academy of Sciences” aparece na 5<sup>a</sup> posição da tabela, porém não está classificada no THE-2018.

### 3.2 Disciplinas e periódicos

Já a Tabela 4 traz a classificação de disciplinas da base *Scopus*, com as dez principais áreas de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas. Observa-se que as três disciplinas onde há maior concentração de publicações são as mesmas (Energia, Ciência Ambiental e Engenharia). Nestas três disciplinas, assim como na quinta (Negócios, Gestão e Contabilidade), os volumes de publicações em energias limpas superam os totais de publicações em combustíveis fósseis. Nas Ciências Terrestre e Planetária há um destaque isolado de publicações em combustíveis fósseis, assim como há um destaque isolado de publicações em energias limpas nas Ciências Sociais. As somas dos valores percentuais superam 100%, pois as publicações podem estar presentes em mais de uma disciplina.

Tabela 4

#### Disciplinas de maiores concentrações de publicações

Posição	Disciplinas de publicações em combustíveis fósseis	Totais	%	Disciplinas de publicações em energias limpas	Totais	%
1	Energia	103	43,6	Energia	210	60,7
2	Ciência Ambiental	79	33,5	Ciência Ambiental	129	37,3
3	Engenharia	64	27,1	Engenharia	77	22,3
4	Ciência Planetária e da Terra	44	18,6	Ciências Sociais	57	16,5
5	Negócios, Gestão e Contabilidade	42	17,8	Negócios, Gestão e Contabilidade	48	13,9
6	Engenharia Química	27	11,4	Ciência de Materiais	29	8,4
7	Ciência de Materiais	18	7,6	Psicologia	21	6,1
8	Ciências Sociais	18	7,6	Economia, Econometria e Finanças	19	5,5
9	Química	17	7,2	Ciências da Decisão	12	3,5
10	Economia, Econometria e Finanças	17	7,2	Engenharia Química	11	3,2

Quanto aos periódicos com mais publicações, a Tabela 5 demonstra o ordenamento com os 10 principais, tanto para publicações sobre inovação em combustíveis fósseis quanto para energias limpas. O periódico “Energy Policy” se destaca por ocupar simultaneamente a primeira posição nos combustíveis fósseis e nas energias limpas, assim como se percebe também a importância dos periódicos “Applied Energy” e “Energy” nos dois temas. Os periódicos “Energy Policy”, “Renewable Energy” e “Applied Energy” juntos representam aproximadamente 1/3 das publicações sobre inovação em energias limpas. Somados os 10 principais periódicos sobre inovação em energias limpas, representam mais da metade (54,3%) destas publicações. Por outro lado, os 10 principais periódicos com publicações sobre inovação em combustíveis fósseis, representam 26,3% do total destas publicações.



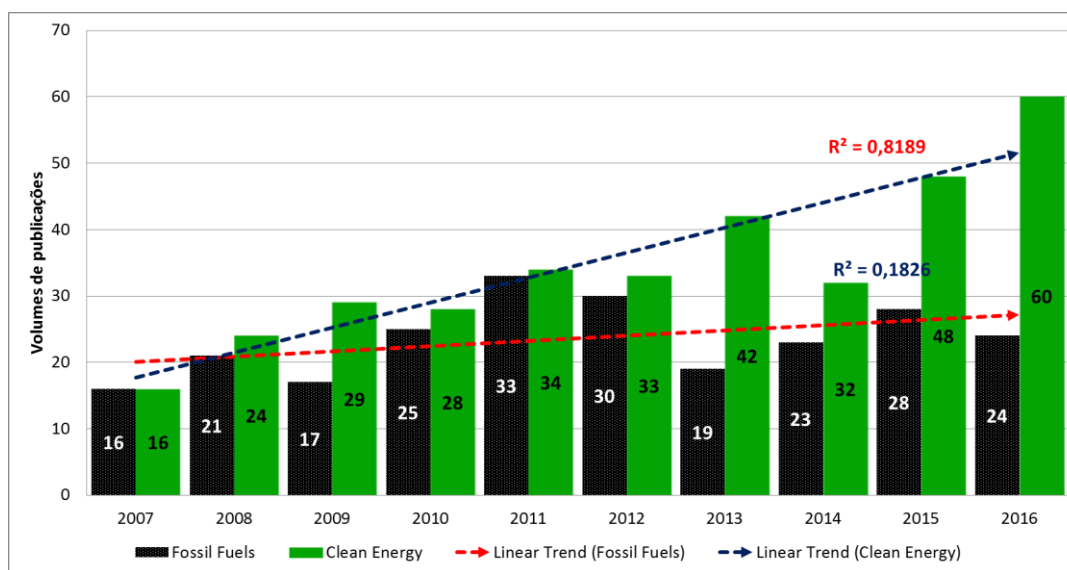
Tabela 5

**Periódicos com maiores concentrações de publicações**

Posição	Periódicos de publicações em combustíveis fósseis	Totais	%	Periódicos de publicações em energias limpas	Totais	%
1	Energy Policy	17	7,2	Energy Policy	45	13,0
2	Applied Energy	8	3,4	Renewable Energy	31	9,0
3	Energy Economics	8	3,4	Applied Energy	27	7,8
4	Energy	6	2,5	Technological Forecasting And Social Change	20	5,8
5	Jpt Journal Of Petroleum Technology	6	2,5	Energy	16	4,6
6	Offshore	4	1,7	Renewable And Sustainable Energy Reviews	15	4,3
7	Technological Forecasting And Social Change	4	1,7	Solar Energy	15	4,3
8	Drying Technology	3	1,3	Energy For Sustainable Development	9	2,6
9	Environmental Science And Technology	3	1,3	Energy Economics	5	1,4
10	Journal Of Cleaner Production	3	1,3	Environmental Innovation And Societal Transitions	5	1,4

**3.3 Tendências comparadas das publicações**

Ao todo foram identificados 582 artigos e revisões, sendo 236 publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e 346 publicações sobre inovação em energias limpas (46,6% mais publicações em energias limpas). Ao se observar a sua distribuição temporal (Figura 1), destaca-se a tendência linear crescente do grupo de publicações sobre inovação em energias limpas, com confiabilidade do  $R^2 = 0,8189$ . O grupo de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis apresentou tendência estável, com confiabilidade do  $R^2 = 0,1826$ . Nos anos de 2015 e 2016, evidenciou-se um distanciamento acentuado entre as publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e inovação em energias limpas.

**Figura 1.** Distribuição temporal dos volumes de publicações (2007/2016)

#### 4 Conclusões

Este trabalho traz uma análise bibliométrica comparativa entre publicações sobre inovação em combustíveis fósseis (236) e sobre inovação em energias limpas (346). Preliminarmente, foi demonstrado que a base *Scopus* possui aproximadamente 73% mais artigos e revisões disponíveis do que a base *Web Of Science*, para publicações sobre inovação, nos anos de 2007 a 2016, sendo a grande maioria em língua inglesa.

Quanto aos 10 principais países de origem das publicações sobre inovação em combustíveis fósseis há uma mistura de países com IDH “muito alto” e “alto”, enquanto nas publicações sobre inovação em energias limpas, 9 entre os 10 principais países têm IDH “muito alto” (exceto a China). Nos países com mais publicações em energias limpas do que combustíveis fósseis, constantes no IDH, todos tem índice “muito alto” (Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Alemanha, Itália, Suécia, Espanha, Dinamarca, França e Suíça). No entanto, Noruega, Canadá, Austrália, Japão, Rússia, Singapura e Polônia são países com IDH “muito alto”, porém apresentaram mais publicações em combustíveis fósseis do que energias limpas. Disso conclui-se que as publicações sobre inovação em energias limpas superou os combustíveis fósseis primeiramente nos países com IDH “muito alto”.

A China se destaca neste estudo por ser um país com IDH abaixo da faixa “muito alto” e apresentar grande volume de publicações, tanto sobre inovação em combustíveis fósseis como energias limpas. Na verificação das organizações de origem da publicações aparece uma companhia chinesa (China National Petroleum Corporation) e mais universidades e institutos do que quaisquer outro países da faixa de IDH “muito alto” (China University of Petroleum – Beijing, Tsinghua University, Harbin Institute of Technology, Chinese Academy of Sciences e China University of Mining Technology). Esse cenário sugere uma desempenho singular do país em inovação energética (He et al., 2016; Urban et al., 2016; Zou et al., 2017) e mobilização acadêmica robusta.

O *ranking* “Times Higher Education 2018” foi usado para aferir a excelência das organizações de pesquisas de onde originaram as publicações. Os artigos e revisões sobre inovação em energias limpas são provenientes de instituições melhor classificadas no ranking THE-2018, pois 6 entre as 10 primeiras instituições estão entre as 200 principais no ranking mundial, ou seja, “Tsinghua University” (30<sup>a</sup>), “UC Berkeley” (18<sup>a</sup>), “Delft University of Technology” (63<sup>a</sup>), “Utrecht University” (68<sup>a</sup>), “The Royal Institute of Technology KTH” (173<sup>a</sup>) e “University of Sussex” (147<sup>a</sup>). Em contraste, no grupo de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis apenas 2 instituições estão entre as 200 primeiras, isto é, “Tsinghua University” (30<sup>a</sup>) e “University of Cambridge” (2<sup>a</sup>). Neste sentido, organizações de pesquisas de excelência estão priorizando mais as publicações sobre inovação em energias limpas do que combustíveis fósseis.

As 10 disciplinas de maior concentração de publicações foram analisadas e constatou-se que 3 disciplinas lideram simultaneamente as publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas, ou seja, Energia, Ciência Ambiental e Engenharia. A quinta principal disciplina também é a mesma (Negócios, Gestão e Contabilidade). Portanto, essas disciplinas são fundamentais para a pretensão de um futuro energético de baixo carbono.

Foram analisados os 10 principais periódicos de publicações sobre inovação em combustíveis fósseis e energias limpas. Mais da metade das publicações sobre inovação em energias limpas estão concentrados em 10 periódicos, ou seja, “Energy Policy”, “Renewable Energy”, “Applied Energy”, “Technological Forecasting And Social Change”, “Energy”, “Renewable And Sustainable Energy Reviews”, “Solar Energy”, “Energy For Sustainable Development”, “Energy Economics” e “Environmental Innovation And Societal Transitions”. Os 3 primeiros concentram aproximadamente 1/3 das publicações.

As publicações sobre inovação em combustíveis fósseis são mais distribuída, com 26,3% de participação nos 10 principais periódicos. Os 3 primeiros (“Energy Policy”, “Applied Energy” e “Energy Economics” concentram apenas 14% das publicações sobre inovação em combustíveis fósseis.

Finalmente, destacou-se o fato de que as publicações sobre inovação em energias limpas superaram as publicações sobre inovação em combustíveis fósseis a partir de 2007, consolidando uma tendência superior acentuada nos anos seguintes (2013 a 2016) e apontando para a continuidade da importância da pesquisa sobre inovação em energias limpas nos próximos anos. Estas conclusões sugerem que a comunidade científica está atenta à inovação na contenção do aquecimento global causado pelos combustíveis fósseis (IEA, 2016; Lewis, 2016; Solomon & Krishna, 2011).

Pesquisas futuras devem valer-se de outros métodos qualitativos e quantitativos para aferir as tendências, origens, direções e concentrações das publicações ora investigadas. Como última observação, vale dizer que o alcance deste trabalho é limitado, pelo menos, pelo método utilizado; pela dificuldade de agrupar e comparar 2 grupos heterogêneos de publicações sobre inovação (combustíveis fósseis e energias limpas); pela confiabilidade das definições e classificação da base bibliográfica utilizada; e pelas metodologias externas utilizadas nas classificações de desenvolvimento humano e *ranking* universitário.

## Referências

- Bossink, B. A. G. (2015). Demonstration projects for diffusion of clean technological innovation: a review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(6), 1409–1427. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0879-4>
- Burnett, S., & Williams, D. (2014). The role of knowledge transfer in technological innovation: an oil and gas industry perspective. *Knowledge Management Research & Practice*, 12(2), 133–144. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2012.48>
- Chu, S., & Majumdar, A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, 488(7411), 294–303. <https://doi.org/10.1038/nature11475>
- Corsatea, T. D. (2014). Technological capabilities for innovation activities across Europe: Evidence from wind, solar and bioenergy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.067>
- de Paulo, A. F., & Porto, G. S. (2017). Solar energy technologies and open innovation: A study based on bibliometric and social network analysis. *Energy Policy*, 108(September 2016), 228–238. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.007>
- Dedecca, J. G., Hakvoort, R. A., & Ortt, J. R. (2016). Market strategies for offshore wind in Europe: A development and diffusion perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.007>
- Deepak, T. G., Anjusree, G. S., Thomas, S., Arun, T. A., Nair, S. V., & Sreekumaran Nair, A. (2014). A review on materials for light scattering in dye-sensitized solar cells. *RSC Adv.*, 4(34), 17615–17638. <https://doi.org/10.1039/C4RA01308E>
- Dincer, I., & Acar, C. (2015). A review on clean energy solutions for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, 39(5), 585–606. <https://doi.org/10.1002/er.3329>
- Fankhaeser, S., Sehlleir, F., & Stern, N. (2008). Climate change, innovation and jobs. *Climate Policy*, 8(4), 421–429. <https://doi.org/10.3763/cpol.2008.0513>
- Fri, R. W. (2003). The Role of Knowledge: Technological Innovation in the Energy System. *The Energy Journal*, 24(4), 51–74. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol24-No4-3>
- Gu, S., Xu, B., & Yan, Y. (2014). Electrochemical Energy Engineering: A New Frontier of Chemical Engineering Innovation. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 5(1), 429–454. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060713-040114>
- Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., ... Lo, K.-W. (2016). Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(6), 3761–3812. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3761-2016>
- Hart, S. L. (2005). Innovation, Creative Destruction and Sustainability. *Research-Technology Management*, 48(5), 21–27. <https://doi.org/10.1080/08956308.2005.11657334>
- Hassani, H., Silva, E. S., & Al Kaabi, A. M. (2017). The role of innovation and technology in sustaining the petroleum and petrochemical industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 119, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.003>

- He, Z., Xu, S., Shen, W., Long, R., & Yang, H. (2016). Overview of the development of the Chinese Jiangsu coastal wind-power industry cluster. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.187>
- IEA. (2016). *World Energy Outlook 2016*. [https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB\\_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf](https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf)
- IEA, & NEA. (2015). *Projected Costs of Generating Electricity*. Retrieved from <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>
- Kammen, D. M., & Sunter, D. A. (2016). City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science*, 352(6288), 922–928. <https://doi.org/10.1126/science.aad9302>
- Karakaya, E., Hidalgo, A., & Nuur, C. (2015). Motivators for adoption of photovoltaic systems at grid parity: A case study from Southern Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1090–1098. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.077>
- Karakaya, E., & Sriwannawit, P. (2015). Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.058>
- Khalil, M., Jan, B. M., Tong, C. W., & Berawi, M. A. (2017). Advanced nanomaterials in oil and gas industry: Design, application and challenges. *Applied Energy*, 191, 287–310. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.074>
- Kim, K., & Kim, Y. (2015). Role of policy in innovation and international trade of renewable energy technology: Empirical study of solar PV and wind power technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 717–727. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.033>
- Koplos, J., Tuccillo, M. E., & Ranalli, B. (2014). Hydraulic fracturing overview: How, where, and its role in oil and gas. *Journal - American Water Works Association*, 106, 38–56. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2014.106.0153>
- Lee, C.-Y., & Huh, S.-Y. (2017). Forecasting new and renewable energy supply through a bottom-up approach: The case of South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.173>
- Lewis, N. S. (2016). Research opportunities to advance solar energy utilization. *Science*, 351(6271), aad1920-aad1920. <https://doi.org/10.1126/science.aad1920>
- Liao, K.-S., Yambem, S. D., Haldar, A., Alley, N. J., & Curran, S. A. (2010). Designs and Architectures for the Next Generation of Organic Solar Cells. *Energies*, 3(6), 1212–1250. <https://doi.org/10.3390/en3061212>
- Lizin, S., Van Passel, S., De Schepper, E., Maes, W., Lutsen, L., Manca, J., & Vanderzande, D. (2013). Life cycle analyses of organic photovoltaics: a review. *Energy & Environmental Science*, 6(11), 3136. <https://doi.org/10.1039/c3ee42653j>
- Lovio, R., Mickwitz, P., & Heiskanen, E. (2011). Path dependence, path creation and creative destruction in the evolution of energy systems. In R. Wüstenhagen & R. Wuebker (Eds.), *The Handbook of Research on Energy Entrepreneurship* (p. 274). Edward Elgar Publishing Limited.
- Marcus, A., Malen, J., & Ellis, S. (2013). The Promise and Pitfalls of Venture Capital as an Asset Class for Clean Energy Investment. *Organization & Environment*, 26(1), 31–60. <https://doi.org/10.1177/1086026612474956>

- Mazzucato, M. (2013). Financing innovation: creative destruction vs. destructive creation. *Industrial and Corporate Change*, 22(4), 851–867. <https://doi.org/10.1093/icc/dtt025>
- Merigó, J. M., Cancino, C. A., Coronado, F., & Urbano, D. (2016). Academic research in innovation: a country analysis. *Scientometrics*, 108(2), 559–593. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1984-4>
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Nakata, T., Silva, D., & Rodionov, M. (2011). Application of energy system models for designing a low-carbon society. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(4), 462–502. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2010.08.001>
- OCDE. (2005). *Oslo Manual. Communities* (3rd ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264013100-en>
- Py, X., Azoumah, Y., & Olives, R. (2013). Concentrated solar power: Current technologies, major innovative issues and applicability to West African countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.030>
- Quitow, R. (2015). Assessing policy strategies for the promotion of environmental technologies: A review of India's National Solar Mission. *Research Policy*, 44(1), 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.09.003>
- Raluy, R. G., Schwantes, R., Subiela, V. J., Peñate, B., Melián, G., & Betancort, J. R. (2012). Operational experience of a solar membrane distillation demonstration plant in Pozo Izquierdo-Gran Canaria Island (Spain). *Desalination*, 290, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.01.003>
- Rogelj, J., den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., ... Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, 534(7609), 631–639. <https://doi.org/10.1038/nature18307>
- Schumpeter, J. A. (2003). *Capitalism, Socialism & Democracy*. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203202050>
- Solomon, B. D., & Krishna, K. (2011). The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*, 39(11), 7422–7431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>
- Su, H. N., & Moaniba, I. M. (2017). Does innovation respond to climate change? Empirical evidence from patents and greenhouse gas emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, 122(April), 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.04.017>
- Subramani, A., Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., & Jacangelo, J. G. (2011). Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: A review. *Water Research*, 45(5), 1907–1920. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.032>
- Times Higher Education World University Rankings. (2017). Times Higher Education World University Rankings 2018. Retrieved from <https://digital.timeshighereducation.com/TimesHigherEducationWorldUniversityRankings2018/offline/download.pdf>
- UNDP. (2016). 2016 Human Development Report. Retrieved from [http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016\\_human\\_development\\_report.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf)

- Urban, F., Geall, S., & Wang, Y. (2016). Solar PV and solar water heaters in China: Different pathways to low carbon energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.023>
- Vieira, E. S., & Gomes, J. A. N. F. (2009). A comparison of Scopus and Web of Science for a typical university. *Scientometrics*, 81(2), 587–600. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>
- Wieczorek, A. J., Hekkert, M. P., Coenen, L., & Harmsen, R. (2015). Broadening the national focus in technological innovation system analysis: The case of offshore wind. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, 128–148. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.09.001>
- Yuan, Z., & Chen, B. (2012). Process synthesis for addressing the sustainable energy systems and environmental issues. *AIChE Journal*, 58(11), 3370–3389. <https://doi.org/10.1002/aic.13914>
- Zhang, N., Zhou, P., & Choi, Y. (2013). Energy efficiency, CO<sub>2</sub> emission performance and technology gaps in fossil fuel electricity generation in Korea: A meta-frontier non-radial directional distance function analysis. *Energy Policy*, 56, 653–662. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.033>
- Zou, H., Du, H., Ren, J., Sovacool, B. K., Zhang, Y., & Mao, G. (2017). Market dynamics, innovation, and transition in China's solar photovoltaic (PV) industry: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.053>