

# AMBIENTES CAPACITADOS E A CRIAÇÃO DE CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA EÓLICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Lindomayara França Ferreira<sup>1</sup>  
Eduardo Gonçalves<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este ensaio contribui para o debate sobre o papel das capacitações pré-existentes e a criação de caminhos para o desenvolvimento industrial eólico. Em específico, explora na literatura existente às evidências sobre as colaborações multisetoriais ancoradas nas capacitações tecnológicas da indústria eólica de diferentes economias, a partir de uma revisão crítica e sistemática dos estudos teóricos e empíricos. O presente estudo reuniu um total de 62 artigos publicados entre 2009 e 2022, os principais resultados destacam a importância da padronização e repetição para a redução dos custos e aumento da maturidade tecnológica, a partir das capacidades locais preexistentes. Além disso, para promover o fluxo de transferência tecnológica e, conseqüentemente, o transbordamento das capacitações tácitas, destacou-se o papel das colaborações tanto no setor quanto entre os setores. A criação da Gamesa e da Fibrovent Wind são exemplos de sucesso dos mecanismos de transferência, no primeiro caso por meio de regulamentos na forma de *joint venture*, enquanto no segundo, por meio da fusão entre empresas de setores distintos. Dentre os principais mercados do setor eólico, a experiência da criação de novos caminhos na China mostra que as inovações florescem em áreas onde setores relacionados também prosperaram. Em linhas gerais, o desenvolvimento de políticas públicas domésticas, a promoção dos mecanismos de transferência tecnológica, a disponibilidade de financiamento e o apoio internacional têm sido apontado como fatores primordiais para o *catch up* do mercado chinês.

**Palavras-chave:** capacitações tecnológicas; criação de caminhos; energia eólica.

**ABSTRACT:** This essay contributes to the debate about the role of pre-existing capabilities and the creation of pathways for wind industrial development. Specifically, it explores in the existing literature evidence on multisectoral collaborations anchored in the technological capabilities of the wind industry in different economies, based on a critical and systematic review of theoretical and empirical studies. The present study brought together a total of 62 articles published between 2009 and 2022, the main results highlight the importance of standardization and repetition to reduce costs and increase technological maturity, based on pre-existing local capabilities. In addition, to promote the flow of technology transfer and, consequently, the overflow of tacit capabilities, the role of collaborations both within and between sectors was highlighted. The creation of Gamesa and Fibrovent Wind are successful examples of transfer mechanisms, in the first case through regulations in the form of a joint venture, while in the second, through the merger between companies from different sectors. Among the wind sector's major markets, China's experience of forging new paths shows that innovation flourishes in areas where related industries have also thrived. In general terms, the development of domestic public policies, the promotion of technology transfer mechanisms, the availability of financing and international support has been identified as key factors for catching up in the Chinese market.

**Key words:** technological capabilities; path creation; wind energy.

**JEL:** O13.

---

<sup>1</sup>Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Economia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF/PPGE) e pesquisadora do Laboratório de Análises Territoriais e Setoriais (LATES/UFJF). E-mail: lindomayara.franca@estudante.ufjf.br.

<sup>2</sup> Professor em Economia do PPGE/UFJF e pesquisador do LATES/UFJF. E-mail: eduardo.goncalves@ufjf.br.

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, além da escassez do recurso e do aumento dos preços do petróleo, a forte dependência de combustíveis fósseis ocasionou em várias crises ambientais – como as emissões de gases de efeito estufa (GEE), o aquecimento global e as condições climáticas imprevisíveis (NEWELL, 2018). Com esse processo de mitigação e descarbonização global em pauta, nos últimos anos (2000-2020), os padrões de produção e de uso têm passado por intensas mudanças estruturais no setor energético (COENEN et al., 2012; GIBBS; O’NEILL, 2016; IRENA, 2023).

Diferentes economias tem viabilizado o surgimento de um novo paradigma verde (RODRIK, 2014), no qual impulsiona o crescimento das energias renováveis a partir do desenvolvimento de políticas regulatórias, de fomento e de incentivos destinados para pesquisa e desenvolvimento (P&D) (HAIN, 2020). Identificado como uma janela de oportunidade, para promover crescimento econômico local dos países emergentes (ZHANG et al., 2009) e segurança energética, com o baixo coeficiente de emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono<sup>3</sup>) na geração de energia (HONG, CHANG, 2019), dentre as fontes renováveis (e.g., hídrica, solar, eólica, geotérmica), a fonte eólica é a que mais cresce no mundo (CHANG et al., 2021).

De acordo com dados do IRENA (2023), a capacidade instalada global de geração eólica (*onshore* e *offshore*) saltou de 7,5 GW, em 1997, para cerca de 733 GW, em 2018. Além disso, a última década (2010-2020) registrou uma redução do custo médio ponderado global da eletricidade eólica, 56% na tecnologia *onshore* e 48% na tecnologia *offshore*, aumentando a competitividade dessas tecnologias e, conseqüentemente, o potencial para maior implantação e melhoria no âmbito global.

Estudos têm apontado a necessidade de transformação e a importância das capacidades pré-existentes para a maturidade tecnológica, no entanto, no setor de energia ainda há uma série de incertezas que estão associadas ao sistema vigente de tecnologias tradicionais: por um lado, as capacidades locais pré-existentes podem promover saltos tecnológicos; por outro lado, essas capacidades podem provocar o “aprisionamento tecnológico” e o bloqueio das transformações do setor (CARPENTER et al., 2012). E, nesse contexto, para romper com o “aprisionamento” de uma estrutura obsoleta e estabelecer um novo caminho se faz necessário a intervenção de forças externas, que sejam capazes de promover uma perturbação no sistema vigente, seja a partir de ramificações (o aproveitamento tecnológico de uma indústria em declínio para o desenvolvimento de novas indústrias na região) ou da criação de novos caminhos (que podem ocorrer em cenários com ou sem precedentes regionais imediatos) (TRIPPL et al., 2017).

A experiência chilena com o setor eólico, por exemplo, destaca não só o papel das capacidades pré-existentes, como também o papel das transferências tecnológicas do setor de mineração no país, que permitiu uma rápida competitividade do mercado eólico (PUEYO et al., 2011). Em outras palavras, as inovações podem florescer em áreas onde setores relacionados também prosperam (CARPENTER et al., 2012). No entanto, identificado como um setor emergente, o surgimento da indústria eólica tem se desenvolvido de forma desigual ao longo do espaço durante as últimas décadas (CARPENTER et al., 2012). Não obstante, o crescente reconhecimento da importância da fonte eólica também trouxe consigo uma discussão associada aos seus desafios no âmbito da cadeia de fornecimento industrial. Para Li et al. (2015), um dos principais gargalos da tecnologia está associado a falta de flexibilidade da cadeia industrial de energia, especialmente no que se refere a cadeia intermediária da indústria. Para Andersen (2017), a estabilização de longo prazo da indústria, a flexibilidade da cadeia de produção, a elevada demanda por equipamentos e suprimentos, o movimento popular e aceitação social são aspectos importantes a serem discutidos.

---

<sup>3</sup> Principal gás poluente na matriz energética.

Até o momento poucos estudos do setor industrial de energia têm enfatizado como os caminhos adotados anteriormente podem influenciar as possibilidades atuais, que, por sua vez, afetam a criação de novas trajetórias tecnológicas. Assim o presente trabalho visa preencher essa lacuna, reunindo e ampliando a compreensão sobre o papel do conhecimento para a maturidade tecnológica e o desenvolvimento industrial do setor energético entre cenários regionais estabelecidos e emergentes. O presente trabalho tem como objetivo discutir sobre o papel das capacitações pré-existentes e a criação de caminhos para o desenvolvimento industrial eólico. Em específico, explorar na literatura existente às evidências sobre as colaborações multisetoriais ancoradas nas capacitações tecnológicas da indústria eólica. Isso é alcançado por meio de uma revisão crítica e sistemática dos estudos teóricos e empíricos, reunidos a partir do arcabouço da geografia econômica evolucionária e de inovação nos estudos de energia eólica.

Esse artigo está estruturado em seis seções, além desta introdução. Assumindo os desafios do setor industrial eólico no processo de transição energética, na segunda seção serão discutidos os principais fundamentos teóricos da geografia econômica evolucionária e da geografia da inovação. A terceira seção apresentará a metodologia da revisão sistemática e os procedimentos utilizados para a construção da base de dados. A análise descritiva dos dados será realizada na quarta seção, apresentando preliminarmente uma visão geral das abordagens discutidas nos artigos. A quinta seção reunirá as discussões penitentes a problemática, a partir dos estudos selecionados para a análise crítica e sistemática da literatura. A sexta seção, por fim, debaterá sobre os principais resultados e recomendações para enfrentar as deficiências encontradas.

## **2. FUNDAMENTOS DA GEOGRAFIA ECONÔMICA EVOLUCIONÁRIA E DE INOVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL**

A inovação é a capacidade de combinar diversas bases de conhecimento em algo novo, diferente ou sem precedentes (OECD, 1997; FELDMAN; KOGLER, 2010). Definida como fontes de estímulos para a criação de novas trajetórias, as inovações podem surgir a partir de períodos de crise e destruição criativa, ou até mesmo de processos de adaptação e mudança incremental (SCHUMPETER, 1997; MACKNOON, 2008; STEEN, 2016); suas atividades são conjuntos de diligências científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, direcionadas para o desenvolvimento de produtos e/ou processos (OECD, 1997).

O conhecimento é um recurso fundamental para viabilizar ou dificultar os processos tecnológicos (PAVITT, 2002) e, conseqüentemente, a aprendizagem é um elemento chave para as atividades de inovação e criação de valor (GERTLER, 2003; LUNDVALL, 2007). Subdivida em componentes explícito (codificado) e implícito (não codificado), a natureza/utilidade do conhecimento está no centro de diferentes estágios das atividades inovativas, do surgimento de mudanças tecnológicas e de novas trajetórias (BEAUDRY; SCHIFFAUEROVA, 2009).

Espacialmente concentrada, o processo de inovação tem sido amplamente investigada pelos geógrafos econômicos (ASHEIM; GERTLER, 2005; BOSCHMA; FRENKEN, 2006). Parte dos estudos apontam a importância complementar da proximidade geográfica para o estímulo a aprendizagem interativa e a inovação (RALLET; TORRE, 1999; BOSCHMA, 2005; BALLAND et al., 2014; BALLAND; RIGBY, 2017); outros estudos têm destacado a relevância das demais dimensões de proximidade, isoladamente ou em combinação, para promover os fluxos locais de conhecimento (e.g., proximidade social e proximidade cognitiva) (UZZI, 1997; BOSCHMA; FRENKEN, 2010; BROEKEL; BOSCHMA, 2012).

O crescente interesse sobre a concentração espacial e os processos de criação e disseminação de novos conhecimentos também tem destacado o papel da diversificação e ramificação regional (JACOBS, 1969; BOCHMA et al., 2017). Para muitas regiões a vantagem competitiva depende da produção de conhecimento de alto valor, complexo e tácito

(BALLAND; RIGBY, 2017). Isso se baseia na premissa de que quanto mais setores estiverem relacionados, mais fácil será a sua transferência de conhecimento (BARBIERI et al., 2020). Nessa linha, o conjunto de competências pré-existentes em uma região determina quais novos caminhos e novas indústrias esta região será capaz de desenvolver (NEFFKE et al., 2015; BOCHMA et al., 2017; HIDALGO et al., 2018) e, neste sentido, o surgimento de novas trajetórias não se caracteriza como um processo aleatório (ASHEIM; GERTLER, 2005; PEREZ, 2009).

Diante do exposto, esta seção é dedicada para discutir os conceitos inerentes tanto da geografia econômica evolucionária quanto de inovação e seus principais *insights* para o desenvolvimento industrial eólico.

## 2.1. *Insights* teóricos da Geografia Econômica Evolucionária e de Inovação

Ao explicar a adaptação da paisagem econômica ao longo do tempo e as fontes de dependência das trajetórias de desenvolvimento (*path dependence* e “efeito *lock-in*”), a geografia evolucionária (*Evolutionary Economic Geography* – EEG), parte do arcabouço da economia evolutiva – investigada por Nelson e Winter (1982) e Dosi (1982) – no contexto da geografia econômica (BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

Considerando o papel da inovação, da destruição criativa e das mudanças de paradigmas para o desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1997; DOSI, 1982; PEREZ, 2009), a literatura da EEG permite discutir sobre como os benefícios promovidos pelas inovações são distribuídos na sociedade, i.e., explica não só a evolução espacial, mas também a distribuição desigual das atividades entre firmas, indústrias, redes, cidades e regiões (FRENKEN; BOSCHMA, 2007), sendo este um processo co-evolutivo e interativo que transforma lugares “neutros” em lugares “reais” (BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

Embora comumente as investigações partam do nível firma, a EEG pode ser aplicada em diferentes níveis de agregação espacial, de forma sistêmica e interativa, i.e., em nível micro e macro (BOSCHMA; FRENKEN, 2006). Esse sistema espacial pode apresentar várias redes e estruturas de inter-relações desenvolvidas por diferentes setores, indústrias e atividades dentro de uma região (MARTIN; SUNLEY, 2006); sua evolução têm sido definido como um processo de mudanças estruturais e pode ser investigado a partir da inclusão das regiões nas redes de inovações globais, em outras palavras, em uma perspectiva multinível na abordagem do Sistema Regional de Inovação (*Regional Innovation System* – RIS) (COOKE, 2001; ASHEIM; GERTLER, 2005; BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

Aparentemente paradoxal, a EEG tem como “pano de fundo” a abordagem evolutiva, por um lado, e a abordagem neoclássica e institucional, por outro. Assumindo, portanto, uma posição intermediária de interface entre essas duas últimas abordagens, pois a EEG investiga as diferenças de crescimento regional a partir de casos de empresas que operam em contextos territoriais “reais” (ambiente macroeconômico, institucional) (BOSCHMA; FRENKEN, 2006). Nessa perspectiva, a EEG pode ser discutida a partir de duas principais vertentes: i) evolução, rotinas e complexidade; ii) aspectos de *path dependence*, “efeito *lock-in*” e instituições (MACKINNON, 2008).

Entendida como competências adquiridas por conhecimento codificado (conhecimento explícito, que pode ser obtido em publicações, manuais e outros) e não codificado (conhecimento implícito e tácito, que constitui as capacidades específicas dos indivíduos) (LUNDVALL, 2007; FELDMAN; KOGLER, 2010), as rotinas vão além da junção das competências individuais. Existe também a competência organizacional que é gerada, em parte, pelo conhecimento experimental (*learning-by-doing*) (NELSON; WINTER, 1982), guiados por costumes e hábitos (MACKINNON, 2008). A natureza coletiva entre o conhecimento tácito e

o contexto social é reflexiva, i.e., o conhecimento tácito define e é definido pelo contexto em que se insere (GERTLER, 2003).

Difíceis de codificar, imitar e transferir às longas distâncias (JAFFE et al., 1993; TEECE et al., 1997; FELDMAN; KOGLER, 2010), o conhecimento tácito é “especialmente pegajoso” (*spatially sticky*), reforça o local sobre o global (GERTLER, 2003) e conta com um estoque de conhecimento prático que é lembrado ao ser executado (MACKINNON, 2008). Em linhas gerais, a EEG visa compreender a criação e a difusão de novas rotinas espacialmente, i.e., a concentração no espaço, desenvolvida ao longo do tempo a partir do conhecimento inserido nas rotinas e nas capacidades organizacionais (BOSCHMA; FRENKEN, 2006).

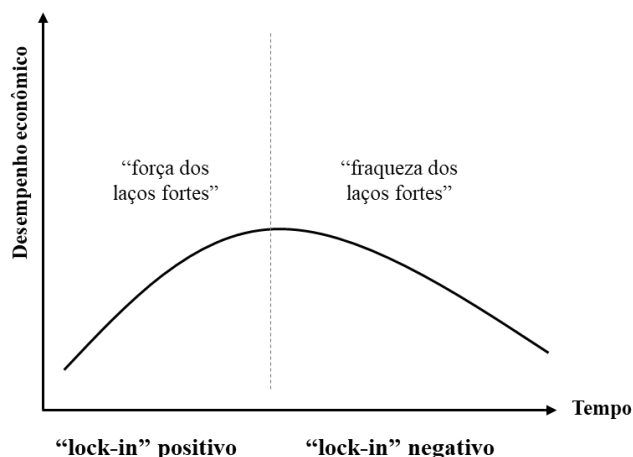
Promovido pelo contato face a face (RALLET; TORRE, 1999), os mecanismos de transferências (e.g., redes sociais, *spin-offs*, colaborações entre empresas, mobilidade de mão de obra, fusões e aquisições) são fundamentais para que o transbordamento do conhecimento não codificado ocorra (JAFFE et al., 1993; BOSCHMA; FRENKEN, 2006). Comumente definida como a proximidade espacial, local ou física, a proximidade geográfica possibilita o fluxo de informações e conhecimento entre os agentes econômicos (ESSLETZBICHLER, 2015). No entanto, além desse tipo de proximidade, para absorver e implementar o conhecimento, o processo de transbordamento requer a superação da distância social e cognitiva, por exemplo (BOSCHMA, 2005; FELDMAN; KOGLER, 2010). Nesse sentido, os transbordamentos regionais de conhecimento nem sempre ocorrerão, pois, a comunicação efetiva entre os indivíduos/empresas é muitas vezes prejudicada pela falta de semelhanças sociais e distância cognitiva excessiva; reforçando, portanto, a importância de *clusters*, dos distritos e das regiões inovadoras (GERTLER, 2003; BOSCHMA, 2005; ASHEIM; GERTLER, 2005; FELDMAN; KOGLER, 2010; NEFFKE et al., 2015).

Assumindo que o sucesso das empresas dependem da sua capacidade de absorção e do acúmulo de conhecimento adquirido no decorrer das suas experiências, a dependência das trajetórias de desenvolvimento consiste no “aprisionamento” de um processo (ou sistema) estabelecido no passado (MARTIN; SUNLEY, 2006; STEEN, 2016). Definido, também, como um “efeito *lock-in*” (SIMMIE, 2012), as tecnologias, as organizações e os sistemas podem apresentar aprisionamento e inflexibilidade de trajetória mesmo em cenários cuja alternativa apresente eficiência e esteja disponível (MACKINNON, 2008), e.g., economias com uso intensivo de combustíveis fósseis (tecnologias obsoletas) em detrimento dos renováveis (tecnologias disruptivas) (FURTADO; PERROT, 2015). Cabe destacar que, embora haja sistemas rígidos, os processos dependentes dos caminhos podem promover o conhecimento e a transmissão destes, a partir das atividades de inovação e suas adaptações contínuas (STEEN, 2016).

Considerado como um processo ligado à geografia, o debate sobre a dependência de trajetórias tem se concentrando na ideia de “aprisionamento” regional (MARTIN; SUNLEY, 2006; ESSLETZBICHLER; RIGDY, 2007). Parte dessa discussão ressalta a incapacidade de incorporação das inovações mais disruptivas, levando as regiões a experimentarem apenas o desenvolvimento de inovações incrementais, que são geradas a partir das rotinas construídas no passado (FRENKEN; BOSCHMA, 2007). Para Mackinnon (2008), as redes regionais fortemente enraizadas podem passar de laços que unem para laços que “cegam” e, portanto, configurar o lado negativo do “aprisionamento”.

No entanto, se por um lado, o “efeito *lock-in*” dificulta as evoluções dos sistemas, intensifica cenários de intensas disparidades e cria externalidades negativas nos desempenhos econômicos das regiões; por outro lado, esse efeito pode gerar retornos crescentes e estimular o desempenho das economias regionais, conforme o lado positivo do “aprisionamento” ilustrado na Figura 1 (MARTIN; SUNLEY, 2006). Nessa perspectiva, regiões com elevados níveis de capacidade de absorção e sistemas locais dinâmicos de inovação apresentam melhores desempenhos para a criação de novas trajetórias (DAWLEY, 2014). Em outras palavras, a

experiência anterior (acumulada) pode estimular a descoberta e o reconhecimento de novas potenciais atividades (STEEN, 2016). Além disso, os avanços tecnológicos, as mudanças nas estruturas de mercado e as mudanças na política podem criar “janelas de oportunidades” para o desempenho econômico (PEREZ; SOETE, 1988; STEEN, 2016).



**Figura 1** – Efeitos “*lock-in*” no desempenho econômico da trajetória regional  
Fonte: elaboração própria, adaptado de Martin e Sunley (2006).

Um dos grandes desafios apontados pela literatura consiste na compreensão de porque algumas regiões são capazes de transformação, enquanto outras não (ESSLETZBICHLER; RIGDY, 2007; BARBIERI et al., 2020). Para que uma região consiga romper com o “aprisionamento” de uma estrutura obsoleta e estabelecer um novo caminho, faz-se necessário a intervenção de forças externas capazes de promover a perturbação no sistema vigente e a reconfiguração de suas trajetórias (MARTIN; SUNLEY, 2006), i.e., o surgimento de um novo paradigma tecnológico (ver DOSI, 1982; PEREZ, 2009). Além disso, há duas principais fontes capazes de provocar o “destravamento” para novos caminhos de crescimento, a saber, as ramificações e a criação (TRIPPL et al., 2017).

As ramificações, i.e., o aproveitamento tecnológico de uma indústria em declínio para o desenvolvimento de novas indústrias na região (MARTIN; SUNLEY, 2006) denota a diversificação entre as indústrias relacionadas, muitas vezes promovidos pelas habilidades regionais existentes. No entanto, a criação de caminhos podem ocorrer também em cenários sem precedentes regionais imediatos (TRIPPL et al., 2017).

Amplamente investigada na EEG, a introdução da variedade de produtos e processos na forma de mudanças tecnológicas são apontadas como um mecanismo-chave para o “desbloqueio” e a criação de novos caminhos (ESSLETZBICHLER; RIGDY, 2007; MACKINNON, 2008; BARBIERI et al., 2020). As noções de variedade relacionada consistem em uma base teórica para investigar o surgimento de novas indústrias por meio da recombinação do conhecimento e de atividades existentes (BOSCHMA; FRENKEN, 2010; STEEN, 2016; HIDALGO et al., 2018).

Em concordância, Zhu et al. (2017) destacam que a relação tecnológica – indústrias tecnologicamente relacionadas à sua estrutura preexistente – consiste em uma força motriz chave para o processo de desenvolvimento econômico regional, pois as regiões tenderão a “saltar” para setores relacionados à sua indústria existente. Hidalgo et al. (2018) acrescentam que às economias com um conjunto diversificado de indústrias relacionadas tendem a experimentar um crescimento mais rápido do emprego e uma maior resistência para os choques de deslocamento da força de trabalho. Além disso, Barbieri et al. (2020) destacam que, quanto mais relacionados estiverem os setores, mais fácil e menos dispendioso será a transferência do

seu conhecimento e, conseqüentemente, tenderão a experimentar um crescimento mais acelerado.

Em contrapartida, evidências têm apontado a importância da variedade em atividades não relacionadas para garantir o desenvolvimento econômico de longo prazo (BOSCHMA et al., 2017), especialmente no desenvolvimento de tecnologias verdes – que requer a combinação de conhecimentos diversos e cognitivamente distintos (BARBIERI et al., 2020). Ocorrendo em uma frequência menor que à diversificação relacionada, as atividades não relacionadas tendem a serem impulsionadas por atores-chaves com capacidades obtidas externamente (e.g., multinacionais, investimento estrangeiro direto e comércio) e, em alguns casos, apoiados por ações políticas (e.g., acordos de cooperação) (BOSCHMA et al., 2017; TRIPPL et al., 2017).

Barbieri et al. (2020) identificaram que, nos estágios iniciais do ciclo de vida da tecnologia, as atividades não relacionadas ao estoque de conhecimento local são mais importantes que as relacionadas, no entanto, à medida que a tecnologia se aproxima da maturidade, o grau de parentesco torna-se mais relevante. Para Belmartino (2022), embora o desenvolvimento tecnológico verde esteja positivamente relacionado com as bases produtivas do conhecimento presente na região – i.e., conhecimento pré-existente –, tanto o parentesco verde quanto o não-verde têm sido relevantes para os processos das tecnologias verdes.

Portanto, em linhas gerais, as evidências têm apontado que, por um lado, a formação de novos caminhos podem surgir com as ramificações intersetoriais, i.e., um novo setor pode surgir a partir de um setor em declínio ou até mesmo da recombinação tecnológica com outros preexistentes (DAWLEY, 2014; TRIPPL et al., 2017; STEEN; HANSEN, 2018); por outro lado, novos caminhos podem surgir a partir da capacidade inovativa local, i.e., da capacidade de dar saltos em setores tecnologicamente distantes e menos relacionados (ZHU et al., 2017; BOSCHMA et al., 2017). No contexto de países/regiões em desenvolvimento, a recuperação do atraso e o alcance de áreas centrais no espaço da indústria, podem surgir com o rompimento do lado negativo do “aprisionamento” e o aproveitamento do lado positivo, a partir do aprimoramento do *know-how* e dos estímulos direcionados para aspectos como investimento em P&D, melhoria contínua em infraestrutura e capital humano (ZHU et al., 2017).

### 3. METODOLOGIA

Seguindo as diretrizes fornecidas por Tranfield et al. (2003) e Kitchenham (2004), a revisão crítica e sistemática da literatura reúne resultados tanto semelhantes quanto contraditórios sobre um tema específico, a partir de um mapeamento das evidências existentes. Considerado como uma metodologia de pesquisa, a revisão sistemática difere de uma revisão de literatura no sentido tradicional, especialmente por não ser uma escolha arbitrária e por ter critérios e princípios estabelecidos em seu escopo (PITTAWAY et al., 2004; DENYER; TRANFIELD, 2017). Além disso, esse tipo de pesquisa identifica temas ou lacunas na literatura que precisam de maiores evidências por meio da compilação de conhecimento, i.e., identifica mudanças na fronteira temática e auxilia na construção de uma agenda para estudos futuros (KITCHENHAM, 2004; DENYER; TRANFIELD, 2017). Desenvolvida a partir de um protocolo para minimizar os vieses no processo de revisão, o método de pesquisa tem como princípios básicos: transparência, clareza, igualdade e acessibilidade (TRANFIELD et al., 2003).

Apoiado pelo uso do *software Bibliometrix* (ARIA; CUCCURULLO, 2017)<sup>4</sup>, neste trabalho o procedimento se subdivide em três fases de delimitação formal, manual e interativo entre si: i) planejamento, i.e., a criação de um protocolo de revisão e a relevância prévia da pesquisa; ii) desenvolvimento, i.e., a seleção de estudos primários, a avaliação da qualidade do

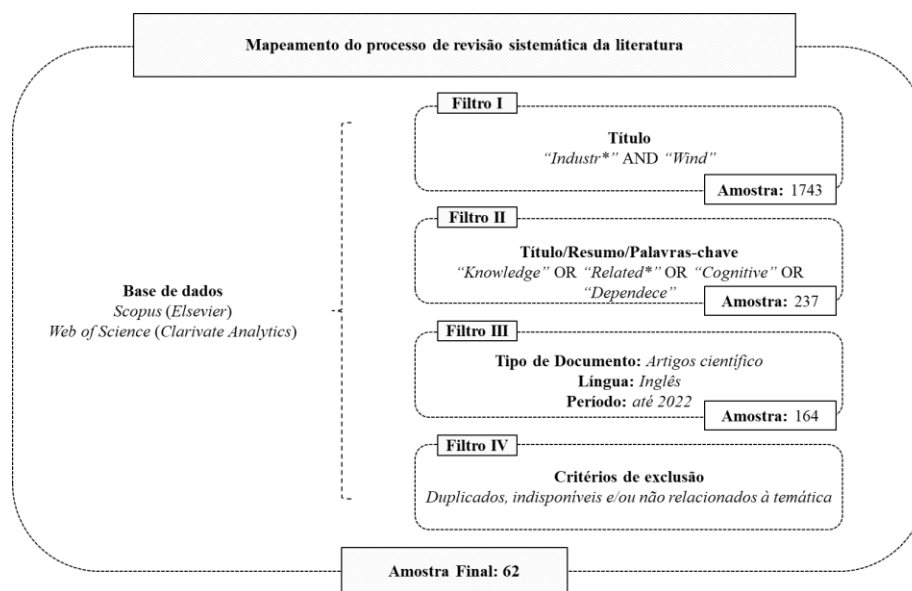
---

<sup>4</sup> Desenvolvida na linguagem de computação estatística e gráfica R (*Software* livre de programação).

estudo, a extração, o monitoramento e a síntese de dado e, por fim, iii) relato da revisão (TRANFIELD et al., 2003; KITCHENHAM, 2004; DENYER; TRANFIELD, 2009). Diante do exposto, a subseção seguinte detalha os procedimentos adotados na fase de desenvolvimento da revisão sistemática do presente trabalho.

### 3.1 Procedimentos e base de dados

Devido à sua abrangência e relevância acadêmica, utilizaram-se as bases de dados dos periódicos revisados por pares da *Scopus (Elsevier)* e *Web of Science (Clarivate Analytics)*, com o período de seleção até 2022<sup>5</sup>. No primeiro estágio da fase de desenvolvimento da revisão sistemática foi realizado a busca por trabalhos acadêmicos com as seguintes palavras-chave e operadores *booleanos* no título: *Industr\* AND Wind*<sup>6</sup>, resultando em uma amostra total de 1743 documentos. Após essa triagem inicial, no segundo estágio foram adicionados as seguintes palavras-chave e operadores *booleanos* no tópico (título, resumo ou palavras-chave): *Knowledge OR Related\* OR Cognitive OR Dependence*, resultando em uma amostra total de 237 documentos. Cabe destacar que a escolha dos termos potencialmente relevantes para a problemática partiram de uma sessão de *brainstorming*, i.e., a partir da compreensão prévia da literatura, conforme sugerido por Kitchenham (2004) e Pittaway et al. (2004).



**Figura 2** – Mapeamento do processo de revisão sistemática

Fonte: Elaboração própria.

No terceiro estágio foram selecionados apenas documentos de artigos científicos, de língua inglesa e período de seleção limitado até o ano de 2022, resultando em uma amostra total de 164 artigos. No quarto estágio foram utilizados critérios de inclusão e exclusão, a partir de uma análise detalhada dos resumos dos artigos remanescentes<sup>7</sup>. Nesse estágio foram selecionados apenas os artigos aderentes com a problemática e excluídos os artigos indisponíveis e duplicados – uma vez que um mesmo artigo pode ser indexado em mais de uma

<sup>5</sup> Ano completo e mais recente da base de dados.

<sup>6</sup> O termo com "\*" coletará documentos com palavras derivadas, e.g., industrial, indústria e industrialização. Além disso, o operador *booleano* "AND" tem como objetivo restringir a amostra, enquanto o operador "OR" amplia a amostra, por ser um operador alternativo.

<sup>7</sup> Triagem manual.



base de dados –, resultando em uma amostra final de 62 artigos científicos. Conforme ilustra a Figura 2.

Após a obtenção do conjunto de dados da *Scopus* e da *Web of Science*, a análise foi organizada em duas etapas: i) inicialmente, para realizar a análise descritiva dos dados e identificar suas principais abordagens, os artigos da amostra final foram codificados de acordo com o ano de publicação, a área do conhecimento, os conceitos de primeira ordem, os autores e as suas respectivas instituições, por exemplo; ii) posteriormente, para realizar o procedimento de relato da revisão – i.e., das discussões pertinentes a presente problemática –, foram analisados integralmente os artigos da amostra final e selecionados os que apresentaram contribuições e críticas para o aprofundamento do referencial. Além disso, nessa última etapa, foram utilizados critérios de relevância para a categorização dos artigos, e.g., os artigos categorizados no grupo “A” apresentavam resultados de maiores evidências para a presente problemática; os artigos no grupo “B” apresentavam evidências, mas não eram explícitas; já os artigos no grupo “C” apresentavam menor relevância ou eram predominantemente gerais/conceituais.

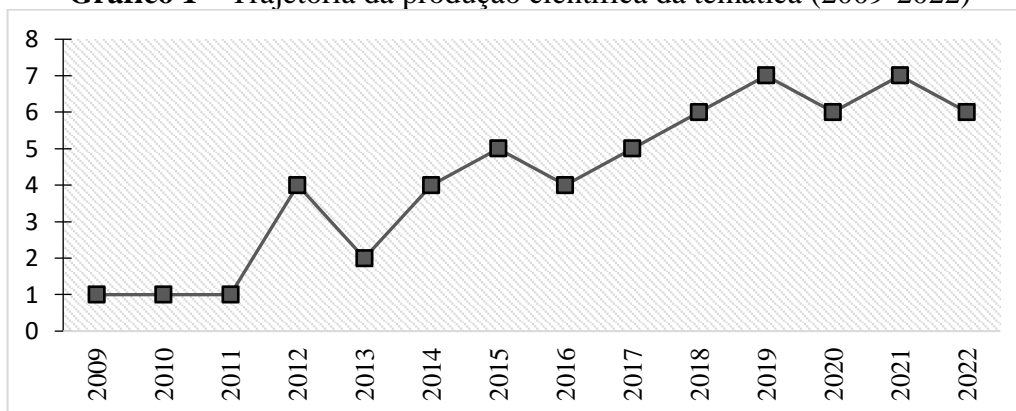
Cabe destacar que embora haja um esforço em reunir todos os trabalhos alinhados com a temática, na presente metodologia existe algumas limitações, dentre essas: i) a seleção da amostra; ii) a seleção dos termos e palavras-chave e, especialmente, iii) a seleção dos critérios adotados manualmente. No entanto, conforme apontado por Tranfield et al. (2003), os procedimentos utilizados minimizam os possíveis vieses dessa metodologia.

#### 4. APRESENTAÇÃO DE DADOS

Exibindo como ponto de partida a amostra de dados obtida nos periódicos revisados por pares da *Scopus* e *Web of Science*, esta seção tem como finalidade: i) realizar uma análise descritiva dos dados e, ii) apontar as principais abordagens previamente identificadas nos 62 artigos da amostra final.

##### 4.1 Análise descritiva

**Gráfico 1** – Trajetória da produção científica da temática (2009-2022)



Fonte: elaboração própria, a partir dos dados da *Scopus* e *Web of Science*.

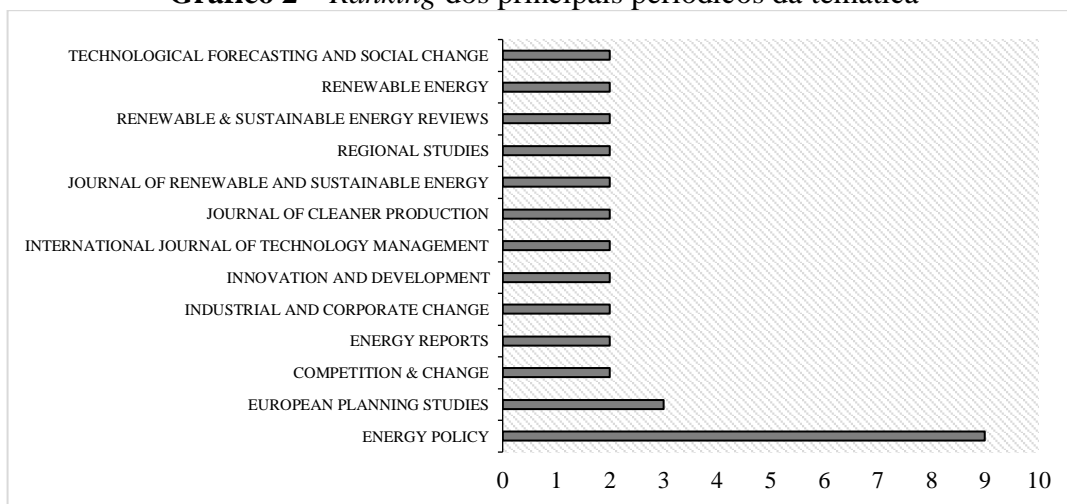
Apesar do número significativo de trabalhos sobre a indústria eólica, ainda é perceptível uma escassez de trabalhos que discutem a temática sob a perspectiva da variedade (não)relacionada. Conforme exposto anteriormente, entre o período de 2009 e 2022, do total de 1743 estudos apenas 237 destes mencionam essa abordagem.<sup>8</sup> O Gráfico 1 ilustra a trajetória

<sup>8</sup> Incluindo possíveis duplicações nas bases de dados.

da produção científica com base nos 62 artigos publicados, entre 2009 e 2022. A partir desses dados, é possível identificar que o volume de publicações na temática vem ocorrendo apenas na última década.

Os principais periódicos que publicaram os artigos na temática foram o *Energy Policy* e o *European Planning Studies*, com os fatores de impacto 9 e 3<sup>9</sup>, respectivamente, conforme ilustra o Gráfico 2. De um total de 37 periódicos, as áreas de estudos foram predominantemente de energia, sustentabilidade e política. Além dos próprios termos utilizados para a seleção dos artigos, as palavras-chave de maiores ocorrências entre os artigos foram: *Renewable energy* (10,08%), *China* (7,75%), *Innovation* (5,43%), *India* (3,10%), *Policies* (2,33%), *Flexibility* (2,33%), *Evolutionary economic geography* (1,55%), *Germany* (1,55%), *Green growth* (1,55%) e *Innovation system* (1,55%).

**Gráfico 2 – Ranking dos principais periódicos da temática**



Fonte: elaboração própria, a partir dos dados da *Scopus* e *Web of Science*.

Preliminarmente, é possível identificar que parte das motivações desses artigos se concentram nos aspectos de inovação e de políticas para o crescimento sustentável, especialmente nos países China, Índia e Alemanha. No entanto, identifica-se também uma deficiência na agenda de pesquisa no âmbito regional e urbano, o que sugere possíveis lacunas a serem exploradas.

Dentre as instituições de pesquisas que mais publicaram na área, destacam-se a *North China Electric Power University* (NCEPU) com 11,76% das publicações, seguido das instituições *University of Chinese Academy of Sciences* (UCAS) e *University of Zurich* (UZH) com 7,06%, ambas. Além dessas, destacam-se também, as instituições *Aalborg University* (AAU), *Carnegie Mellon University* (CMU), *Oxford Brookes University*, *Tsinghua University* (THU), *University of Cambridge* e *University of Oslo* (UIO), com 4,71% das publicações, individualmente. E, portanto, identifica-se uma maior concentração na China e nos países da Europa.

## 4.2 Visão geral das principais abordagens

Com a finalidade de realizar um panorama preliminar dos desenvolvimentos teóricos pertinentes a presente problemática, os 62 artigos selecionados na amostra foram classificados de acordo com sua relevância e abordagem; i.e., artigos de maior relevância (grupo “A”), média relevância (grupo “B”) e baixa relevância (grupo “C”), conforme a Tabela 2.

<sup>9</sup> Indicador h-index.

Os artigos de Awate et al. (2012) e Simmie (2012) apresentaram o maior número de citações do grupo “A”. Diferenciando a capacidade de produção e a capacidade de inovação, Awate et al. (2012) destacam o potencial das multinacionais de economias emergentes (EMNEs) na indústria de turbinas eólicas em termos de capacidade de produção, no entanto, no que se refere à capacidade de inovação (mensurada com a *proxy* de patentes) as EMNEs ainda apresentam um *gap* em relação às multinacionais de economias avançadas, especialmente devido às desvantagens no âmbito do acúmulo de conhecimento. Com base na criação da indústria de energia eólica na Dinamarca, Simmie (2012) discute o papel coletivo dos agentes para o surgimento de novos caminhos e a superação das barreiras estabelecidas pela dependência da trajetória tecnológica.

No grupo “B”, Pacheco et al. (2014) e Rabe et al. (2017) foram os artigos com o maior número de citações, respectivamente. Pacheco et al. (2014) discutem sobre a relação entre organizações de movimentos sociais (SMOs), instituições e indústrias para o surgimento e o crescimento da indústria eólica nos Estados Unidos. Rabe et al. (2017) examinam a dependência tecnológica e de suprimentos das indústrias solar e eólica da União Europeia (UE) em relação ao mercado chinês, no que se refere às estratégias de curto e longo prazo da UE os autores destacam que há vários riscos, dentre eles o aumento da dependência da China e a perda de competitividade da Europa nos mercados globais.

No grupo “C”, os artigos de Irfan et al. (2019a) e Irfan et al. (2019b) apresentam o maior número de citações intragrupo, respectivamente. Para Irfan et al. (2019a) a fonte de energia eólica na Índia apresenta oportunidades para atender à crescente demanda, especialmente devido à sua disponibilidade de recursos naturais. No entanto, os autores destacam que vários fatores têm afetado o desenvolvimento e a competitividade da indústria eólica no mercado, dentre esses a falta de setores relacionados de suporte e as estratégias das empresas. Com a finalidade de desenvolver um modelo de cadeia de valor da indústria de energia eólica e avaliar a competitividade da indústria na Índia, os autores Irfan et al. (2019b) destacam que embora haja um esforço do governo indiano para impulsionar a indústria eólica, pouca ação substancial tem sido tomada para sua implantação, nesse sentido, os autores sugerem que dentre algumas ações, o aprimoramento de atividades de P&D e o desenvolvimento de base profissional são aspectos primordiais para a maturidade do setor.

Além das palavras-chave inseridas para a seleção da amostra, de um total de 156 palavras-chave, os principais termos levantados pela literatura do grupo “A” foram: *renewable energy*, *innovation* e *China*; para o grupo “B”, de um total de 50 palavras-chave os principais termos foram: *China*, *evolutionary economic geography* e *renewable energy*; para o grupo “C”, de um total de 36 palavras os principais termos foram: *flexibility* e *industry chain*. Nesse sentido, é possível identificar, preliminarmente, a existência de uma preocupação recorrente em relação ao desenvolvimento da indústria eólica e o esforço da literatura em ressaltar o papel do conhecimento para os “desbloqueios” e a criação de novas trajetórias, discutidas com mais detalhes na próxima seção.

## 5. REVISÃO SISTEMÁTICA

### 5.1 Por que as capacitações importam e qual o seu papel no desenvolvimento industrial na transição energética?

De acordo com a literatura, até o presente momento, há pelo menos, quatro abordagens usuais para a investigação das mudanças econômicas e disruptivas, a saber: i) inspirações darwinianas; ii) noções da coevolução institucional; iii) teoria dos sistemas adaptativos complexos; e iv) teoria da dependência da trajetória. Em particular atenção a esta última,

Simmie (2012) destaca que o “efeito *lock-in*” e a incapacidade de se livrar de sua história são conceitos centrais no modelo de dependência de caminho.

A teoria da dependência enfatiza o papel que a atividade econômica passada exerce sobre a atual, que por sua vez molda os cenários futuros, pois novos caminhos econômicos não podem ser criados no vazio (CARPENTER et al., 2012). A dependência do caminho sob a perspectiva de contingência e auto reforço pode provocar o “aprisionamento” na ausência de choques exógenos, não obstante, pode selecionar caminhos cujas tecnologias, arranjos institucionais ou organizacionais são ineficientes ou abaixo do ideal (SIMMIE, 2012). Essas dependências por trajetórias antigas e estabelecidas impedem o avanço das tecnologias sustentáveis, especialmente por ser tecnologias que exigem novos conjuntos de capacidades institucionais, de bases de conhecimento e uma abordagem integrada para a formulação de políticas (FURTADO; PERROT, 2015).

Influenciado por fatores endógenos e exógenos, para alcançar o *catch up* tecnológico cada país e setor requer um método de recuperação diferente, no qual envolve aprendizado e capacitação (PUEYO et al., 2011; FURTADO; PERROT, 2015), seja para seguir um caminho (i.e., adotar tecnologia de primeira geração), pular estágio (i.e., adotar tecnologia atualizada) ou criar caminhos (i.e., explorar novas trajetórias) (HAIN et al., 2020). Países com capacidades tecnológicas significativas podem apresentar maior capacidade para absorver o que há de mais inovador no mercado e desenvolver uma base tecnológica internamente, no entanto, países com baixas capacidades podem apresentar uma maior dependência (PUEYO et al., 2011). E, nesse contexto, empresas de economias emergentes podem enfrentar maiores restrições no mercado doméstico, seja pela deficiência de infraestrutura, cadeia de suprimentos não confiáveis, vazios institucionais ou indisponibilidade de serviços complementares (AWATE et al., 2012).

Desse modo, se por um lado, as competências e atividades acumuladas reforçam certos padrões que geram bloqueio ou inflexibilidade (ANDERSEN et al., 2017); por outro lado, quando bem aproveitadas podem aumentar a inovação e criar oportunidades de saltos tecnológicos (THEYEL, 2012; GEBAUER; BINZ, 2019), i.e., criar caminhos de novas trajetórias tecnológicas, também conhecida como *leapfrogging* (HAIN et al., 2020).

O primeiro caminho associado ao acúmulo de tecnologia é geralmente promovido pela colaboração internacional, pelo aprendizado de países emergentes a partir dos países desenvolvidos e treinamento local de recursos humanos qualificados (CHEN et al., 2014). As inovações emergentes levam tempo para acelerar a decolagem (BENTO; FONTES, 2019) e no contexto das tecnologias eólicas (*onshore* e *offshore*), a redução de custos e a maturidade tecnológica, em partes, estão associadas à sua repetição e ao acúmulo de experiência prática (AFEWERKI; STEEN, 2022) – como por exemplo, a estreita colaboração entre os produtores de turbinas e os seus usuários na Alemanha, que permitiram o desenvolvimento de processos de aprendizagens simultâneas e interativas, especialmente promovido pela proximidade espacial em nichos rurais (SILVA; KLAGGE, 2013). Assim, a padronização e a repetição podem ser preponderantes para construir competências e obter economia de escala (BENTO; FONTES, 2019).

Além disso, a evolução do sistema pode partir do acúmulo de mudanças pequenas e incrementais tanto ao nível das empresas quanto ao nível das instituições (SILVA; KLAGGE, 2013). No caso das empresas de petróleo e gás, por exemplo, que é frequentemente considerada passiva ou resistente às transições de sustentabilidade no setor, na Noruega o desenvolvimento de tecnologia eólica flutuante foi visto como uma “janela de oportunidade” para redistribuir os recursos existentes das empresas, i.e., do conhecimento acumulado sobre fundações flutuantes (MÄKITIE, 2020). E nesse sentido, o desenvolvimento das novas trajetórias também refletirá as relações de poder existentes no setor, especialmente no papel das empresas dominantes e incumbentes (HEIDENREICH; MATTES, 2022).

No que se refere ao processo de transferência tecnológica, as *spin-offs* e o suporte para as empresas emergentes têm sido apontadas como de fundamental importância para o fornecimento de novas tecnologias (THEYEL, 2012), dado que as indústrias podem surgir de indústrias antigas e estabelecidas (CARPENTER et al., 2012; THEYEL, 2012). As relações intrínsecas as redes globais de produção (GPN) também tem sido apontada como facilitadoras tanto da transferência do conhecimento quanto a formação de capacidades competitiva de empresas líderes, pois contribuem para fomentar inovações; i.e., promover desenvolvimento local e regional (AFEWERKI; STEEN, 2022).

Consideradas como arenas importantes para os processos de inovações, no qual requer, muitas vezes, o conhecimento heterogêneo de diferentes empresas e habilidades profissionais, a indústria de turbina eólica é o resultado da combinação de bases de conhecimento de diferentes tecnologias industriais, e.g., engenharia mecânica e elétrica, *software*, aerodinâmica, ciência de materiais e tecnologias integradas (CHEN et al., 2014). Amplamente investigado pela geografia econômica (NILSEN; NJØS, 2022), a indústria consiste em: “*an economic, technological, and institutional arena that shapes professional and social relations, lobbying and interest representation, technological norms, R&D policies, marketing, and the strategies of the companies belonging to it*” (HEIDENREICH; MATTES, 2022, p. 1286).

Regiões que apresentam competências essenciais para manutenção de parques eólicos *onshore* também apresentam vantagens para fornecer os serviços necessários dos parques eólicos *offshore*, não se restringindo apenas a essa indústria (e.g., indústria naval, com a especialização de embarcações sob medida para reduzir o tempo de instalação de grandes torres eólicas *offshore*, ou a indústria de tecnologia da informação, com soluções de comunicação para parques eólicos *offshore*) (GEBAUER; BINZ, 2019; BENTO; FONTES, 2022). E, nesse sentido, a diversificação de empresas de outros setores tem sido crucial para expansão e industrialização dessas tecnologias, pois ao entrar em novos setores podem redistribuir recursos e capacidades especializadas para obter economias de escopo, i.e., oferecendo produtos e serviços com custos relativamente menor (AFEWERKI; STEEN, 2022).

No contexto chileno, durante a década de 2010, as empresas de mineração e química apresentaram um forte envolvimento no desenvolvimento e financiamento de novos projetos eólicos no país. Consumidor de quase 15% da matriz de energia do Chile, parte do interesse da indústria de mineração se deu ao aproveitamento dos recursos locais, a fim de obter segurança no fornecimento de energia e cumprir os regulamentos demandados. A partir de mecanismos de transferência tecnológica, a Fibrovent Wind (empresa chilena de produção de pás eólicas), por exemplo, surgiu com a parceria entre o fornecedor espanhol de turbinas eólicas Eozen e a empresa chilena Fibrovent (empresa chilena fornecedora de serviços para a indústria de mineração). Não obstante, a transferência envolveu não apenas o conhecimento codificado, mas também capacidades tecnológicas tácitas, adquiridas com a experiência de um especialista de fabricação de turbina (PUEYO et al., 2011).

As empresas locais podem exercer um papel catalizador e auxiliar no desenvolvimento de novos conhecimentos, além disso, a proximidade entre as empresas pode diminuir os custos, promover a troca de informações, a construção de confiança e a união de recursos (THEYEL, 2012). Assim como as empresas estabelecidas podem apoiar as iniciantes em seus esforços de P&D e usar seus recursos existentes para legitimação e ampliação da nova tecnologia (MOLDVAY et al., 2013; MÄKITIE, 2020). E, nesse contexto, os mecanismos de colaboração tem sido apontados como primordiais para o contexto em que as novas soluções tecnológicas são desenvolvidas, a partir da geração de P&D e do surgimento, adaptação e declínio de outras indústrias (HEIDENREICH; MATTES, 2022).

Com condições de nicho (ambiente) favorável ao desenvolvimento do setor, na Alemanha, Carpenter et al. (2012) destacaram a importância da estrutura herdada da indústria automotiva, que por sua vez, apresentava elevadas capacitações de engenharias, incluindo

capacitações de recursos humanos. Os autores Heidenreich e Mattes (2022) identificaram três tecnologias radicalmente novas para a indústria eólica alemã que contaram com uma base de conhecimento de indústrias adjacente, todos com elevada participação do financiamento público, a saber: i) o desenvolvimento de um sistema de iluminação que só é ativado quando um avião entra no campo de radar relacionado, foi iniciado por um instituto de pesquisa aplicada com vários domínios tecnológicos, incluindo a indústria militar; ii) a criação de uma cortina de bolhas que reduz o ruído no mar, contou com a *expertise* da indústria de petróleo e gás para proteção de derramamento de óleo; e iii) o desenvolvimento de uma plataforma para coleta da eletricidade gerada por vários parques eólicos, transportando-a para a costa com o menor possível perda, teve a participação ativa da construção naval e da indústria *offshore* de petróleo e gás.

No contexto de países em desenvolvimento, além de uma base tecnológica nacional avançada que permite a rápida absorção da tecnologia externa, a China, Índia e Brasil também oferecem aos potenciais investidores a perspectiva de grandes lucros (PUEYO et al., 2011). No entanto, em geral, países emergentes teriam maiores dificuldades para replicar a tecnologia, por apresentar menor poder de barganha em relação aos fornecedores externos (AFEWERKI, STEEN, 2022). Promovida por vínculos globais de cooperação com os fornecedores locais, as tecnologias e empresas estrangeiras têm apresentado um papel imprescindível para o surgimento da indústria eólica (AWATE et al., 2012). A empresa espanhola Gamesa, por exemplo, surgiu e se desenvolveu por meio de regulamentos na forma de *joint venture*, com uma das pioneiras eólicas da Dinamarca, a Vestas (SILVA; KLAGGE, 2013).

Ao estudar os processos de transformação e competências de serviço na indústria eólica da Europa, Gebauer e Binz (2019) destacam que a venda de tecnologias para países emergentes exigia a localização de competências nesses países, acarretando uma configuração “multilocalizada”. Os crescentes mercados atraíram operadores de outras indústrias, por meio de fusões e aquisições, a fim de fortalecer as posições gerais de mercado, como no caso da combinação de competências obtidas entre a Siemens com a Gamesa e a Nordex com a Acciona.

No contexto do mercado sul-africano, a *startup* I-WEC desenvolveu uma *joint venture* com uma tradicional empresa de fabricação sul-africana de turbinas eólicas, permitindo utilizar as instalações fabris existentes, reduzir seus custos de investimento e operar em uma escala menor e competitiva (MOLDVAY et al., 2013). Esse tipo de parceria entre empresas (*joint venture*, fusões ou aquisições) são identificadas como uma abordagem comum e frequentemente bem-sucedida (CHANG et al., 2021), no qual fornecem um veículo de acesso ao conhecimento organizacional tácito, incluindo o conhecimento de mercado (AFEWERLKI; STEEN, 2022).

Um ponto fundamental é que o conhecimento de fora da indústria serve como um insumo para o processo de inovação, porém não pode ser simplesmente adotada, requer adaptações e mudanças em várias dimensões (HEIDENREICH; MATTES, 2022), pois são necessárias estruturas facilitadoras para acelerar a difusão de tecnologia nos países em desenvolvimento (PUEYO et al., 2011). Isto é, para o processo de *up-scaling* (acelerar a difusão no mercado) faz-se necessário a mobilização de recursos humanos especializados, a formação de mercados, a disponibilidade de investimentos em infraestrutura e o capital financeiro, por exemplo (BENTO, FONTES, 2019).

As regiões com baixa dotações de recursos produtivos podem inicialmente importar parte das turbinas eólicas e complementar com a componentes já fabricados localmente (MOLDVAY et al., 2013). Esse mecanismo associado com as políticas de apoio direto têm viabilizado e protegido o desenvolvimento industrial doméstico de diferentes economias (SILVA; KLAGGE, 2013).

Dentre os principais mecanismos de apoio se destacam: requisitos de conteúdo local; incentivos financeiros e fiscais; direitos alfandegários favoráveis; assistência de crédito à

exportação; certificação de qualidade e financiamento destinado para pesquisa e desenvolvimento (MOLDVAY et al., 2013; SILVA; KLAGGE, 2013).

No que se refere à política de conteúdo local, uma estratégia para que se possa ampliar as potencialidades da fabricação doméstica consiste no aumento gradual desse mecanismo, paralelamente à maturidade de mercado e à ampliação da demanda; como no contexto do mercado da África do Sul, cujo percentual inicial de conteúdo local era de 25%, posteriormente ampliada para 40% e 60%, respectivamente (MOLDVAY et al., 2013). No caso chinês a exigência inicial foi de 50% a 70% da produção local (SILVA; KLAGGE, 2013); Brasil de 60% (FURTADO; PERROT, 2015); Alemanha de 70% (CHANG et al., 2021); Canadá de 60%, Dinamarca e Noruega de 50% (AFEWERKI; STEEN, 2022).

Cabe ressaltar que os principais elementos para promover o processo de transferência tecnológica e, conseqüentemente dar saltos tecnológicos (*leapfrogging*), são: i) estruturas institucionais e econômicas adequadas; ii) capacidade de absorção adequada; iii) demanda grande e estável e, iv) políticas de apoio para tecnologias de baixo carbono (PUEYO et al., 2011). No caso do Brasil e da África do Sul, por exemplo, os aprisionamentos institucionais e tecnológicos baseados em fontes antigas e convencionais – dependente de tecnologias hídras e fósseis, respectivamente – têm apresentado desafios para o avanço do setor eólico (FURTADO; PERROT, 2015).

Portanto, considerado como um processo complexo, as capacitações apresentam papel crucial para o desenvolvimento do setor eólico, porém exigem não apenas o conhecimento das empresas sobre a tecnologia geral do produto, mas também sobre tecnologias e habilidade complementares (AWATE et al., 2012).

## **5.2 Quais as preocupações emergentes da indústria eólica e como os países têm enfrentado?**

Em perspectiva histórica global, a indústria de energia eólica tem apresentado um crescimento desde a década de 1980 (MALCZYK, 2016). Considerada como uma tecnologia imprescindível para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> (HONG; CHANG, 2019), o setor tem ganhado destaque em diferentes economias, e.g., China (ZHANG et al., 2009; LI et al., 2015; ZHAO et al., 2015; NINNI et al., 2020; JIANG; LIU, 2021), Índia (IRFAN et al., 2019a; 2019b), Estado Unidos (THEYEL, 2012), Alemanha (CARPENTER et al., 2012; HEIDENREICH; MATTES, 2022), Noruega (NILSEN; NJØS, 2022), Dinamarca (LUTZ; ELLEGAARD, 2015; ANDERSEN et al., 2017) e Brasil (ADAMI et al., 2020). No entanto, com um ritmo acelerado, especialmente nas duas últimas décadas (2000-2020), o setor apresenta inúmeros desafios, dentre os quais destacam-se: a falta de flexibilidade e dependência da cadeia de abastecimento (LI et al., 2015; LUTZ; ELLEGAARD, 2015; RABE et al., 2017; IRFAN et al., 2019b); os aspectos de gestão de espaço (THEYEL, 2012; MALCZYK, 2016); a viabilidade econômica, aceitação pública e adaptação das tecnologias (HEIDENREICH; MATTES, 2022; NILSEN; NJØS, 2022).

Considerado como um ambiente extremamente incerto (AWATE et al., 2012), embora a tecnologia da indústria eólica seja conhecida há décadas e o seu desenvolvimento tenha sido baseado em inovações incrementais, esse tipo de mercado demanda várias tecnologias-chave que exibem propriedades e complexidades distintas com um fluxo contínuo de inovações (e.g., torres, pás, caixa de engrenagens e gerador) (HAIN et al., 2020); muitas vezes baseadas em tecnologias de outras indústrias (HEIDENREICH; MATTES, 2022).

Específica do local, a energia eólica tem enfrentado problemas de flexibilidade (ZHAO et al., 2015) e competitividade em relação às outras tecnologias, pois, enquanto a energia solar pode ser instalada em qualquer lugar, a energia eólica requer um ambiente adequado de clima e solo (LUTZ; ELLEGAARD, 2015; IRFAN et al., 2019a).

Do ponto de vista do fornecimento de matéria-prima nas indústrias emergentes, a literatura destaca alguns gargalos relacionados a cadeia de suprimentos (ZHAO et al., 2014), especialmente no que se refere a mercado e acesso, oferta e demanda, tecnologia, concorrência e política (ZHAO et al., 2015). Buscando ser líder global em tecnologias relacionadas (RABE et al., 2017), a indústria eólica chinesa tem apresentado alguns desafios. Zhao et al. (2015) apontaram uma inflexibilidade do país para lidar com elevados níveis de turbulência no mercado. E, nesse sentido, os autores sugerem uma maior atenção por parte dos governos e das empresas na flexibilidade da cadeia do setor, e.g., flexibilidade de recursos, de capacidades (inovação tecnológica, produção e operação) e de cultura. Em concordância, Li et al. (2015) destacam que a flexibilidade da cadeia intermediária de energia é um dos principais desafios, pois a produção e montagem de turbinas de grande porte e alta capacidade ainda dependem de fabricantes estrangeiros; além disso, em termos de inovação tecnológica e integração de recursos, há uma grande lacuna entre fabricantes nacionais e estrangeiros.

No contexto Europeu, Rabe et al. (2017) destacam os desafios implícitos na forte dependência por matérias-primas (neodímio e disprósio) usados na fabricação de turbinas e fornecidas pelo mercado chinês. Segundo os autores, esse mercado pode apresentar gargalos de oferta e volatilidade de preço, devido ao rápido crescimento de demanda (previsto) e à dificuldade de expandir a capacidade de extração dessas matérias-primas. Em Taiwan, por exemplo, a taxa de autossuficiência doméstica dos suprimentos de energia solar é relativamente alta e superior à dos suprimentos de energia eólica. Assim, no curto prazo, o desenvolvimento do setor eólico tem apresentado um menor benefício econômico em razão da dependência de importação dos equipamentos e materiais do setor (HONG; CHANG, 2019), em outras palavras, devido à inflexibilidade de recursos. No contexto brasileiro, Adami et al. (2020) ressaltam que as regras de conteúdo local para obtenção de financiamento no país possibilitou o desenvolvimento interno do setor e, conseqüentemente, uma redução na sua dependência externa. Além disso, a estratégia de ter mais de um fornecedor para componentes-chave reduziu o risco de ruptura da cadeia de suprimentos e aumentou o poder de barganha das empresas.

Para Zhao et al. (2015), ter flexibilidade na cadeia da indústria de energia eólica é primordial para que se possa adquirir resiliência às turbulências de mercado (internas e externa). No longo prazo, as estratégias mais promissoras para esses desafios consistem na diversificação de fornecedores e cadeias de suprimentos, bem como na redução e/ou substituição de materiais críticos em tecnologias renováveis (RABE et al., 2017). No que se refere a flexibilidade da tecnologia, da propriedade intelectual e da flexibilidade de talentos, Zhao et al. (2014) destacam que, embora no curto prazo haja um aumento nos custos de fabricação, operação e serviço, no longo prazo esses componentes impulsionam uma mudança geral de flexibilidade da cadeia da indústria, sendo este um sistema complexo e afetado por muitos fatores.

Na Índia um dos grandes desafios ainda consiste na criação de valor de inovação para toda a cadeia de produção. Muita atenção tem sido dada à fabricação de componentes e turbinas, porém, no âmbito das atividades de P&D há lacunas que precisam ser superadas (IRFAN et al., 2019b). Além disso, o país demanda um volume significativo de importação de peças e equipamentos essenciais ao setor, apresenta falta de tecnologia moderna e capacidade técnica insuficiente de recursos humanos (IRFAN et al., 2019a). Restringindo, portanto, a competitividade da indústria eólica indiana em relação a outros mercados e tecnologias, i.e., o armazenamento, a embalagem e o transporte dos materiais para áreas distantes do fornecedor tem acarretado custos substanciais para o processo da cadeia industrial eólica (IRFAN et al., 2019b), o que pode afetar as decisões de investimento e produção do setor (JIANG; LIU, 2021).

Nessa perspectiva, fomentar atividades contínuas de P&D e incentivar o desenvolvimento do capital humano, faz-se primordial para a redução da dependência tecnológica externa e ampliação da capacidade interna do mercado (IRFAN et al., 2019a;



2019b). Segundo Jiang e Liu (2021), o treinamento dos recursos humanos é crucial para a eficiência produtiva das empresas, pois ajuda a romper o gargalo da escassez de talentos.

Diante da potencialidade de expansão de mercado, na última década (2010-2020) a tecnologia eólica *offshore* tem atraído a iniciativa de empresas e de intervenções estatais (LUTZ; ELLEGAARD, 2015; ANDERSEN et al., 2017). Considerado como um *player* importante, na indústria dinamarquesa de energia os diferentes estímulos conduzidos pelo Estado (e.g., incentivos fiscais, equipamentos certificados e investimentos de empresas estatais de energia) e pela interação entre uma variedade de indústrias, promoveram o crescimento da demanda por capacidade eólica (ANDERSEN et al., 2017). Em 1991, com o desenvolvimento do primeiro parque eólico *offshore* do mundo em Vindeby, a construção, operação e manutenção do parque apresentou uma série de desafios que demandavam um maior desenvolvimento tecnológico (LUTZ; ELLEGAARD, 2015). Parte desses desafios de pioneirismo divergiam das soluções de energia eólica *onshore*, porém convergiam com os problemas semelhantes enfrentados em outros setores, por exemplo, indústria de petróleo e gás (LUTZ; ELLEGAARD, 2015), empresas manufatureiras de equipamentos agrícolas (ANDERSEN et al., 2017) e indústria marítima (HAIN et al., 2020).

O submercado emergente de *offshore* tem contado com uma diversidade de atores especializados das quais buscam soluções emergentes por meio da combinação e coordenação de uma variedade de atividades pré-existentes (LUTZ; ELLEGAARD, 2015). Isso destaca que os “submercados” não estão totalmente isolados uns dos outros, além disso, na medida em que se desenvolvem, se integram as atividades anteriores e criam oportunidades de negócios competitivos (ANDERSEN et al., 2017).

No contexto periférico, o caso de Finnmark na região norte da Noruega demonstra os desafios que o desenvolvimento de uma nova indústria pode enfrentar para ser legitimada. Embora houvesse argumentos empresariais pró-eólico, com forte oposição da narrativa indígena Saami sobre a preservação da terra, o surgimento de um caminho industrial embrionário na região acabou sendo bloqueado (NILSEN; NJØS, 2022).

### **5.3 Ambientes científicos-tecnológicos capacitados para o desenvolvimento industrial emergente: O caso chinês**

O caso chinês tem mostrado um *catch up* sem precedentes nesses “submercados” (HAIN et al., 2020). Intensiva em capital e dependente dos subsídios governamentais (IRFAN et al., 2019b), a energia eólica tem sido identificada como uma tecnologia limpa e promissora no país, especialmente por se tratar do maior consumidor de energia e emissor de carbono do mundo (JIANG; LIU, 2021).

Iniciado no final da década de 1990, o mercado eólico na China começou a tomar fôlego só após 2006, com a criação de uma série de leis, regulamentos e políticas de apoio para o desenvolvimento industrial do setor (ZHANG et al., 2009; NINNI et al., 2020); dentre essas: i) a Lei de Energia Renovável, emitida em 2007 pelo Congresso Nacional; ii) a Supervisão e Administração de Empresas de Rede na Compra de Energia Renovável, emitida em 2008 pela Comissão Estatal Reguladora de Eletricidade; iii) ajuste da Política de Preços *Feed-in* de Energia Eólica, emitida em 2019 pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma; iv) o 12º Plano Estratégico Nacional de Desenvolvimento de Indústrias Emergentes, emitido em 2012 pelo Congresso Nacional; e v) os avisos sobre Integração e Acomodação de Energia Eólica, em 2013, e o fortalecimento do Desenvolvimento de Sistemas de Monitoramento e Avaliação para a Indústria eólica, em 2013, ambos emitidos pela Administração Nacional de Energia (LI et al., 2015).

Segundo Zhang et al. (2009), o progresso da indústria eólica na China se dá não só pelo conjunto de políticas públicas domésticas, mas também pelo apoio na forma de transferência

de tecnologia, fornecimento de financiamento público e o apoio internacional. Por exemplo, com a ampliação do financiamento e a proposta de mitigação das mudanças climáticas, em 2016, o Acordo de Paris colocou a energia eólica no topo da agenda do governo chinês (JIANG; LIU, 2021). Para HSIAO et al. (2022), o Acordo de Paris e o 13º Plano Quinquenal (2016-2020) foram as duas das mais importantes políticas com efeitos de contágio em outras indústrias.

Com fortes incentivos direcionados para pesquisa e desenvolvimento em tecnologia eólica, na China destaca-se o programa nacional de pesquisa básica (Programa 973), o programa nacional de P&D de alta tecnologia (Programa 863) e o programa nacional de P&D de tecnologia-chave (ZHANG et al., 2009). No setor de veículos elétricos, por exemplo, a China responde por quase metade da participação no mercado global, porém, detém apenas 1,6% da participação global de patentes dessa tecnologia (HAIN et al., 2020). No caso do Japão e Coréia do Sul, há um elevado estoque de conhecimento sobre as tecnologias de eólica e de veículos elétricos, porém uma baixa exploração do setor eólico devido às limitações em seus regimes institucionais e de mercado (HAIN et al., 2020). Nesse contexto, torna-se evidente a importância do desenvolvimento científico-tecnológico associado à um ambiente institucional favorável e as colaborações entre os países, a fim de promover oportunidades de mercado.

Em linhas gerais, as políticas de incentivos ao desenvolvimento da indústria de energia eólica, na China, referem-se principalmente a subsídios financeiros, deduções e isenções fiscais, tarifas *feed-in* preferenciais e suporte tecnológico (LI et al., 2015). Cabe destacar que o incentivo do governo minimiza a percepção de risco desse mercado e, conseqüentemente, incentiva a atuação do setor privado e melhora a eficiência produtiva como um todo (JIANG; LIU, 2021). Para Ninni et al. (2020), as escolhas de localização dos investimentos eólicos são, em partes, afetadas pela competitividade da indústria e pela disponibilidade de incentivos domésticos. Hsiao et al. (2022) destacam que os setores industrial, telecomunicações e serviços públicos que estão estreitamente relacionados à energia eólica são mais sensíveis aos anúncios das políticas. De fato, o governo chinês vem desenvolvendo uma política industrial muito intensa com o foco no controle de fases-chave das cadeias produtivas globais a fim de promover o desenvolvimento das atividades eólicas (*onshore* e *offshore*) (NINNI et al., 2020).

Para Li et al. (2005), uma possibilidade eficaz no gerenciamento do risco das cadeias industriais é reduzir o custo da transação, promovendo um relacionamento mais colaborativo entre as empresas na cadeia industrial e, conseqüentemente ampliando o compartilhamento de informações e a confiança. Embora promissor, há vários riscos e incertezas (e.g., incerteza de recursos, de tecnologia e de mercado) (ZHANG et al., 2009), o que torna o futuro da indústria eólica ainda imprevisível (IRFAN et al., 2019a). Em linhas gerais, as políticas de desenvolvimento da indústria eólica tem o potencial não só de promover a economia de energia e redução das emissões, mas também contribuir para o desenvolvimento de toda a economia (HSIAO et al., 2022).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como ponto de partida o potencial papel do setor industrial eólico para o desenvolvimento econômico, regional e sustentável, o presente trabalho teve como objetivo discutir sobre o papel das capacitações pré-existentes e a criação de caminhos para o desenvolvimento industrial eólico. Em específico, explorar na literatura existente as evidências sobre as colaborações multisetoriais ancoradas nas capacitações tecnológicas da indústria eólica. Para tal, utilizou-se os procedimentos de revisão sistemática apoiados pelo uso do *software Bibliometrix*, com as bases de dados dos periódicos revisados por pares da *Scopus* (Elsevier) e *Web of Science* (Clarivate Analytics).

Com uma amostra final de 62 artigos científicos, os principais resultados apontam a importância das competências pré-existentes para a redução dos custos e aumento da maturidade tecnológica do setor eólico. Associadas à sua repetição e ao acúmulo de experiência prática, com mudanças pequenas e incrementais, a indústria eólica tem apresentado competitividade e economia de escala. No contexto da Alemanha, por exemplo, a colaboração entre os produtores de turbinas e os usuários de nichos rurais apresentaram processos de aprendizagem simultâneos e interativos. Na Noruega, a tecnologia eólica flutuante foi vista como uma “janela de oportunidade” para as empresas de petróleo e gás local, pois a redistribuição dos recursos existentes permitiram ganhos de economia de escala no novo mercado.

Um outro aspecto destacado consiste no papel da transferência tecnológica, pois para promover o fluxo do conhecimento tanto codificado quanto tácito faz-se necessário a proximidade entre as empresas, seja geográfica, social ou cognitiva. E, portanto, destacam-se o papel das colaborações tanto no setor quanto entre os setores, como no caso do desenvolvimento da Gamesa, a partir de uma *joint venture* com a Vestas, ambas do setor eólico; no segundo contexto, a fusão entre uma empresa fornecedora de turbinas espanhola e uma empresa chilena de serviços de mineração, possibilitou a criação e o desenvolvimento da Fibrovent Wind, empresa chilena de produção de pás eólicas. Em linhas gerais, de acordo com a literatura, os principais mecanismos de transferência são: i) estruturas institucionais e econômicas adequadas; ii) capacidade de absorção adequada; iii) demanda grande e estável e, iv) políticas de apoio para tecnologias de baixo carbono (PUEYO et al., 2011).

Cabe destacar que, embora seja um mercado com elevado potencial de expansão, o setor tem apresentado inúmeras incertezas tecnológicas e de mercado. De acordo com a literatura, a falta de flexibilidade, seja na cadeia de suprimentos, tecnologia, propriedade intelectual ou talentos, tem apresentado entraves para diferentes economias. No contexto europeu, por exemplo, a forte dependência por matérias-primas (neodímio e disprósio) usados na fabricação de turbinas e fornecidas pelo mercado chinês tem sido fator de preocupação emergente do setor.

Por fim, marcado por um *catch up* sem precedentes, o sucesso do mercado eólico chinês tem apontado a importância do desenvolvimento de políticas públicas domésticas bem delineadas, assim como, o papel da transferência de tecnologia, do fornecimento e da disponibilidade de financiamento, do apoio internacional e institucional.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADAMI, Vivian; et al. Structure and complexity in six supply chains of the Brazilian wind turbine industry. **Brazilian wind turbine industry**, 2020. DOI: 10.1108/IJLM-01-2020-0039
- AFEWERKI, Samson; STEEN, Markus. Gaining lead firm position in an emerging industry: A global production networks analysis of two Scandinavian energy firms in offshore wind power. **Competition & Change**, v. 0, n. 0, p. 1–24, 2022.
- ANDERSEN, Poul; et al. Industry evolution, submarket dynamics and strategic behaviour among firms in offshore wind energy. **Competition & Change**, v. 21, n. 2, p. 73–93, 2017.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v.11, p. 959–975, 2017.
- ASHEIM, Bjørn; GERTLER, Meric. The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems. **Oxford Handbooks Online**, 2009. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0011
- AWATE, Snehal; et al. EMNE catch-up strategies in the wind turbine industry: Is there a trade-off between output and innovation capabilities? **Global Strat Journal**, v. 2, p. 205–223, 2012. DOI: 10.1111/j.2042-5805.2012.01034.x
- BALLAND, Pierre-Alexandre; RIGBY, David. The Geography of Complex Knowledge. **Economic Geography**, v. 93, n. 1, p. 1-23, 2017. DOI: 10.1080/00130095.2016.1205947
- BALLAND, Pierre-Alexandre; et al. Proximity and Innovation: From Statics to Dynamics. **Regional Studies**, 2014. DOI: 10.1080/00343404.2014.883598
- BARBIERI, Nicoló; et al. Specialization, Diversification, and Environmental Technology Life Cycle. **Economic Geography**, v. 96, n. 2, p. 161-186, 2020. DOI: 10.1080/00130095.2020.1721279

- BEAUDRY, Catherine; SCHIFFAUEROVA, Andrea. Who's right, Marshall or Jacobs? The localization versus urbanization debate. **Research Policy**, n. 38, p. 318–337, 2009.
- BENTO, Nuno; FONTES, Margarida. Emergence of floating offshore wind energy: Technology and industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 99, p. 66–82, 2019.
- BELMARTINO, Andrea. Green & non-green relatedness: challenges and diversification opportunities for regional economies in Argentina. **Discussion Paper Series in Regional Science & Economic Geography**, n. 03, 2022.
- BOSCHMA, Ron. Proximity and Innovation: A Critical Assessment. **Regional Studies**, v. 39, n. 1, p. 61-74, 2005. DOI: 10.1080/0034340052000320887
- BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. Why is economic geography not an evolutionary science? Towards an evolutionary economic geography. **Journal of Economic Geography**, v. 6, p. 273–302, 2006. DOI:10.1093/jeg/lbi022
- BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. The Spatial Evolution of Innovation Networks: A Proximity Perspective. **Department of Economic Geography: Faculty of Geosciences**, 2010.
- BOSCHMA, Ron; et al. Towards a theory of regional diversification: combining insights from Evolutionary Economic Geography and Transition Studies. **Regional Studies**, 2017. DOI: 10.1080/00343404.2016.1258460
- BROEKEL, Tom; BOSCHMA, Ron. Knowledge networks in the Dutch aviation industry: the proximity paradox. **Journal of Economic Geography**, v. 12, n. 2, p. 409-433, 2012.
- CARPENTER, Juliet; et al. Innovation and new path creation: The role of niche environments in the development of the wind power industry in Germany and the UK. **European Spatial Research and Policy**, v. 19, 2012. DOI: 10.2478/v10105-012-0016-5
- CHANG, Victor; et al. The market challenge of wind turbine industry-renewable energy in PR China and Germany. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 166, n. 120631, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120631>
- CHEN, Yantai; et al. Evolution of collaborative innovation network in China's wind turbine manufacturing industry. **Int. J. Technology Management**, v. 65, n. 1/2/3/4, 2014.
- COOKE, Philip. Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. **Industrial and Corporate Change**, v. 10, n. 4, 2001.
- COOKE, Philip. Transition regions: Regional–national eco-innovation systems and strategies. **Progress in Planning**, v. 76, p. 105–146, 2011.
- COENEN, Lars; et al. Toward a spatial perspective on sustainability transitions. **Research Policy**, v. 41, p. 968–979, 2012.
- CONSOLI, Cristian; UYARRA, Elvira. Multi-level policy mixes and industry emergence: The case of wind energy in Spain. **Environment and Planning C: Politics and Space**, v. 35, n. 4, p. 661–683, 2017.
- DAWLEY, Stuart. Creating New Paths? Offshore Wind, Policy Activism, and Peripheral Region Development. **Economic Geography**, v. 90, n. 1, p. 91-112, 2014. DOI: 10.1111/ecge.12028
- DENYER, David; TRANFIELD, David. Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671–689). **Sage Publications Ltd**, 2009.
- DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, p. 147-162, 1982.
- ESSLETZBICHLER, Jürgen; RIGDY, David. Exploring evolutionary economic geographies. **Journal of Economic Geography**, 7, p. 549–571, 2007. DOI:10.1093/jeg/lbm022
- ESSLETZBICHLER, Jürgen. Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas. **Regional Studies**, v. 49, n. 5, p. 752–766, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00343404.2013.806793>
- FELDMAN, Maryann; KOGLER, Dieter. Stylized Facts in the Geography of Innovation. **Handbooks in Economics**, v. 01, 2010. DOI: 10.1016/S0169-7218(10)01008-7
- FURTADO, André; PERROT, Radhika. Innovation dynamics of the wind energy industry in South Africa and Brazil: technological and institutional lock-ins. **Innovation and Development**, v. 5, n. 2, p. 263-278, 2015. DOI: 10.1080/2157930X.2015.1057978
- FRENKEN, Koen; BOSCHMAN, Ron. A theoretical framework for evolutionary economic geography: industrial dynamics and urban growth as a branching process. **Journal of Economic Geography**, v. 7, p. 635–649, 2007. DOI:10.1093/jeg/lbm018
- GEBAUER, Heiko; BINZ, Christian. Regional benefits of servitization processes: evidence from the wind-to-energy industry. **Regional Studies**, v. 53, n. 3, p. 366-375, 2019. DOI: 10.1080/00343404.2018.1479523
- GERTLER, Meric. Tacit knowledge and the economic geography context, or the undefinable tacitness of being (there). **Journal of Economic Geography**, v. 3, p. 75–99, 2003. DOI: 10.1093/jeg/3.1.75
- GIBBS, David; O'NEILL, Kirstie. Future green economies and regional development: a research agenda. **Regional Studies**, 2016. DOI: 10.1080/00343404.2016.1255719

- GRILLITSCH, Markus; HANSEN, Teis. Green industry development in different types of regions. **European Planning Studies**, v. 27, n. 11, p. 2163-2183, 2019. DOI: 10.1080/09654313.2019.1648385
- HAIN, Daniel; et al. From catching up to industrial leadership: towards an integrated market-technology perspective. An application of semantic patent-to-patent similarity in the wind and EV sector. **Industrial and Corporate Change**, v. 29, n. 5, p. 1233-1255, 2020. DOI: 10.1093/icc/dtaa021
- HIDALGO, César. The Principle of Relatedness. In: Morales et al. (Eds.): ICCS 2018, SPCOM, p. 451-457, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96661-8\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96661-8_46)
- HEIDENREICH, Martin; MATTES, Jannika. Knowledge generation and diffusion in the German wind energy industry. **Industrial and Corporate Change**, v. 31, p. 1285-1306, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtac022>
- HONG, Cheng-Yih; CHANG, Hsiu-Ching. Comparing the Impact of Wind Power and Solar Power Investment on Industrial Development: Application of Dynamic Energy Industry-related Models. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 9, n. 6, p. 38-44, 2019.
- HSIAO, Cody; et al. Evaluation of contagious effects of China's wind power industrial policies. **Energy**, v. 238, n. 121760, 2022.
- IRFAN, Muhammad; et al. Critical factors influencing wind power industry: A diamond model-based study of India. **Energy Reports**, v. 5, p. 1222-1235, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.068>
- IRFAN, Muhammad; et al. Competitive assessment of Indian wind power industry: A five forces model. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 11, n. 063301, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5116237>
- IRENA. **Wind energy**. Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy>> 02/07/23.
- IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway**. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, v. 01, 2023.
- JIANG, Zihao; LIU, Zhiying. A wedge or a weight? The effect of policy on the productive efficiency of the Chinese wind power industry. **Renewable Sustainable Energy**, v. 13, n. 045901, 2021. DOI: 10.1063/5.0051214
- KITCHENHAM, Barbara. Procedures for Performing Systematic Reviews. **Keele University**, 2004.
- LI, Cun-Bin; et al. Comprehensive assessment of flexibility of the wind power industry chain. **Renewable Energy**, v. 74, p. 18-26, 2015.
- LUNDVALL, Bengt-Åke. National Innovation Systems: Analytical Concept and Development Tool. **Industry and Innovation**, v. 14, n. 1, p. 95-119, 2007.
- LUTZ, Salla; ELLEGAARD, Chris. The mobilization of supplier resources for complex projects: A case study of routines in the offshore wind turbine industry. **Australasian Marketing Journal**, v. 23, p. 107-116, 2015.
- MARTIN, Ron; SUNLEY, Peter. Path dependence and regional economic evolution. **Journal of Economic Geography**, v. 6, p. 395-437, 2006. DOI:10.1093/jeg/lbl012
- MACKNOON, Danny. Evolution, Path Dependence and Economic Geography. **Geography Compass**, v. 2, n. 5, p. 1449-1463, 2008. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2008.00148.x
- MALCZYK, Tomasz. Consistency of the Wind Power Industry, Including the Process of Sustainable Planning and Space Management. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 2, p. 699-707, 2016.
- MÄKITIE, Tuukka. Corporate entrepreneurship and sustainability transitions: resource redeployment of oil and gas industry firms in floating wind power. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 32, n. 4, p. 474-488. DOI: 10.1080/09537325.2019.1668553
- MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o Mito do Setor Público vs. Setor Privado**. São Paulo: Portfolio Perquin, 2013.
- MOLDVAY, János; et al. Assessing opportunities and constraints related to different models for supplying wind turbines to the South African wind energy industry. **Development Southern Africa**, v. 30, n. 3, p. 315-331. DOI: 10.1080/0376835X.2013.817305
- NELSON, Richard; WINTER, Sidney. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- NEWELL, Peter. Transformismo or transformation? The global political economy of energy transitions. **Review of International Political Economy**, 2018. DOI: 10.1080/09692290.2018.1511448
- NINNI, Augusto; et al. How home and host country industrial policies affect investment location choice? The case of Chinese investments in the EU solar and wind industries. **Journal of Industrial and Business Economics**, v. 47, p. 531-557, 2020. DOI:10.1007/s40812-020-00152-z
- NILSEN, Trond; NJØS, Rune. Emergence of new industries in peripheral regions: the role of narratives in delegitimation of onshore wind in the Arctic Finnmark region. **Regional Studies, Regional Science**, v. 9, n. 1, p. 603-617, 2022. DOI: 10.1080/21681376.2022.2122863
- NEFFKE, Frank; et al. How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions. **Economic Geography**, v. 87, n. 3, p. 237-265, 2015. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x
- OECD. **Manual de Oslo**. OECD, 1997.

- PACHECO, Desirée; et al. The Coevolution of Industries, Social Movements, and Institutions: Wind Power in the United States. **Organization Science**, v. 25, n. 6, p. 1609-1632, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.2014.0918>
- PAVITT, Keith. Knowledge about Knowledge since Nelson and Winter: A Mixed Record. **Electronic Working Paper Series Paper**, n. 83, SPRU, University of Sussex, June.
- PEREZ, Carlota. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Technology Governance and economic dynamics**, n. 20, p. 1–26, 2009.
- PEREZ, Carlota; L. SOETE, Luc. **Catching-up in technology: entry barriers and windows of opportunity**. In: G. Dosi, C. et al. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, p. 458-479, 1988.
- PITTAWAY, Luke; et al. Networking and innovation: a systematic review of the evidence. **International Journal of Management Reviews**, v. 5-6, n. 3-4, p. 137–168, 2004. DOI:10.1111/j.1460-8545.2004.00101.x
- PUEYO, Ana; et al. The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile. **Energy Policy**, v. 39, p. 4274–4283, 2011. DOI:10.1016/j.enpol.2011.04.045
- RALLET, Alain; TORRE, André. Is geographical proximity necessary in the innovation networks in the era of global economy? **GeoJournal**, v. 49, p. 373–380, 1999. DOI: 10.1023/a:1007140329027
- RABE, Wiebke; et al. China's supply of critical raw materials: Risks for Europe's solar and wind industries? **Energy Policy**, v. 101, p. 692–699, 2017.
- SCHUMPETER, Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. 1997.
- STEEN, Markus. Reconsidering path creation in economic geography: aspects of agency, temporality and methods. **European Planning Studies**, 24:9, 1605-1622, DOI: 10.1080/09654313.2016.1204427
- STEEN, Markus; HANSEN, Gard. (2018) Barriers to Path Creation: The Case of Offshore Wind Power in Norway. **Economic Geography**, v. 94, n. 2, p. 188-210. DOI: 10.1080/00130095.2017.1416953
- SIMMIE, James. Path Dependence and New Technological Path Creation in the Danish Wind Power Industry. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, 2012.
- SILVA, Pedro; KLAGGE, Britta. The Evolution of the Wind Industry and the Rise of Chinese Firms: From Industrial Policies to Global Innovation Networks. **European Planning Studies**, v. 21, n. 9, p. 1341-1356. DOI: 10.1080/09654313.2012.756203
- TEECE, David, et al. Dynamic Capabilities and Strategic Management. **Strategic Management Journal**, v.18, p. 509–533, 1997.
- THEYEL, Gregory. Spatial Processes of Industry Emergence: US Wind Turbine Manufacturing Industry. **European Planning Studies**, v. 20, n. 5, p. 857-870, 2012. DOI: 10.1080/09654313.2012.667929
- TRANFIELD, David; et al. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003.
- TRIPPL, Michaela; et al. Exogenous sources of regional industrial change: Attraction and absorption of non-local knowledge for new path development. **Progress in Human Geography**, v. 1, n. 19, 2017.
- TRUFFER, Bernhard; COENEN, Lars. Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. **Regional Studies**, v. 46, n. 1, p. 1-21, 2012. DOI: 10.1080/00343404.2012.646164
- TRUFFER, Bernhard; et al. The geography of sustainability transitions contours of an emerging theme. **Environ. Innovation Soc. Transitions**, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2015.07.004>
- UZZI, Brian. Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness. **Administrative Science Quarterly**, v. 42, n. 1., p. 35-67, 1997. DOI:10.2307/2393808
- ZHAO, Zhen-Yu; et al. Sustainable development of the wind power industry in a complex environment: a flexibility study. **Energy Policy**, v. 75, p. 392–397, 2014.
- ZHAO, Zhen-Yu; et al. Flexibility of wind power industry chain for environmental turbulence: A matching model study. **Renewable Energy**, v. 83, p. 375–383, 2015.
- ZHANG, Xiliang; et al. China's wind industry: policy lessons for domestic government interventions and international support. **Climate Policy**, v. 9, n. 5, p. 553-564. DOI: 10.3763/cpol.2009.0641
- ZHU, Shengjun; et al. How to jump further and catch up? Path-breaking in an uneven industry space. **Journal of Economic Geography**, v. 17, p. 521–545, 2017. DOI:10.1093/jeg/lbw047