

## **Configuração de rotas tecnológicas e tecnologias emergentes: um estudo baseado em patentes fotovoltaicas**

**ALEX FABIANNE DE PAULO**  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

**GECIANE SILVEIRA PORTO**  
FEA-RP/USP

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradecimentos à FAPESP pelos auxílios aos projetos de pesquisa 2012/22686-9, 2017/50102-5 e à CAPES pelo auxílio concedido pelo processo PDSE/88881.132723/2016-01.

# CONFIGURAÇÃO DE ROTAS TECNOLÓGICAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES: UM ESTUDO BASEADO EM PATENTES FOTOVOLTAICAS

## 1. INTRODUÇÃO

Mesmo antes das discussões atuais acerca dos problemas climáticos gerados pelo uso de combustíveis fósseis, carvão e pelo uso de fontes não renováveis de energia, vários pesquisadores já apontavam os benefícios no uso de energia solar fotovoltaica tais como: redução de poluição ambiental, fonte renovável e limpa de energia, escalabilidade, entre outros motivadores (KALOGIROU, 2004; TOL, 2008; IPCC, 2014). Três métodos dominantes para gerar eletricidade serão mais susceptíveis de emergir do domínio da energia "alternativa" e se tornarão muito mais convencionais nas próximas três décadas: *hydro-wave*, fusão nuclear e energia solar fotovoltaica (REUTERS, 2016). Dentre estas tecnologias, a energia solar PV foi a que mais cresceu entre 2010 e 2015 (160%) e teve a maior atividade global com 17.569 invenções únicas registradas até o final de 2015. O mesmo relatório ressalta que os métodos de geração de eletricidade baseados em carvão, gás natural e outros combustíveis fósseis ainda permanecerão na matriz energética, mas diminuirá significativamente nos próximos 30 anos.

Neste contexto e dado a importância das tecnologias renováveis, a compreensão do desenvolvimento de tecnologias solar baseado em rotas tecnológicas (RT) tem o diferencial de ser mais qualitativo e possibilitar uma vertente de análise adicional além dos resultados quantitativos (VERSPAGEN, 2007). A identificação das rotas tecnológicas permite analisar os principais titulares das invenções, qual a relação entre eles e quais inovações são as mais emergentes e que despontam como tendência do setor. Este tipo de descoberta pode ocorrer por meio de diversos meios de prospecção, sendo que a análise de rotas tecnológicas traz benefícios tais como: simplifica uma rede de citações complexa para um pequeno número de nós interconectados e identifica os trabalhos em uma importante conjuntura do desenvolvimento histórico sem necessariamente serem os trabalhos que possuem alta contagem de citações (HALL; JAFFE; TRAJTENBERG, 2001; LIU; LU, 2012).

Considerando a importância da inovação no processo de desenvolvimento tecnológico e da cooperação como fator chave desse processo, bem como a relevância no entendimento das principais rotas de desenvolvimento de tecnologias solar PV, este trabalho propõe responder a seguinte questão: "Qual a configuração das rotas tecnológicas PV e suas tecnologias mais emergentes e promissoras?". Para isso, este artigo analisa patentes relacionadas a tecnologias PV classificadas no *IPC Green Inventory* (IPC-GI). A utilização desta classificação permite avaliar não apenas tecnologias sobre células solares ou materiais utilizados na indústria PV, como também analisar tecnologias PV utilizadas em dispositivos e outros tipos de aplicações correlatas. A resposta a questão de pesquisa busca complementar outros estudos sobre tendência de tal forma a permitir uma compreensão mais ampla das tendências sobre energia solar PV.

## 2. REVISÃO

### 2.1 *Tecnologias fotovoltaicas*

As tendências globais aponta para um crescimento na demanda mundial de energias primárias de 37% entre 2012 e 2040 devido aos ganhos de eficiência energética e mudanças estruturais na economia global, além do impulso dado por novas tecnologias como veículos elétricos (BLOOMBERG, 2016; IEA, 2018a). Quase todo o crescimento na demanda de energia no futuro virá de países não membros da OECD, tendo países asiáticos, China e Índia, como principais demandantes (IEA, 2014).

Os desafios para suprir toda essa demanda estão em reduzir custos, aumentar escala de produção, dar maior eficiência (durabilidade e conservação de energia) para as células solares, definir processos de reaproveitamento ou descarte de resíduos e estabelecer políticas

econômicas por meio de incentivos/subsídios (ŞEN, 2004; TIMILSINA; KURDGELASHVILI; NARBEL, 2012; DEVABHAKTUNI et al., 2013). Também são necessárias abordagens disruptivas para tecnologias de armazenamento que compensem a intermitência da luz solar e permitam o desenvolvimento de um sistema de energia limpa completo (LEWIS, 2016).

A tabela 1 sintetiza algumas abordagens da literatura que apontam tendências sobre tecnologias PV e suas aplicações. Nota-se que estudos mais recentes adotam abordagens específicas, ora orientadas à tecnologia, ora a aspectos de mercado, além se basearem em opiniões de especialistas ou análise quantitativa de patentes PV.

**Tabela 1** - Visão geral das tendências sobre tecnologias PV

<b>Tópicos</b>	<b>Pontos críticos</b>	<b>Autores</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nanotechnology-enhanced thin-film solar cells</i> como soluções emergentes</li> <li>• Índia e China serão líderes no desenvolvimento destas tecnologias</li> <li>• China mostrou menos cooperação internacional que outros países</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisa tendências tecnológicas utilizando artigos acadêmicos ao invés de avaliar de invenções propriamente ditas (patentes)</li> </ul>	Guo, Huang e Porter (2010)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estados Unidos, Japão e Alemanha são importantes centros de citação;</li> <li>• Boeing, Konarka Technologies, Eastman Kodak e Sharp são instituições mais relevantes</li> <li>• Inovações emergentes: <i>Batteries: thermoelectric and photoelectric, Active solid-state devices</i> e <i>Stock material or miscellaneous</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo limitado a células PV orgânicas e patentes depositadas nos escritórios da Coreia do Sul, EUA, Europa, China e Japão.</li> </ul>	Choe et al. (2013)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destacam tecnologias PV emergentes sendo testadas e desenvolvidas em menor escala (<i>Dye-sensitized TiO<sub>2</sub>, Thin-film Si e Organic PV</i>).</li> <li>• Complementa análise apontando tecnologias ainda em estudo e desenvolvimento (<i>Perovskite, CZTS e Quantum dots</i>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explora tendência exclusivamente sob a ótica da tecnologia utilizadas em células solares, sem abordar aspectos adicionais sobre aplicabilidade</li> </ul>	Polman et al. (2016), Jacoby (2016)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inovações recentes focadas em materiais inorgânicos, orgânicos e silício.</li> <li>• Líderes em invenções PV: Sharp, Mitsubishi, Kyocera, Fujifilm, LG, Samsung, Konica Minolta e Chinese Academy of Science.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não explora qual a relação entre as organizações envolvidas.</li> <li>• Classificação das tecnologias emergentes e principais organizações baseada em contagem de patentes</li> </ul>	Reuters (2016)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proeminência de tecnologias relacionadas células PV baseadas em polímeros, nanotubos de carbono, III-V <i>compounds</i>, cadmium telluride e silício amorfo.</li> <li>• Aponta os maiores titulares: DuPont, Sharp, Mitsubishi Electric e Merck Patent.</li> <li>• Ressalta os USA, China, Japão, Alemanha e Coreia do Sul como países que mais depositam patentes e publicações artigos sobre PV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise simples das patentes e apontamento de tendências com base na quantidade de depósitos, os principais assignees e países de aplicação.</li> <li>• Não avalia cooperação tecnológica, mercados de interesse e influência da rede de desenvolvimento patentes PV.</li> </ul>	Sampaio et al. (2018)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversas aplicações tem alavancado melhorias das tecnologias PV, abrindo caminho para 2<sup>o</sup>G de <i>thin-film</i></li> <li>• Advento da 3<sup>a</sup> G de células PV usando eletrônica, materiais e polímeros orgânicos.</li> <li>• Surgem também tecnologias híbridas como <i>Photovoltaic-Thermoelectric (PVTE)</i> e <i>Thermophotovoltaic (TPV)</i> como soluções efetivas para redução de calor que degrada eficiência das células PV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análises direcionadas apenas a aspectos da tecnologia PV, sem avaliar perspectivas de aplicação e de mercado.</li> </ul>	Gupta (2018), Alaaeddin et al. (2019)

Fonte: Elaborado pelos autores

## 2.2 Análise de redes sociais

A análise de redes sociais (ARS) refere-se a uma técnica originada da Antropologia, Sociologia e Psicologia Social. ARS trata-se de um tipo de abordagem utilizada para investigar as estruturas sociais, não sendo assim uma teoria sobre ciências sociais (WELLMAN; BERKOWITZ, 1988; FREEMAN, 1996). Em seu trabalho, Zhang (2010) afirma que ARS trata-se de uma técnica interdisciplinar influenciada por diversas áreas do conhecimento tais como sociologia, psicologia, matemática e ciência da computação. A análise de rede tem aplicações em muitos campos do conhecimento tais como análise de redes sociais, avaliação e controle de tráfego para redes de transporte, análise da navegação web, além de análise sobre propagação de epidemias (CHEN et al, 2002; LAURA, 2003; KEELING; EAMES, 2005; SCOTT, 2012). Áreas como administração e economia têm buscado por meio de pesquisa aplicada, compreender os atores, relações e suas influências nas redes com o objetivo de aprimorar a gestão tecnológica (BORGATTI et al., 2009; WENG, 2014).

A ARS auxilia na compreensão de processos inovadores, pois se trata de um método comumente utilizado para analisar fluxos de informações contidas nas patentes bem como a inter-relação entre entidades, conforme afirma Sternitzke et al. (2009). Os atores na ARS dos quais as ligações são avaliadas, podem ser tanto pessoas ou empresas interpretadas como unidades individuais, quanto unidades sociais coletivas como, por exemplo, departamentos dentro de uma organização, agências de serviço público em uma cidade, estados-nações de um continente ou do mundo (WASSERMAN; FAUST, 1994). Desta forma, a ARS se torna apropriada para ser utilizada por pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento que buscam compreender o impacto das relações numa estrutura em forma de redes. A tabela 2 aponta algumas funções utilizadas em ARS para interpretação das relações entre os atores da rede.

Algumas considerações importantes são feitas por Borgatti et al (2009) acerca da interpretação dos resultados de uma rede: (i) as estruturas de rede de mais rápido desempenho são aquelas em que a distância de todos os nós e o nó centralizador (ego) é a mais curta; (ii) pesquisadores afirmam que a centralidade aponta para uma maior capacidade da empresa de inovar (POWELL; KOPUT; SMITH-DOERR, 1996; SHIPILOV; LI, 2008); (iii) uma melhor centralidade aponta para maior poder e influência do nó na rede (BRASS, 1984; BURT, 2009).

**Tabela 2** - Funções ARS utilizadas neste estudo

Função	Descrição	Aplicação
Grau	Contabiliza as ligações diretas que originam ou terminam de um vértice $k$ .	Usado como medida de conectividade de um nó. Forma de mensurar a popularidade de um nó. (NEWMAN, 2010; ZHANG, 2010)
Centralidade de Intermediação	Enumera as vezes que um nó $k$ liga pares de outros nós $i$ e $j$ , de tal forma que sem a intermediação do nó $k$ , os nós $i$ e $j$ não seriam capazes de se comunicarem.	Aponta como um nó com elevada intermediação é capaz de atuar como um controlador no fluxo de recursos entre outros nós que ele se conecta (JACKSON, 2008).
Centralidade de Proximidade	Mensura o tamanho médio de todos os caminhos mais curtos de um nó para todos os outros nós na rede (número médio de saltos para chegar a qualquer outro nó).	Medida do alcance, isto é, a velocidade com a qual a informação pode atingir outros nós a partir de um determinado nó inicial (JACKSON, 2008; ZHANG, 2010).
PageRank	Aponta os vértices mais importantes na rede tanto quantitativamente (por possuir conexões com muitos outros nós) quanto qualitativamente (ao receber apontamento de outros nós também importantes).	Desenhado para pesquisar e indexar a Web eficientemente e trazer resultados mais satisfatórios do que as ferramentas que existiam até então (PAGE et al., 1999; BRIN; PAGE, 2012).
Modularidade	Calcula o número médio das conexões aleatórias em uma rede, comparando este número com as conexões encontradas em cada nó da respectiva rede.	Permite a identificação de agrupamentos de nós afins, formando assim comunidades ou clusters (NEWMAN, 2006; BLONDEL et al., 2008).

Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.3 Prospecção tecnológica baseada em patentes e ARS

O planejamento tecnológico por meio de patentes tem sido enfatizado como processo essencial no gerenciamento estratégico de tecnologia, uma vez que o desenvolvimento tecnológico planejado pode trazer bons retornos financeiros e ainda uma possível posição de dominância de determinada tecnologia. O uso de análise de redes para prospecção de tecnologias tem sido objeto de estudo de vários autores por ser um método que oferece recursos tanto para análises qualitativas quanto quantitativas (FONTANA; NUVOLARI; VERSPAGEN, 2008). Quando analisado por meio da abordagem de rede de citações, a análise de redes pode fornecer resultados interessantes. Trabalhos sobre redes de co-citação e redes de colaboração já demonstraram o potencial de exploração das investigações (EGGHE; ROUSSEAU, 2002; BATAGELJ; CERINŠEK (2013). Além disso, a identificação de tecnologias emergentes e novos campos de conhecimento têm se tornado essencial para pesquisadores, cientistas e para a própria indústria (PRABHAKARAN; LATHABAI; CHANGAT, 2015). A observação de rotas tecnológica permite apontar as tecnologias emergentes, a interdependência entre as diferentes tecnologias assim como os principais atores envolvidos e o possível relacionamento entre eles (MULKAY; GILBERT; WOOLGAR, 1975; KUHN, 2012). A análise de RT tem uma característica dinâmica, dado que a trajetória de desenvolvimento de uma tecnologia pode variar de acordo com o período estudado (HUMMON; DOREIAN, 1989).

Outros estudos propuseram identificar tecnologias relevantes usando *cross impact analysis* baseado em patentes, *association rule mining* e *analytic network process* (CHOI; KIM; PARK, 2007; KIM et al., 2011; JUN, 2011). Essas abordagens tem a vantagem de apontar a prioridade ou a importância relativa dos elementos de um sistema complexo considerando a interdependência entre eles e identificar as tecnologias mais relevantes. Um método baseado em caminhos de desenvolvimento de patentes, análise de *k-core* e modelagem das tendências, identifica tecnologias com potencial disruptivo uma vez que a tecnologia é dependente de outros conhecimentos que definem esse caminho (MOMENI; ROST, 2016). Este trabalho foi aplicado às patentes de energia fotovoltaicas, mas tem alguns pontos de atenção: informações são perdidas durante as análises pois o algoritmo negligencia caminhos menores na rede; há uma limitação na quantidade de patentes que podem ser analisadas pelo algoritmo proposto; método precisa ser testado em uma gama maior de tecnologias; existe uma diferença na quantidade de citações entre os escritórios patentários.

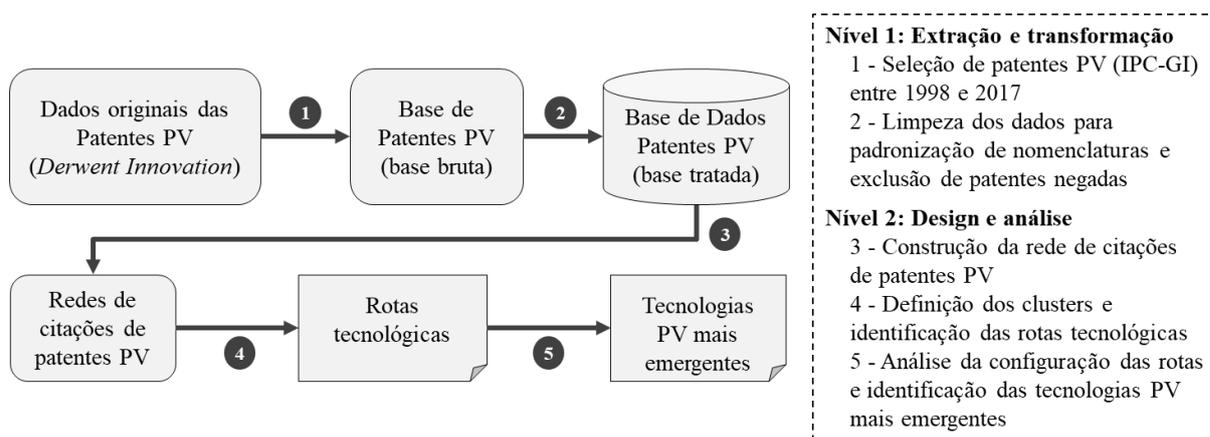
Mais um método utilizado no reconhecimento da tendência de tecnologias emergentes se dá pela aplicação de um algoritmo *pagerank* de análise de patentes. A dinâmica das citações provenientes das diferentes classes de patentes "precursoras" possibilita fazer previsões sobre o futuro desenvolvimento tecnológico, mas esse método não dá uma visão evolutiva ou da cadeia tecnológica (BRUCK et al., 2016). Em recente estudo, Park e Magee (2017) propuseram um método de identificação de trajetória tecnológica baseado em *backward* e *forward citations* no algoritmo conhecido como GKPM (*Genetic Knowledge Persistence Measurement*). Existem algumas questões que ainda precisam evoluir nesta técnica quanto a qualidade e a confiabilidade dos caminhos principais. Além disso, as principais rotas identificadas possuem um número relativamente baixo de tecnologias relevantes recentes, o que limita o apontamento das invenções mais promissoras.

O método que embasa a análise de prospecção deste trabalho tem como referência os trabalhos de mapeamento de rotas científicas que propõem uma metodologia para análise de redes e citações para identificar melhores caminhos e apontar as principais rotas para uma tecnologia (HUMMON; DOREIAN, 1989; VERSPAGEN, 2007). O conceito de RT é baseado na evolução que uma tecnologia apresentou ao longo dos anos identificada por meio das análises de citações baseadas nas *backward citations* e no algoritmo SPLC, e tem respaldo nas

publicações iniciais realizadas por Hummon e Doreian (1989) e Verspagen (2007), bem como em estudos mais recentes (PORTO et al., 2014, PEREIRA et al., 2018; DE PAULO; PORTO, 2018). O mapeamento das rotas além de apontar o percurso de desenvolvimento das patentes PV ao longo dos anos, também permite identificar as tecnologias mais emergentes. O algoritmo utilizado nesta técnica, SPLC (*Search path link count*), se baseia na construção de uma rede direcionada de patentes, que ao serem colocadas em uma sequência ordenada, apontam as diferentes RT. Assim, estatística SPLC contabiliza a quantidade de vezes que uma aresta é utilizada para conectar uma determinada patente até as patentes finais da rede. Assim, são atribuídas pontuações às arestas de tal maneira que as arestas com maior pontuação mostram a rota mais relevante para aquela tecnologia (VERSAPAGEN, 2007). Os principais motivadores para uso desta técnica estão na análise das conexões mais relevantes, na trajetória destas conexões e no apontamento da patente mais emergente e promissora. Além disso, permite a visualização da rota por meio de um diagrama o que facilita a compreensão dos resultados.

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa utilizou uma metodologia de investigação em dois níveis (figura 1). O nível 1 refere-se à extração e transformação dos dados das patentes PV e possui dois passos. No primeiro, os dados foram coletados por meio da base *Derwent Innovation* (Clarivate) que aglomera dados dos principais escritórios de patentes e permite o acesso simultâneo às informações das autoridades patentárias. As buscas foram feitas para patentes PV com IPCs relacionados no IPC-GI (WIPO, 2018) e depositadas entre 1998 a 2017. Para evitar análise duplicada de dados, foi considerado a primeira patente depositada para cada INPADOC (família de patentes). Foram recuperadas as seguintes variáveis: *Publication Number, Title, IPC - Current, Assignee – Standardized, Application Country, Cited Refs - Patent, INPADOC Legal Status, Application Year, Publication Year, INPADOC Family Members, Abstract e Claims*. Nesta base de dados brutos, foram obtidas 138.985 patentes.



**Figura 1** - Resumo da metodologia utilizada na pesquisa

No passo 2, os dados passaram por um processo de limpeza, onde patentes negadas ou eventuais duplicidades de dados foram retirados e foram selecionadas apenas as patentes que tivessem citado outras patentes. Assim, se obteve 70.199 patentes. Ainda neste passo, foi necessário tratar os dados para que registros com mais de um dado na mesma variável fossem segregados. Essa mesma tratativa foi feita para os registros dos campos *IPC - Current, Assignee - Standardized, Cited Refs - Patent e INPADOC Family Members*. Também compôs esta etapa, o refinamento nos nomes dos titulares das patentes para obter uma melhor padronização, uma vez que existem variações de sintaxe dos mesmos nomes. Utilizou-se a ferramenta *OpenRefine* para limpeza e transformação de dados, para agrupar e padronizar nomes comuns

(VERBORGH; DE WILDE, 2013). Esta ação não pretendeu esgotar todas as inconsistências sintáticas, mas buscou minimizá-las, especialmente para os nomes dos titulares das patentes.

O nível 2 compreende três passos relacionados ao design e análise das rotas tecnológicas das patentes PV. O passo 3 constitui na preparação dos arquivos dos nós e arestas para construção da rede de citação, sendo as patentes PV representadas pelos nós e as citações pelas arestas. Todas essas atividades foram realizadas usando a ferramenta Gephi, um software livre para ARS (BASTIAN; HEYYMANN; JACOMY, 2009). No passo 4, já com a rede construída, foram aplicadas as funções modularidade, grau, centralidade de intermediação, centralidade de proximidade, *pagerank* e o SPLC, sendo este último utilizado na identificação das rotas tecnológicas. Para isso, foram feitos testes de sensibilidade para calibrar parâmetros do algoritmo SPLC e assim obter a melhor rota para cada grupo tecnológico. Uma vez obtida as rotas tecnológicas, o quinto passo constitui na análise da configuração das rotas e identificação das tecnologias mais emergentes e promissoras (TMEP). Existem muitas definições para “tecnologia emergente” (ROTOLO; HICKS; MARTIN, 2015, p. 1841). Neste estudo, definimos as TMEP como as patentes mais recentes e que estão no topo de cada RT.

#### 4. RESULTADOS

O mapeamento das rotas além de apontar o percurso de desenvolvimento das patentes PV ao longo dos anos, também permite identificar as tecnologias mais emergentes (figura 2). A representação gráfica das seis rotas mostra a evolução do conhecimento tecnológico, sendo as patentes do topo, as TMEP, e as demais, a base tecnológica de referência de cada RT. As patentes cujos nós são maiores destacam aquelas com maior grau de intermediação, o que as coloca como tecnologias-chave nas suas respectivas rotas.

Pode-se verificar que as rotas são predominantemente americanas e japonesas e que tais países fornecem atualmente as principais bases tecnológicas para as tecnologias mais emergentes sobre energia PV (Tabela 3), uma vez que investiram antecipadamente no desenvolvimento deste tipo de tecnologia ao longo dos últimos anos. Essa desenvoltura é reforçada nos estudos que apontam que a indústria PV é uma combinação de processos de inovação globais e nacionais (ZHANG; GALLAGHER, 2016) e incentivos governamentais (SAHU, 2015). Também se observa um baixo nível de cooperação tecnológica, mostrado pelo baixo nível de co-titularidades das patentes nas rotas. Isso denota que tais tecnologias são desenvolvidas nos P&Ds internos das companhias, preterindo quaisquer ações externas de parceria. Ao observar o perfil tecnológico das rotas, nota-se a que tecnologias predominantes estão focadas descobrir novos métodos para produção de células solares bem como novos sistemas para montagem e aplicação de tecnologias PV.

Para as TMEP identificadas nas RT (Tabela 4), 69% dos titulares têm origem asiática (10), 18% americana (3), 18% europeia (3) e 5% neozelandesa (1). As empresas Rohm Co Ltd, Fuji Electric, Mitsubishi Electric Corp, Commissariat Energie Atomique, LG Electronics Inc e Infineon Technologies, além de se destacarem como titulares das patentes mais emergentes, também são identificadas como relevantes agentes de cooperação tecnológica entre os titulares PV. Essas duas variáveis colocam tais empresas em destaque no contexto atual de desenvolvimento de energia PV.

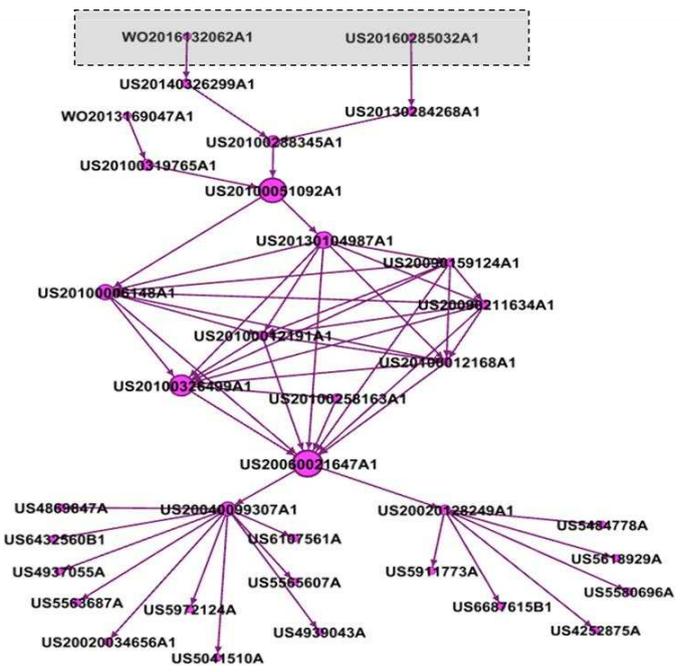
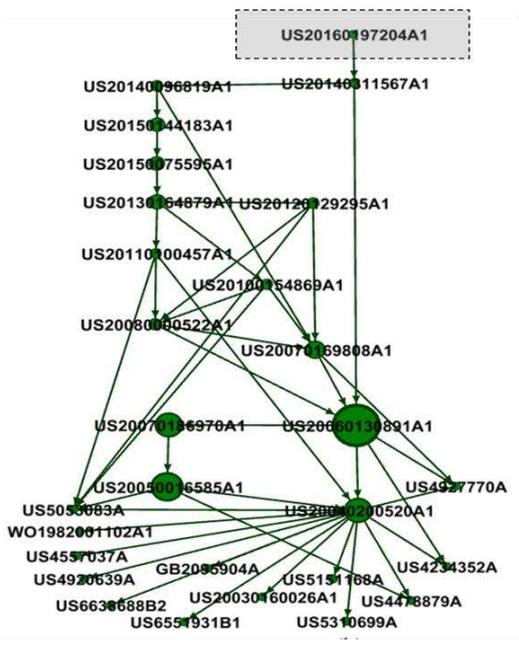
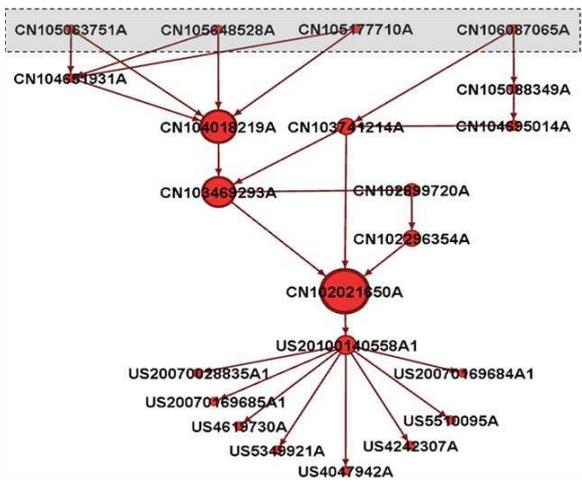
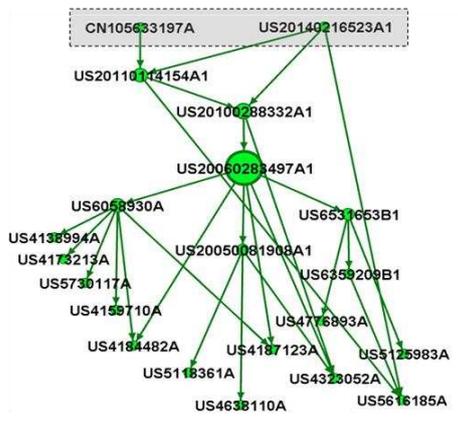
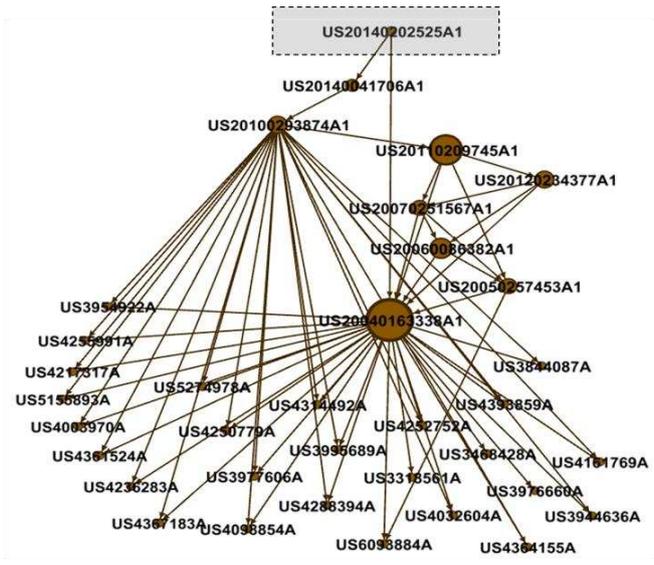
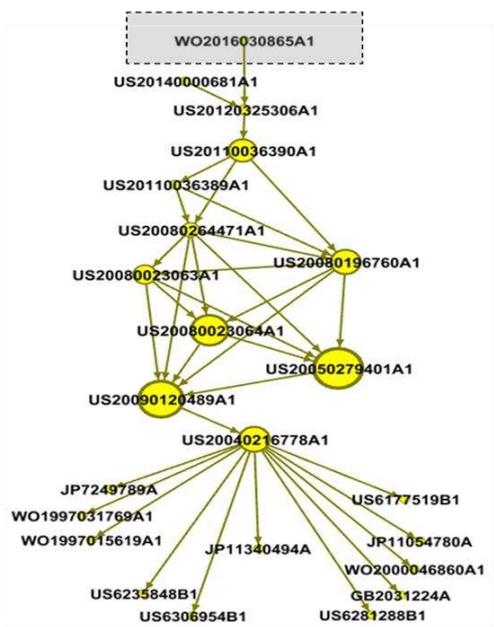


Figura 2 - Principais rotas tecnológicas sobre patentes PV

Avaliando os principais mercados de interesse das TMEP, 9 foram depositadas em mais de um mercado, sendo Estados Unidos (38%), China (31%), Japão (10%) e Alemanha (7%) os países de maior interesse de proteção. Estes mesmos países são os maiores geradores de energia PV (IEA, 2018a), o que leva a constatação de que o interesse das empresas em proteger suas tecnologias em um determinado país pode estar relacionado aos incentivos e investimentos que tal país faz na produção de energia PV. Ou seja, o incentivo à produção de energia solar PV, pode indiretamente aumentar o incentivo ao desenvolvimento interno deste tipo de tecnologia. Consequentemente, os atuais titulares de patentes PV buscariam proteger suas invenções nestes mercados. Constatou-se ainda que as TMEP estão concentradas, sendo 47,1% em dispositivo para conversão de radiação em energia, 29,4% em métodos de montagem de células solares e 23,5% em materiais de silício, onde os esforços tecnológicos buscam métodos de produção e tecnologias que permitam maior eficiência (PANDEY et al., 2016; SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017), bem como um menor custo de produção e, assim massificar o uso das tecnologias PV (OBI; BASS, 2016; HAEGEL et al., 2017). As TMEP em energia PV, tem sido preferencialmente resultados de esforços exclusivos dos P&Ds de cada empresa. Considerando-se o portfólio de patentes mais recentes, bem como as novas políticas estabelecidas pelos diversos países nos últimos anos, esperava-se um resultado de cooperação bem mais intenso, diferente das conclusões obtidas. Dessa forma, as constatações aqui corroboram com os resultados obtidos por Lei et al. (2013) que apontavam baixa ocorrência da colaboração e, quando esta ocorre em sua maior parte, são colaborações entre unidades da mesma corporação.

Por último, conclui-se que a situação da China tem influenciado o mercado PV não pela sua capacidade de inovação tecnológica, mas sim pela sua elevada demanda de consumo, velocidade nas ações e decisões, e principalmente pela sua capacidade de gerar escala e baixar custos de produção de tecnologias PV, corroborando os estudos de Quitzow, Huenteler e Asmussen (2017). Consequentemente, empresas chinesas são grandes competidores do mercado PV no que se referente à produção e comercialização, mas, até o momento, não no desenvolvimento deste tipo de tecnologia, ficando atrás dos japoneses e americanos. Além disso, suas patentes são resultado de tecnologia proprietária, sem esforços de colaboração e referenciam prioritariamente as próprias patentes chinesas. Pode haver uma questão de idioma que impede ou dificulta uma maior pesquisa sobre as tecnologias PV além das fronteiras chinesas, o que não deixa de ser mais um ponto de atenção neste contexto, uma vez que em C&T o idioma não ou pelo menos não deveria ser uma barreira. Corroborando, outros autores também apontam problemas críticos no modelo Chinês tais como, o esquema de incentivos do mercado, o modelo da P&D pública, os padrões técnicos e de integração das redes impedem o desenvolvimento ambientalmente sustentável da tecnologia PV na China (HUO; ZHANG, 2012). A P&D da energia renovável na China baseia-se principalmente na importação, absorção, digestão e modificação de tecnologias estrangeiras e são fracas em termos de competitividade tecnológica e capacidade de inovação (Yang et al., 2016).

Dessa forma, a China e suas empresas não são os principais atores no desenvolvimento de PV e isso se comprova neste estudo por meio das bases tecnológicas que suportam as RT bem como as TMEP identificadas aqui. No entanto, nos próximos anos, poderá se tornar a principal base tecnológica sobre energia solar PV, uma vez que já é o maior depositante deste tipo de patente, tem investido fortemente em processos de inovação (ZHANG; GALLAGHER, 2016), tem sido suportada por políticas públicas e subsídios governamentais de fomento ao desenvolvimento de tecnologias de geração de energia limpa (HUO; ZHANG, 2012; ZHAO; CHEN; CHANG, 2016) e já tem patentes chinesas despontando como tecnologias emergentes e promissoras conforme resultados deste estudo. Ou seja, a China é um ator a ser monitorado constantemente.

**Tabela 3** - Configuração das principais RT PV

<b>Rota Tecnológica (Cor)</b>	<b>Principais Tópicos</b>	<b>Patentes de Maior Influência na RT</b>	<b>Principais Mercados de Interesse</b>	<b>Tecnologias base</b>	<b>Nível de Cooperação na RT</b>
Camadas de polímeros encapsuladas para proteção de células PV (Amarelo)	<i>layer, polymer, solar, material, copolymer, comprise, cell, film, module, encapsulant</i>	- US20050279401A1 ( <i>Multilayer ionomer films for use as encapsulant layers for photovoltaic cell modules</i> ) - US20080023064A1 ( <i>Solar cell encapsulant layers with enhanced stability and adhesion</i> ) - US20090120489A1 ( <i>Encapsulating material for solar cell</i> )	US, JP, EPO, CN, KR	Módulos de bateria solar para geração de energia e artigos termo retráteis feitos de resina adesiva	39%
Mecanismos de montagem de módulos solares (Marrom)	<i>air, solar, heat, mounting, cooling, water e module</i>	- US20040163338A1 ( <i>Low profile mounting system</i> ) - US20060086382A1 ( <i>Mechanism for mounting solar modules</i> ) - US20110209745A1 ( <i>Photovoltaic framed module array mount utilizing asymmetric rail</i> )	US, CN, EPO, JP, CA, UK	Sistemas de montagem de painéis PV, montagem de módulos solares removíveis, ajustáveis ou utilizando trilhos assimétricos	14%
Métodos de produção e utilização de células solares (Rosa)	<i>layer, solar, substrate, cell, electron, conductor, semiconductor, alkyl, electrode e quantum</i>	- US20060021647A1 ( <i>Molecular photovoltaics, method of manufacture and articles derived therefrom</i> ) - US20100051092A1 ( <i>Solar cell having hybrid heterojunction structure and related system and method</i> ) - US20100326499A1 ( <i>Solar cell with enhanced efficiency</i> )	US, JP, WO, CN, KR	Dispositivos fotovoltaicos baseados em um novo copolímero, sistemas fotovoltaicos moleculares e componentes análogos de ftalocianina, estruturas de heterojunção híbrida entre materiais orgânicos / inorgânicos e células solares com camada isolante porosa	17%
Células PV de contato reverso e métodos de fabricação (Verde)	<i>layer, surface, semiconductor, substrate, silicon e conductive</i>	- US20040200520A1 ( <i>Metal contact structure for solar cell and method of manufacture</i> ) - US20050016585A1 ( <i>Manufacturing a solar cell with backside contacts</i> ) - US20060130891A1 ( <i>Back-contact photovoltaic cells</i> ) US20070186970A1 ( <i>Solar cell and method of fabricating the same</i> )	US, JP, CN, WO	Fabricação de estruturas para células solares de contato reverso, passando por métodos baseados em substrato monocristalino de silício com filme de isolamento e células híbridas de polisilício, novas propostas de produção de células solares de camada heterojunção de contato posterior	37,5%
Sistemas, métodos e aparelhos para	<i>Solar, photovoltaic, cell, energy, layer,</i>	- US6058930A ( <i>Solar collector and tracker arrangement</i> ) - US20060283497A1 ( <i>Planar concentrating photovoltaic</i> )	US, JP, EPO, WO,	Células solares com diodo, método de derivação integrado	9,5%

Rota Tecnológica (Cor)	Principais Tópicos	Patentes de Maior Influência na RT	Principais Mercados de Interesse	Tecnologias base	Nível de Cooperação na RT
células solares térmicas fotovoltaicas (Verde Claro)	<i>system, semiconductor e lens</i>	<i>solar panel with individually articulating concentrator elements</i> - US20100288332A1 ( <i>Solar photovoltaic concentrator panel</i> ) - US20110114154A1 ( <i>Receiver for concentrating photovoltaic-thermal system</i> )	CN	e painéis fotovoltaicos com elementos concentradores individualmente articulados	
Métodos e aparelhos para fundição de silício para células PV (Vermelho)	<i>Silicon, crucible, temperature, ingot, quartz e polycrystalline</i>	- US20100140558A1 ( <i>Apparatus and Method of Use for a Top-Down Directional Solidification System</i> ) - CN102021650A ( <i>Producing method of large-scale polycrystalline ingot</i> ) - CN103469293A ( <i>Preparation method of polycrystalline</i> ) - CN104018219A ( <i>A preparation method of narrow high-efficiency polycrystalline silicon chip</i> )	JP, US, CN	Métodos e aparelhos para fabricação de corpos de silício fundido multicristalino geométrico, sistema de solidificação direcional top-down, produção de blocos policristalinos em larga escala	9%

**Tabela 4 - Configuração das TMEP**

RT (Cor)	TMEP	Ano de Depósito	Tecnologia	Titular	Mercado de Proteção
Camadas de polímeros encapsuladas para proteção de células PV (Amarelo)	WO2016030865A1 (US20170233587A1) <i>Fire retarding system and protective layers or coatings</i>	2016	Tecnologia de multicamada usado para revestir superfícies, como por exemplo células fotovoltaicas, compreendendo pelo menos duas camadas (uma transportadora e outra polímero)	ZinniaTek Ltd	US, CN
Mecanismos de montagem de módulos solares (Marrom)	US20140202525A1 <i>Solar module mounting bracket and assemblies</i>	2014	Suporte para montagem de módulos solares em superfície, com parte do pé afixado na parede e o apoio configurado para ser acoplado ao pé e para fixar a estrutura do suporte ao trilho	SunEdison LLC	US
Métodos de produção e utilização de células solares (Rosa)	US20160285032A1 <i>Optoelectronic component, method for operating an optoelectronic component, and method for producing an optoelectronic component</i>	2016	Modelo de componente optoeletrônico para uso como OLED cuja substância ativa é formada para converter a primeira substância condutora elétrica e/ou segunda condutora em substância não condutora elétrica	Osram Oled	US, DE
	WO2016132062A1 <i>Structure for photovoltaic devices having an intermediate bandgap</i>	2016	Método para a estrutura de fabricação de células solares	Commissariat Energie Atomique	US, FR

RT (Cor)	TMEP	Ano de Depósito	Tecnologia	Titular	Mercado de Proteção
Células PV de contato reverso e métodos de fabricação (Verde)	US20160197204A1 <i>Solar cell and method for manufacturing the same</i>	2016	Célula solar formada por um substrato semiconductor cristalino contendo impurezas de um primeiro tipo condutor, uma camada de túnel posicionada no substrato semiconductor cristalino e uma camada semicondutora na camada do túnel	LG Electronics Inc	US, KR
Sistemas, métodos e aparelhos para células solares térmicas fotovoltaicas (Verde Claro)	US20140216523A1 <i>Concentrating photovoltaic-thermal solar energy collector</i>	2014	Coletor de energia solar que tem um refletor e receptor acoplados juntos sobre o eixo de rotação que direciona o refletor na melhor posição para concentração da radiação solar nas células	Cogenra Solar	US
	CN105633197A <i>Manufacturing method of photovoltaic-thermal solar cell</i>	2016	Método para a fabricação de célula solar fotovoltaica de eficiência térmica composta por uma sequência rotativa de filme de semicondutores fotovoltaicos de sulfeto de cádmio com uma ordem específica de camada de metal conductor	Yang Yongqing	CN
Métodos e aparelhos para fundição de silício para células PV (Vermelho)	CN105063751A <i>Cast ingot manufacturing method</i>	2015	Método de seleção de areia de quartzo de um mesmo tamanho e de alta pureza, espalhando-se no fundo do cadinho, fixando a areia de quartzo de alta pureza para o derretimento e o crescimento de cristais	Jinko Solar Jinko Solar Holding (*)	CN
	CN105177710A <i>Manufacturing method for novel full-melting efficient crucible</i>	2015	Método de produção de células solares com cadinho de alta eficiência para derretimento total	Zhenjiang Huantai Silicon Technology	CN
	CN105648528A <i>Novel high-purity quartz crucible and preparation method thereof</i>	2016	Cadinho de quartzo de alta pureza composto por um corpo principal e revestimento cerâmico na superfície interna	Sinofusion Solar Performance Materials	CN
	CN106087065A <i>Annealing process for polycrystalline silicon cast ingot</i>	2016	Método de recozimento de lingote de silício policristalino redução da temperatura de aquecimento do forno, mas com preservação do calor	Xi'an Huajing Electronic Technology	CN
	US20170012021A1 <i>Structures and methods for low temperature bonding</i>	2017	Método para montagem do pacote microeletrônico com a justaposição da superfície do elemento condutor e a elevação da temperatura nas interfaces dos primeiros e segundos elementos condutores justapostos à temperatura de junção.	Invensas Corp	US, CN

## 5. CONCLUSÕES

O arcabouço deste artigo se propôs investigar diferentes características sobre as inovações tecnológicas sobre energia solar PV. Para isso, foram selecionadas patentes sobre tecnologias PV classificadas como energias verdes no *IPC Green Inventory*, das quais foram tratadas utilizando técnicas de ARS para obtenção dos resultados. Assim, foi possível caracterizar a configuração das RT e TMEP sobre energia solar PV.

As contribuições teóricas incluem que a análise das RT identificou-se que a maioria das rotas são compostas por tecnologias de origem americana e japonesa, resultado do investimento antecipado e constante destes países no desenvolvimento de tecnologias PV e outras energias correlacionadas. Dentre os temas identificados nas principais RT estão: (a) Camadas poliméricas encapsuladas para proteção de células PV; (b) Mecanismos de montagem de módulos solares; (c) Métodos de produção e utilização de células solares; (d) Células PV de contato reverso e métodos de fabricação; (e) Sistemas, métodos e aparelhos para células solares térmicas fotovoltaicas; (f) Métodos e aparelhos para fundição de silício para células PV.

Sobre as TMEP, 69% dos seus titulares têm origem asiática (10), 18% americana (3), 18% europeia (3) e 5% neozelandesa (1), confirmando assim o investimento que países da Ásia têm realizado para o desenvolvimento de tecnologias PV. No entanto, verificou-se que os mercados mais visados para proteção são o americano (38%), seguido do chinês (31%) e com menor cobertura o japonês (10%), possivelmente pela alta capacidade destes países em criar e reproduzir invenções e elevada demanda. Estes mesmos países são os maiores geradores de energia PV (IEA, 2018a), o que leva a concluir que o interesse das empresas em proteger suas tecnologias em um determinado país pode estar relacionado aos incentivos e investimentos que tal país faz na produção de energia PV. As TMEP se concentram em tecnologias sobre dispositivo para conversão de radiação em energia (47%), métodos de montagem de células solares (29,4%) e materiais de silício (23,5%). Estas tecnologias têm sido produzidas com exclusividade pelas áreas de P&D das organizações. Reforçado a constatação que indústria de desenvolvimento PV é predominantemente fechada, especialmente para tecnologias potencialmente disruptivas.

Os Estados Unidos e outros países europeus, que tem grande representatividade no desenvolvimento de patentes PV uma vez que têm claramente fomentado a pesquisa e estabelecido políticas públicas de incentivo à criação e adoção deste tipo de tecnologia (IEA, 2016a). Tais mercados podem ser considerados como maduros no desenvolvimento de tecnologias PV. No entanto, há de se considerar que os incentivos ao desenvolvimento de energias renováveis mudou drasticamente com o governo do presidente Donald Trump (OBAMA, 2017; BLOOMBERG, 2017; BLOOMBERG, 2019), o que poderá levar o país a perder a sua posição de destaque no P&D desta área ou, pelo menos, sofrer um atraso na geração de inovações sobre energia PV.

Paralelamente, a China tem influenciado o mercado PV não pela sua capacidade de inovação tecnológica, mas sim pela sua elevada demanda de consumo energético, velocidade nas ações e decisões, e principalmente pela sua capacidade de gerar escala e baixar custos de produção de tecnologias PV. Organizações chinesas são grandes competidores do mercado PV no que se referente à produção e comercialização, mas não no desenvolvimento deste tipo de tecnologia, ficando atrás dos japoneses e americanos. Assim, organizações chinesas ainda não são os principais atores no desenvolvimento de tecnologias disruptivas. No entanto, é crucial ressaltar o papel da China na massificação do uso de tecnologias PV, especialmente para 1ª geração de células PV, através da redução brutal do custo de produção. A China deverá se tornar a principal base tecnológica sobre energia solar PV no futuro, dado todo seu investimento em aquisição de conhecimento, financiamento da inovação PV, estabelecimento de políticas

públicas e subsídios para o desenvolvimento de tecnologias PV. Dessa forma, a China é um ator no ecossistema de energia PV que deve ser analisado e acompanhado de perto.

Esta pesquisa pode ainda apoiar departamentos de P&D em suas decisões sobre diferentes áreas tecnológicas relacionadas às tecnologias PV, oferecendo dados sobre as tecnologias mais relevantes, seus proprietários, relacionamentos, bem como sua cobertura de proteção de mercado por meio de métricas replicáveis. Além disso, a análise das RT permite a especialistas do setor observar de forma simplificada os padrões que são seguidos e adotados pelos cientistas e pelo mercado, traz a possibilidade de aumentar o conhecimento tecnológico que anteriormente só obtinha por meios empíricos e permite uma análise da inteligência tecnológica competitiva que pode ser usada como uma ferramenta para decisões de futuros esforços e investimentos relacionados à energia solar PV.

No que tange as limitações deste estudo, a falta de padronização dos nomes dos titulares das patentes pode afetar os agrupamentos e eventuais análises das redes. Além disso, a possibilidade de múltiplas atribuições de códigos IPC para uma mesma patente amplia o horizonte das análises. Por último, devido à defasagem inerente ao processo patentário, uma vez que as patentes recém depositadas são mantidas em sigilo por até 18 meses, alguns dados não estavam disponíveis no período da coleta de dados e tais patentes não puderam ser analisadas. Em contrapartida, em trabalhos futuros pretende-se desenvolver estudos para outras tecnologias de geração de energia solar tais como “Energia solar térmica” e “Sistemas solares híbridos (térmico-fotovoltaicos)”.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALAAEDDIN, M. H. et al. Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 102, p. 318-332, 2019.
- ALTUNTAS, S.; DERELI, T.; KUSIAK, A. Forecasting technology success based on patent data. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 96, p. 202-214, 2015.
- BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *ICWSM*, v. 8, p. 361-362, 2009.
- BATAGELJ, V.; CERINŠEK, M. On bibliographic networks. *Scientometrics*, v. 96, n. 3, p. 845-864, 2013.
- BLONDEL, Vincent D. et al. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, v. 2008, n. 10, p. P10008, 2008.
- BLOOMBERG, New Energy Finance. *New Energy Outlook (NEO)*, 2016.
- BLOOMBERG. Trump to Drop Climate Change From Environmental Reviews, Source Says. **Climate Changed**, por Jennifer A Dlouhy, 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-03-14/trump-said-to-drop-climate-change-from-environmental-reviews>>. Acesso em: 28 Abr 2019.
- BLOOMBERG. Trump Ignores Climate Change in Earth Day Statement. **Climate Changed**, por Ari Natter, 2019. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-22/trump-earth-day-message-touts-job-gains-ignores-climate-change>>. Acesso em: Abr 2019.
- BORGATTI, S. P. et al. Network analysis in the social sciences. *Science*, v. 323, n. 5916, p. 892-895, 2009.
- BRASS, Daniel J. Being in the right place: A structural analysis of individual influence in an organization. *Administrative science quarterly*, p. 518-539, 1984.
- BRIN, S.; PAGE, L. Reprint of: The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer networks*, v. 56, n. 18, p. 3825-3833, 2012.
- BRUCK, P. et al. Recognition of emerging technology trends: class-selective study of citations in the US Patent Citation Network. *Scientometrics*, v. 107, n. 3, p. 1465-1475, 2016.

- BURT, R. S. **Structural holes: The social structure of competition**. Harvard university press, 2009.
- CHEN, A. et al. Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 36, n. 3, p. 225-252, 2002.
- CHOE, H. et al. Patent citation network analysis for the domain of organic photovoltaic cells: Country, institution, and technology field. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 492-505, 2013.
- CHOI, C.; KIM, S.; PARK, Y. A patent-based cross impact analysis for quantitative estimation of technological impact: The case of information and communication technology. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 8, p. 1296-1314, 2007.
- DE PAULO, A. F.; PORTO, G. S. Evolution of collaborative networks of solar energy applied technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 310-320, 2018.
- DEVABHAKTUNI, V. et al. Solar energy: Trends and enabling technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 555-564, 2013.
- EGGHE, L.; ROUSSEAU, R. Co-citation, bibliographic coupling and a characterization of lattice citation networks. **Scientometrics**, v. 55, n. 3, p. 349-361, 2002.
- EPO. European Patent Office. **Patents and clean energy - Final Report**. Disponível em: <<http://www.epo.org/news-issues/technology/sustainable-technologies/clean-energy/patents-clean-energy/study-1.html>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- FONTANA, R.; NUVOLARI, A.; VERSPAGEN, B. Mapping technological trajectories as patent citation networks. An application to data communication standards. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 18, n. 4, p. 311-336, 2009.
- FREEMAN, L. C. Some antecedents of social network analysis. **Connections**, v. 19, n. 1, p. 39-42, 1996.
- GUO, Y.; HUANG, L.; PORTER, A. L. The research profiling method applied to nano-enhanced, thin-film solar cells. **R&D Management**, v. 40, n. 2, p. 195-208, 2010.
- GUPTA, Sandeep. An Evolution Review in Solar Photovoltaic Materials. **Journal of Communications Technology, Electronics and Computer Science**, v. 20, p. 7-15, 2018.
- HAEGEL, N. M. et al. Terawatt-scale photovoltaics: Trajectories and challenges. **Science**, v. 356, n. 6334, p. 141-143, 2017.
- HALL, B. H.; JAFFE, A. B.; TRAJTENBERG, M. The NBER patent citation data file: Lessons, insights and methodological tools. **National Bureau of Economic Research**, 2001.
- HUMMON, N.; DOREIAN, P. Connectivity in a citation network: the development of DNA theory. **Social Networks**, v. 11, p. 39-63, 1989.
- HUO, M.; ZHANG, D. Lessons from photovoltaic policies in China for future development. **Energy Policy**, v. 51, p. 38-45, 2012.
- IEA - International Energy Agency. **World Energy Outlook 2014**. 2014.
- IEA, **Energy, Climate Change and Environment**, OECD/IEA, Paris, 2016a.
- IEA, **Energy Technology Perspectives 2016**, OECD Publishing, Paris, DOI: [http://dx.doi.org/10.1787/energy\\_tech-2016-en](http://dx.doi.org/10.1787/energy_tech-2016-en), 2016b.
- IEA, **Key World Energy Statistics 2018**, OECD/IEA, Paris, 2018a.
- IEA, **IEA Energy Technology RD&D Budgets**, OECD/IEA, Paris, 2018b. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/energy-technology-rdd-budgets-2018-overview>>. Acesso em: 28 dez 2018.
- IPCC. **AR5 - Fifth Assessment Report, Synthesis Report**. 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- JACKSON, M. O. **Social and economic networks**. Princeton: Princeton university press, 2008.
- JUN, S. A forecasting model for technological trend using unsupervised learning. In: **Database Theory and Application, Bio-Science and Bio-Technology**. Springer Berlin Heidelberg,

- 2011, p. 51-60.
- KALOGIROU, S. A. Environmental benefits of domestic solar energy systems. **Energy conversion and management**, v. 45, n. 18, p. 3075-3092, 2004.
- KEELING, M. J.; EAMES, K. TD. Networks and epidemic models. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 2, n. 4, p. 295-307, 2005.
- KIM, C. et al. Identifying core technologies based on technological cross-impacts: **An association rule mining (ARM) and analytic network process (ANP) approach**. *Expert Systems with Applications*, v. 38, n. 10, p. 12559-12564, 2011.
- KUHN, T. S. **The structure of scientific revolutions**. University of Chicago press, 2012.
- LAURA, L. et al. Algorithms and experiments for the webgraph. In: **Algorithms-ESA 2003**. Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 703-714.
- LEI, X. P. et al. Technological collaboration patterns in solar cell industry based on patent inventors and assignees analysis. **Scientometrics**, v. 96, n. 2, p. 427-441, 2013.
- LEWIS, N. S. Research opportunities to advance solar energy utilization. **Science**, v. 351, n. 6271, p. aad1920, 2016.
- LIU, J. S.; LU, L. Y. An integrated approach for main path analysis: Development of the Hirsch index as an example. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 3, p. 528-542, 2012.
- MOMENI, A.; ROST, K. Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-development paths and topic modeling. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 104, p. 16-29, 2016.
- MULKAY, M.J.; GILBERT, G. N.; WOOLGAR, S. Problem areas and research networks in science. **Sociology**, v. 9, n. 2, p. 187-203, 1975.
- NEWMAN, M. E. J. Modularity and community structure in networks. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 103, n. 23, p. 8577-8582, 2006.
- NEWMAN, M. **Networks: an introduction**. Oxford university press, 2010.
- OBI, M.; BASS, R. Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems-A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 1082-1094, 2016.
- PAGE, L. et al. **The PageRank citation ranking: bringing order to the Web**. 1999.
- PANDEY, A. K. et al. Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 859-884, 2016.
- PARK, H.; MAGEE, C. L. Tracing technological development trajectories: A genetic knowledge persistence-based main path approach. **PloS one**, v. 12, n. 1, p. e0170895, 2017.
- PEREIRA, C. G. et al. Patent mining and landscaping of emerging recombinant factor VIII through network analysis. **Nature biotechnology**, v. 36, n. 7, p. 585-590, 2018.
- POLMAN, A. et al. Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. **Science**, v. 352, n. 6283, p. aad4424, 2016.
- POWELL, W.; KOPUT, K. W.; SMITH-DOERR, L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. **Administrative science quarterly**, p. 116-145, 1996.
- PRABHAKARAN, T.; LATHABAI, H.H.; CHANGAT, M. Detection of paradigm shifts and emerging fields using scientific network: A case study of Information Technology for Engineering. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 91, p. 124-145, 2015.
- QUITZOW, R.; HUENTELER, J.; ASMUSSEN, H. Development trajectories in China's wind and solar energy industries: How technology-related differences shape the dynamics of industry localization and catching up. **Journal of Cleaner Production**, v. 158, p. 122-133, 2017.
- REUTERS, Thomson. Top 100 global innovators. Honoring The World leaders in innovation. Findings and methodology. October 2013.

- REUTERS, Thomson. **Powering the Planet 2045**. Technical Report, 2016. Disponível em: <https://www.thomsonreuters.com/content/dam/openweb/documents/pdf/tac/report/powering-the-planet-2045-report.pdf>. Acesso em: 02 jun 2017.
- ROTOLO, D.; HICKS, D.; MARTIN, B. R. What is an emerging technology?. **Research Policy**, v. 44, n. 10, p. 1827-1843, 2015.
- SAHU, B. K. A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 621-634, 2015.
- SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 590-601, 2017.
- SAMPAIO, P. G. V. et al. Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 215-224, 2018.
- SCOTT, J. **Social network analysis**. Sage, 2012.
- ŞEN, Z. Solar energy in progress and future research trends. **Progress in energy and combustion science**, v. 30, n. 4, p. 367-416, 2004.
- SHIPILOV, A. V.; LI, S. X. Can you have your cake and eat it too? Structural holes' influence on status accumulation and market performance in collaborative networks. **Administrative Science Quarterly**, v. 53, n. 1, p. 73-108, 2008.
- STERNITZKE, C. et al. Visualizing patent statistics by means of social network analysis tools. **World Patent Information**, v. 30, n. 2, p. 115-131, 2008.
- TIMILSINA, G. R.; KURDGELASHVILI, L.; NARBEL, P. A. Solar energy: Markets, economics and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 449-465, 2012.
- TOL, R.S. Climate, development and malaria: an application of FUND. **Climatic Change**, v. 88, n. 1, p. 21-34, 2008.
- VERBORGH, Ruben; DE WILDE, Max. **Using OpenRefine**. Packt Publishing Ltd, 2013.
- VERSPAGEN, B. Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research. **Advances in Complex Systems**, v. 10, n. 01, p. 93-115, 2007.
- WASSERMAN, S; FAUST, K. **Social Network Analysis: methods and applications**. In: Structural analysis in social the social sciences series. Cambridge: Cambridge University Press, v. 8. 857 p. ISBN 0-521-38707-8, 1994.
- WELLMAN, B.; BERKOWITZ, S. D. **Social structures: A network approach**. 1988.
- WENG, C. S. Technology Management: The Perspective of Social Network. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v. 11, n. 03, p. 1440011, 2014.
- WIPO, World Intellectual Property Organization. **IPC Green Inventory**. Disponível em: <<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/>>. Acesso em: 27 fev. 2018.
- YANG, X. J. et al. China's renewable energy goals by 2050. **Environmental Development**, v. 20, p. 83-90, 2016.
- ZHANG, F.; GALLAGHER, K. S. Innovation and technology transfer through global value chains: Evidence from China's PV industry. **Energy Policy**, v. 94, p. 191-203, 2016.
- ZHANG, M. Social network analysis: history, concepts, and research. In: **Handbook of social network technologies and applications**. Springer US, 2010. p. 3-21.
- ZHAO, Z.; CHEN, Y.; CHANG, R. How to stimulate renewable energy power generation effectively? China's incentive approaches and lessons. **Renewable energy**, v. 92, p. 147-156, 2016.