

## Condicionantes de Invenções Verdes em Países da OECD<sup>1</sup>

Paulo Vitor Levate<sup>◦</sup>  
 Eduardo Gonçalves<sup>♦</sup>  
 Juliana Gonçalves Taveira<sup>♦♦</sup>

### RESUMO

Uma das principais preocupações atuais dos países ao redor do mundo tem sido encontrar fontes tecnológicas capazes de promover o crescimento sustentável. Prova disso é que as atividades de patenteamento em campos tecnológicos verdes vêm obtendo grande notoriedade, principalmente nos países mais desenvolvidos. As inovações tecnológicas verdes podem trazer benefícios ambientais tanto para a empresa quanto para o consumidor. No entanto, além de os fatores que influenciam no processo de transição de pauta tecnológica terem sido pouco discutidos, a existência de uma dependência de caminho (*path dependence*) tende a impedir o processo de transição de base tecnológica. Dessa forma, este artigo avalia os condicionantes, entre eles a influência do *path dependence*, no patenteamento de tecnologias verdes. Para tal, utilizou-se um painel de regiões de países da *OECD* e seus principais parceiros econômicos, no período 1990 a 2017. A análise das tecnologias é feita com base em dados de patentes, seguindo as classes da Classificação Internacional de Patentes (*IPC*) realizando estimações *GMM System* para dados em painel. Os resultados mostram a predominância de regiões dos Estados Unidos e Japão no patenteamento de tecnologias verdes. As estimações do modelo revelam a influência do passado tecnológico sobre o patenteamento em tecnologias verdes no presente, confirmando a ideia do *path dependence*, bem como estabelecem a relação de que maiores níveis de renda e desenvolvimento econômico, maiores transbordamentos de conhecimento e também a adoção de regulamentações ambientais, estão associados a um maior patenteamento verde.

**Palavras chave:** invenções verdes; meio ambiente; patentes; *path dependence*; *OECD*; *GMM System*.

### ABSTRACT

One of the main current concerns of countries around the world have been finding technological sources that are able to promote sustainable growth. Proof of this is that patenting activities in these technological fields have been gaining great notoriety, especially in more developed countries. Green technological innovations can bring environmental benefits to both the company and the consumer. However, in addition to the fact that the factors that influence the technological agenda transition process have been a little discussed, the existence of a path dependence tends to block the technology based transition process. Thus, this article assesses the conditions, including the influence of path dependence, in the patenting of green technologies. For this purpose, a panel of regions from OECD countries and their main economic partners was used, from 1990 to 2017. The analysis of the technologies is done based on patent data, following the classes of the International Patent Classification (*IPC*) performing *GMM System* estimates for panel data. The results show the predominance of regions in the United States and Japan in patenting green technologies. The model's estimates reveal the influence of the technological past on green technological production in the present, confirming the idea of path dependence, as well as establishing the relationship that higher levels of income and economic development, greater knowledge overflows and also the adoption of regulations are associated with greater green patenting.

**Keywords:** green inventions; environment; patents; path dependence; OECD; GMM System.

Área 9 - Economia Industrial e da Tecnologia

JEL Code: O31; Q55; R11

<sup>1</sup> Os autores agradecem o apoio de FAPEMIG, CNPq e CAPES.

<sup>◦</sup>Mestre em Economia pela UFJF, e-mail: [pvlevate@gmail.com](mailto:pvlevate@gmail.com). <sup>♦</sup>Professor da Faculdade de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e do PPGE, pesquisador do CNPq, e-mail: [eduardo.goncalves@ufjf.edu.br](mailto:eduardo.goncalves@ufjf.edu.br). <sup>♦♦</sup>Professora da Faculdade de Economia, UFJF, campus Governador Valadares, e-mail: [julianagtaveira@gmail.com](mailto:julianagtaveira@gmail.com)

## 1 Introdução

Há alguns anos cresceu a preocupação dos países em conseguir um crescimento econômico de forma considerada sustentável. Nesse sentido, Stokely (1998) destaca a tensão existente entre o processo de crescimento econômico e o meio ambiente, mostrando que a degradação ambiental não só prejudica o meio ambiente, como pode ser um fator limitador do crescimento endógeno. Diante disso, nota-se nas últimas décadas, um posicionamento de alguns países na promoção de tecnologias verdes (LEWIS; WISER, 2007; DORANOVA; COSTA; DUYSTERS, 2009). Para alcançar o desenvolvimento sustentável, é cada vez mais importante desenvolver e fortalecer a inovação em tecnologia verde, sob a orientação e apoio do governo por meio de políticas de financiamento (GUO *et al.*, 2018).

Uma empresa arca com os custos da gestão ambiental a curto prazo para cumprir a certificação ambiental, mas pode colher ganhos com a gestão ambiental a longo prazo (TENG *et al.*, 2014). A empresa depende do seu acúmulo de conhecimento passado para ser capaz de inovar no presente, ou seja, isso define a capacidade competitiva da empresa já que no presente ela só é capaz de inovar se inovou no passado. No entanto, a existência de um bloqueio e de uma dependência de caminho (*path dependence*) tendem a impedir um processo de transição para uma base tecnológica verde (ACEMOGLU *et al.*, 2012). Dependência de caminho e aprisionamento são conceitos usados para explicar o por que e como certas tecnologias podem dominar os mercados, apesar de possíveis ineficiências inerentes a elas. Estas ineficiências são frequentemente consideradas na literatura tanto como a incapacidade de atender às necessidades dos consumidores quanto à obtenção de padrões de crescimento sustentável a longo prazo (CECERE *et al.*, 2014).

O conceito de *path dependence*, originalmente desenvolvido por Arthur (1989), é elaborado com base no resultado da competição na adoção de tecnologias na presença de retornos crescentes. O autor considera que pequenos acidentes históricos podem fornecer a uma determinada tecnologia uma vantagem inicial sobre os concorrentes e isso pode criar *path dependence*, devido aos custos de mudança e, portanto, levar ao bloqueio de soluções alternativas. Com retornos crescentes na adoção, um caminho se torna dominante devido a processos de auto reforço e estados absorventes, e isso faz com que a economia se prenda a um resultado que não é necessariamente superior aos alternativos e que também não é facilmente alterado e previsível com antecedência (ARTHUR, 1989). Dessa definição, infere-se que tecnologias fósseis desfrutam de uma vantagem inicial da base tecnológica instalada, e, com isso, as empresas que inovaram muito nessas tecnologias no passado, acharão mais viável inovar em tecnologias fósseis no futuro (ACEMOGLU *et al.*, 2012). Da mesma forma, as que realizaram inovação em tecnologias verdes no passado têm mais chances de continuar neste caminho no futuro (AGHION *et al.*, 2012).

Dessa forma, o presente artigo pretende avaliar os condicionantes de invenções em tecnologias verdes e verificar a influência do *path dependence* no comportamento do patenteamento desse tipo de tecnologia para um painel de regiões de países da *OECD* e seus principais parceiros econômicos, no período 1990-2017. As tecnologias verdes analisadas neste trabalho são classificadas de acordo com dados de patentes, seguindo a Classificação Internacional de Patentes (*IPC*) do *IPC Green Inventory* da *World Intellectual Property Organization (WIPO)*

A análise do *path dependence* será realizada por meio de dados de patentes e, a fim de atingir o objetivo principal do trabalho, utilizou-se a estimação por *Generalized Method of Moments (GMM) System* para dados em painel. Esse método permite controlar a presença da endogeneidade decorrente da utilização dos *lags* temporais.

Os resultados descritivos principais encontrados mostram a predominância de regiões dos Estados Unidos e do Japão no patenteamento de tecnologias verdes. As estimações do *GMM System* revelam, principalmente, a influência do passado tecnológico voltado a produção de tecnologia verde para a produção tecnológica verde no presente, confirmando a ideia do *path dependence*, bem como estabelecem a relação de que maiores níveis de renda e desenvolvimento econômico (variável *dummy G7*) e também a adoção de regulamentações ambientais (variável *Kyoto*) estão associados a uma maior produção tecnológica e patenteamento verde.

Além da presente introdução, este estudo é dividido em mais quatro seções. A seção 2 é composta por uma revisão de literatura sobre as implicações do *path dependence*, conceito que norteia este trabalho, e

sua relação com a produção tecnológica e os fatores condicionantes desse processo. A seção 3, por sua vez, trata da metodologia a ser utilizada, *GMM System*, assim como da descrição do modelo e das variáveis a serem analisadas. A seção 4 traz uma análise descritiva dos dados e os principais resultados obtidos pelas estimações do modelo via *GMM System*. Finalmente, a seção 5, traz algumas conclusões obtidas com este trabalho.

## 2 O Processo de *Path Dependence* e os Condicionantes da Produção Tecnológica Verde

Um processo depende do caminho se o resultado em qualquer período depender do histórico e puder depender da ordem deles e requer um acúmulo de rotinas comportamentais, conexões sociais ou estruturas cognitivas em torno de uma instituição (PAGE, 2006). A dependência de caminho também pode ser entendida como um fenômeno que se obtém sob condições particulares e é o resultado de mecanismos evolutivos mais fundamentais, como seleção e aprendizado adaptativo (VROMEN, 1995).

Uma pesquisa na literatura realizada por Page (2006) sugere quatro causas relacionadas para ocorrência de dependência de caminho: retornos crescentes, auto reforço, *feedbacks* positivos e aprisionamento. Embora relacionadas, essas causas diferem. A questão dos retornos crescentes significa que, quanto mais uma escolha é feita ou uma ação é tomada, maiores são seus benefícios. Auto reforço significa que fazer uma escolha ou tomar uma atitude coloca em prática um conjunto de forças ou instituições complementares que incentivam essa escolha a ser sustentada. Com *feedbacks* positivos, uma ação ou escolha cria externalidades positivas quando essa mesma escolha é feita por outras pessoas. Finalmente, aprisionar significa que uma escolha ou ação se torna melhor que qualquer outra, porque um número suficiente de pessoas já fez essa determinada escolha.

Esse conceito foi desenvolvido originalmente por Arthur (1989), que discutiu o resultado da competição entre tecnologias na presença de retornos crescentes em sua adoção. Em particular, pequenos acidentes históricos podem fornecer a uma determinada tecnologia uma vantagem inicial sobre os concorrentes, o que pode criar dependência de caminho, devido aos custos de mudança e processos de auto reforço e, portanto, levar ao bloqueio de soluções alternativas.

Nesse sentido, a existência desse bloqueio e dessa dependência de caminho ocorrem pelo fato das tecnologias fósseis desfrutarem de uma vantagem inicial da base tecnológica instalada, e, com isso, as empresas que inovaram muito nessas tecnologias no passado acharão mais viável inovar nessas mesmas tecnologias no futuro. A razão para isso é de fácil entendimento, já que essa infraestrutura tecnológica já está presente, enquanto a infraestrutura produtiva de tecnologias verdes não está, portanto, existem benefícios econômicos imediatos e diretos ao investir em melhores maneiras de usar tecnologias sujas. Para reverter este quadro, os autores propõem uma política de regulação ambiental ideal que sempre use tanto um imposto sobre insumos (imposto sobre carbono), para controlar as emissões atuais, quanto subsídios de pesquisa ou impostos sobre lucros para influenciar a direção da pesquisa. Embora um imposto sobre o carbono, por si só, desencorajasse a pesquisa no setor de tecnologias fósseis, o uso desse imposto para reduzir as emissões atuais e influenciar o caminho da pesquisa levaria a distorções excessivas. Com isso, a política ótima depende menos de um imposto sobre o carbono e envolve o incentivo direto ao desenvolvimento de tecnologias verdes (ACEMOGLU *et al.*, 2012).

Uma das medidas para romper o *path dependence* passaria por estabelecer metas ambientais e protocolos a serem seguidos. Lovely e Popp (2008) concentram na adoção da regulamentação ambiental como o primeiro passo na difusão internacional de tecnologias verdes. Os autores estudam a adoção de regulamentos que limitam as emissões de dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio em usinas a carvão em 39 países, com a amostra incluindo países desenvolvidos e em desenvolvimento. Embora a adoção de tecnologias de controle de poluição em um país responda rapidamente à regulamentação ambiental, eles descobrem que a adoção das próprias regulamentações segue o padrão típico em forma de S observado em estudos de difusão de tecnologia. À medida que as tecnologias de controle da poluição melhoram, os custos da adoção da regulamentação ambiental diminuem. Como tal, eles descobrem que, com o tempo, os países adotam regulamentação ambiental em níveis mais baixos de renda *per capita*.

Dado os efeitos causados pelo fenômeno de *path dependence*, um corpo significativo da literatura indica que os investimentos em P&D e em capital humano, via nível educacional, e os transbordamentos

de conhecimento (*spillovers*) também são fatores importantes e capazes de alterar uma determinada trajetória produtiva de caráter inercial (HALL; HELMERS, 2010; POPP, 2010; AGHION *et al.*, 2012; GRAFSTRÖM; LINDMAN, 2016; LIU; LU; CHENG, 2018; LIU; WANG; GUO, 2019).

Em um dos trabalhos seminais sobre o assunto, já se obteve como resultado que os gastos com P&D tinham um efeito positivo nas invenções. A atividade inventiva, contudo, também dependeria do tamanho do setor e do mercado que atende. Em um mercado grande e em rápido crescimento, haverá maior potencial de talento e estímulo inventivos para melhorar a eficiência (POPP, 2006). Além do que, os subsídios à P&D servem como incentivo ao desenvolvimento de tecnologias verdes (POPP, 2010).

E seguindo no mesmo caminho de Popp (2006; 2010), Lanzi, Hascic e Johnstone (2012) constatam, para uma análise de 11 países da *OECD* no período 1978-2008, que a produção de energias renováveis tem aumentado mais do que os combustíveis fósseis e nucleares, o que está condicionado à maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Quanto ao capital humano, ele pode aumentar o nível de repercussões internacionais em P&D. O capital humano é tido como um fator importante para absorver a tecnologia avançada estrangeira e alcançar a transformação local. Em particular, a qualidade profissional e a qualidade ambiental de uma força de trabalho com educação superior aumentariam o nível de inovação tecnológica regional e da eficiência da inovação (LIU; WANG; GUO, 2019; LIU; LU; CHENG, 2018).

No entanto, a difusão de tecnologias verdes no setor de energia, por exemplo, ainda permanece limitada a um determinado nicho de países e é prejudicada por três razões principais. Primeiro, as tecnologias verdes, que recentemente testemunharam reduções nos custos, ainda não são totalmente competitivas em termos de custo com a geração de energia baseada em tecnologias fósseis, exceto em localizações geográficas favoráveis. Segundo, uma mudança na estrutura da produção de eletricidade enfrenta vários desafios, como a necessidade de atualizar a infraestrutura e os consideráveis custos irrecuperáveis nas usinas de energia existentes e menos eficientes. Terceiro, fontes de energia renovável, como a eólica e a solar, que hoje são as opções mais competitivas em termos de custo, são intermitentes e não esgotáveis (VERDOLINI; VONA; POPP, 2016; JOHNSTONE; HASCIC; POPP, 2008).

A difusão das tecnologias verdes, particularmente para os países em desenvolvimento, é atualmente uma das preocupações ambientais mais urgentes. Grande parte dessa preocupação vem da necessidade de lidar com as mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, permitir o desenvolvimento econômico. O rápido crescimento econômico em países como China e Índia não apenas aumenta as atuais emissões de carbono desses países, mas também resulta em altas taxas de crescimento de emissões nesses países. Em 1990, a China e a Índia foram responsáveis por 13% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>. Em 2004, esse número já havia subido para 22%, e projeta-se um aumento para 31% até 2030 (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2007).

Diante desse cenário, a literatura evidencia que a inovação em tecnologias verdes pode ter um caráter mais inovador e produtivo do que a alternativa convencional fóssil (NOAILLY; SHESTALOVA, 2013; BRAUN; SCHMIDT-EHMCKE; ZLOCZYSTI, 2010; SIMMIE; STERNBERG; CARPENTER, 2014; AGHION *et al.*, 2012). Exemplo bastante relevante é o encontrado em Dechezleprêtre *et al.* (2013) em que, usando dados de 1 milhão de patentes e 3 milhões de citações nos campos tecnológicos de produção de energia, celulares, combustível e iluminação no período 1950-2005, os autores constataram que as repercussões da inovação de baixo carbono são, em média, 43% maiores do que nas tecnologias fósseis convencionais.

Noailly e Smeets (2012) investigam os determinantes da mudança técnica direta no setor de geração de eletricidade, utilizando para tal análise patentes em tecnologias fósseis e verdes para cerca de sete mil firmas europeias no período 1978-2006. Para firmas especializadas, os principais fatores que impulsionaram a inovação foram os preços, o tamanho do mercado e os estoques anteriores de conhecimento. Para firmas mistas, a inovação é impulsionada, principalmente, por fortes dependências de trajetória, já que, para essas empresas, o estoque de conhecimento passado é o principal impulsionador e determinante da direção da inovação.

As patentes relacionadas a tecnologias verdes e fósseis têm aumentado ao longo do tempo. As patentes em tecnologias fósseis aumentaram constantemente entre 1978 e 1988 e depois entre 1992 e 2000, mas diminuíram nos últimos da década de 2000. O número de patentes verdes foi baixo por cerca de uma década

até 1992, depois começou a aumentar particularmente após 1995, chegando a 724 apenas em 2002, antes de recuar um pouco. Consequentemente, enquanto o número de patentes verdes representava apenas 10% do número de patentes em tecnologias fósseis registradas anualmente durante toda a década de 1980, essa proporção muda consideravelmente com o passar dos anos e atinge a marca de 60% no ano de 2005 (AGHION *et al.*, 2012).

O patenteamento nos campos de tecnologias verdes é dominado pelos países membros da *OECD*, com destaque para o Japão. Apesar disso, várias economias emergentes estão mostrando especialização em setores individuais, proporcionando mais concorrência e potencialmente mudando o futuro no cenário de patentes relacionadas a esses campos tecnológicos (STEINER; BATTISTELLI; MELÉNDEZ-ORTIZ, 2010; RUGGI *et al.*, 2017).

Johnstone, Hascic e Popp (2008) corroboram essa ideia de concentração de patenteamento, ao mostrarem o total de pedidos de patentes no setor de energia, para um grupo seletivo de países da *OECD*, que exibiram níveis significativos de inovação no período 1978-2003. Os autores verificaram que a Alemanha tem o maior número de patentes e a França e o Reino Unido têm pelo menos 200 pedidos de patentes durante o período. Além desses países, há áreas específicas nas quais cada país tem sido um inovador importante para categorias específicas de energias renováveis. Além da Alemanha, Japão e EUA, países que são consistentemente importantes para a maioria das fontes de energia renováveis, outros inovadores importantes para fontes específicas incluem Dinamarca (vento), Suíça (solar e geotérmica), França (geotérmica, biomassa e resíduos), Reino Unido (oceânica, biomassa e resíduos), Itália (oceânica), Holanda (vento) e Suécia (oceânica).

Wong *et al.* (2016), por sua vez, destacaram as especificidades dos padrões de inovações tecnológicas de baixo carbono em economias emergentes asiáticas no período 2000-2010. A combinação de calor e energia e o isolamento de edifícios, tanto para a China quanto para membros da *ASEAN*<sup>2</sup>, estão em posições vantajosas, mas com um crescimento contratual das referidas posições. Nota-se que a energia de biomassa, armazenamento de energia/eletricidade e ventilação de edifícios não são prioridades para ambos os casos. E, por fim, enquanto a China tem força crescente em energia fotovoltaica e LED, a *ASEAN* tem uma vantagem relativa em fontes de energia renovável (gás natural) e sistemas de armazenamento de energia renovável relacionados à energia solar.

Seguindo o mesmo caminho, Deshpande e Nagendra (2016) relatam, num estudo para a Índia, que a combinação de rápido crescimento na demanda de energia e a crescente dependência de carbono da energia resultaram no rápido aumento das emissões de CO<sub>2</sub> do uso de energia, com uma média de pouco mais de 5,5% ao ano. Os autores constataram que há um aumento no número de patentes arquivadas/publicadas sob a classe Y da *Cooperative Patent Classification (CPC)*<sup>3</sup> e um aumento ano a ano nos registros desde o ano de 2008. A maioria das tecnologias é originária dos EUA, seguida pelo Japão. A proteção por patentes para as tecnologias de mitigação das mudanças climáticas é buscada nos países desenvolvidos, que incluem países como EUA, Japão e Canadá seguidos pelos países em desenvolvimento que incluem Índia, China, Rússia e Brasil.

Lanjouw e Mody (1996) usaram dados de patentes dos Estados Unidos, Japão, Alemanha e mais 14 países de baixa e média renda para estudar mudanças tecnológicas para uma variedade de tecnologias verdes. Os autores constatam que a produção de tecnologias verdes aumenta à medida que os gastos com redução de poluição no país aumentam. Para os Estados Unidos, Japão e Alemanha, a maioria dessas patentes são tipicamente domésticas. Para os países em desenvolvimento, a maioria dessas patentes vem de países estrangeiros, destacando a importância da difusão, principalmente nas tecnologias de controle da poluição do ar, que normalmente são complexas. Por outro lado, enquanto as patentes de poluição do ar nos países em desenvolvimento vão para inventores de países desenvolvidos, as tecnologias de controle da poluição da água são mais frequentemente inovações locais, pois as condições locais afetam os benefícios potenciais dessas tecnologias.

---

<sup>2</sup> Tailândia, Malásia, Indonésia e Filipinas

<sup>3</sup> Refere-se à seção de Novos Desenvolvimentos Tecnológicos da Classificação Cooperativa de Patentes

### 3 Estratégia Empírica

A questão ambiental está sendo cada vez mais discutida bem como as formas de conter o avanço das mudanças climáticas. Neste contexto, um dos mecanismos de contenção seria uma pauta tecnológica baseada em tecnologias verdes, consideradas menos danosas ao meio ambiente. No entanto, não é fácil se desvencilhar de uma trajetória de produção já estabelecida, dado que a mudança gera custos pecuniários e em termos de aprendizado. O rompimento desta trajetória, no entanto, pode ocorrer com o emprego de uma política industrial de aprendizado ativa (MAZZUCATO, 2014). Dessa forma, a fim de investigar a existência de *path dependence* tecnológico, termo que norteia este trabalho, para um painel de regiões dos países da *OECD* e dos seus parceiros comerciais no período 1990-2017, o presente estudo foca no desempenho do patenteamento de tecnologias verdes de forma a verificar se esta atividade sofre influência dessa evolução ao longo dos anos.

Os modelos tradicionais, como os descritos em Acemoglu *et al.* (2012) e Aghion *et al.* (2012), racionalizam o *path dependence* por meio do estoque de conhecimento das empresas e consideram o impacto nos processos de inovação em tecnologias verdes e fósseis com base em alterações observadas nos preços dos combustíveis. Seguindo Aghion *et al.* (2012), o modelo proposto neste trabalho considera que o conhecimento relevante para a inovação em tecnologias verdes, depende tanto dos estoques próprios de inovação verde e fóssil do passado, quanto dos *spillovers* agregados de outras regiões no caso presente. As defasagens temporais apresentadas para algumas variáveis, em um e/ou dois períodos, visam refletir alguma possível resposta atrasada e mitigar os efeitos de *feedback* contemporâneos.

É importante considerar, portanto, o caráter *path dependent* da inovação, pois a difusão do conhecimento ao longo do tempo torna a inovação contemporânea dependente das inovações anteriores. Feldman e Florida (1994) mostram que a capacidade regional para inovar depende da infraestrutura tecnológica local, a qual é um legado histórico de concentrações especializadas de atividades de P&D, atividade industrial, e serviços de suporte, que se constroem ao longo do tempo. As evidências encontradas por estes autores confirmam que o desempenho contemporâneo das atividades de inovação em uma região é dependente de sua trajetória tecnológica passada.

Dessa forma, o presente artigo pretende avaliar os condicionantes de invenções em tecnologias verdes e verificar a influência do *path dependence* no comportamento do patenteamento desse tipo de tecnologia para um painel de regiões de países da *OECD* e seus principais parceiros econômicos, no período 1990-2017. O critério de região utilizado é o de NUTS, a saber, Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos, que é um sistema hierárquico de divisão do território em regiões. Esta nomenclatura foi criada pelo *Eurostat* no início dos anos 1970, visando a harmonização das estatísticas dos vários países em termos de recolha, compilação e divulgação de estatísticas regionais. A abordagem geográfica dos países, feita em regiões NUTS2, denota a relevância do transbordamento inter-regional do conhecimento para a realização das atividades inventivas em tecnologias verdes (STUCKI; WÖRTER, 2012).

O período analisado (1990-2017) permite uma visão mais ampla sobre todo o processo de produção de tecnologias verdes, após os principais acordos mundiais para redução da poluição mundial, como é o caso da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992) e o Protocolo de Kyoto (1997).

As tecnologias verdes analisadas neste trabalho são classificadas de acordo com dados de patentes, seguindo a Classificação Internacional de Patentes (*IPC*) do *IPC Green Inventory* da *World Intellectual Property Organization* (*WIPO*)<sup>4</sup>. A classificação de acordo com a *IPC Green Inventory* é realizada neste artigo assim como em Ayari, Blazsek e Mendi (2009) e Lazkano, Nostbakken e Pelli (2016).

O termo tecnologia verde, por sua vez, será colocado como feito pela Comissão Europeia (2008, p.11), referindo “à produção, assimilação ou exploração de uma novidade em produtos, processos de produção, serviços ou em métodos de gestão e negócios, que visa impedir ou reduzir substancialmente o risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos, incluindo energia” (FERNANDO; WAH, 2017).

---

<sup>4</sup>A utilização da classificação a 4 dígitos garante a minimização da variabilidade ocorrida nos códigos *IPC* durante o período de análise do trabalho (1990-2017).

### 3.1 Estimação Do Modelo

Objetivando incluir a trajetória passada no desempenho inovador das regiões, além das atividades de P&D e os *spillovers*, e outras variáveis correlatas, opta-se pela seguinte especificação do modelo a ser estimado:

$$\text{Verde}_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{Fóssil}_{i,t} + \beta_2 \text{Fóssil}_{i,t-1} + \beta_3 \text{Fóssil}_{i,t-2} + \beta_4 \text{Verde}_{i,t-1} + \beta_5 \text{Verde}_{i,t-2} + \beta_6 \text{P\&D}_{i,t} + \beta_7 \text{P\&D}_{i,t-1} + \beta_8 \text{G}_{i,t} + \beta_9 \text{O}_{i,t} + \beta_{10} \text{Q}_{i,t} + \beta_{11} \text{Spillovers}_{i,t-1} + \beta_{12} \text{Educ}_{i,t-1} + \beta_{13} \text{EmpInd}_{i,t} + \beta_{14} \text{G7} + \beta_{15} \text{Kyoto} + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

As principais variáveis utilizadas foram construídas a partir das bases de dados de patente da *OECD* (*OECD*, 2018), as quais são compostas por diversos bancos de dados com informações detalhadas sobre o depósito de patentes no Tratado de Cooperação de Patentes (*PCT*)<sup>5</sup>, abrangendo o período entre os anos de 1990 e 2017. Os dados de patentes utilizados, obtidos na *OECD*, levam em consideração os depósitos de patentes *PCT*, que possuem informações sobre a localização geográfica de origem do inventor, obtidas nas bases “*OECD REGPAT*” e “*OECD Triadic Patent Families*”. As informações contidas nessas bases abrangem todos os continentes e incluem os países membros da *OECD* e seus principais parceiros econômicos, divididos em regiões, classificadas de acordo com a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS2). Os demais dados, foram obtidos na “*OECD Citations Database*” e no “*OECD Data*”.

A variável dependente do modelo, descrita por  $\text{Verde}_{i,t}$ , considera o número de patentes depositadas na *European Patent Office (EPO)*, na região  $i$  no período  $t$ , que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia verde ( $\text{Verde}_{i,t}$ ), como os descritos na Tabela A.2, com base nos códigos *IPC Green Inventory* da *WIPO*.<sup>6</sup> Para determinar o comportamento da variável dependente do modelo, considera-se também o componente inercial da inovação e o conceito de *path dependence*, i.e., se o passado relacionado a produção de tecnologias tende a continuar e a expandir no presente, visto que é difícil e custoso se desviar dessa trajetória dado o conhecimento adquirido e o investimento realizado. Neste contexto, utiliza-se na equação (1) as defasagens temporais (*lags*) das tecnologias verdes ( $\text{Verde}_{i,t-1}$  e  $\text{Verde}_{i,t-2}$ ) e das tecnologias fósseis ( $\text{Fóssil}_{i,t-1}$  e  $\text{Fóssil}_{i,t-2}$ ).

A variável Fóssil é construída de forma semelhante à variável Verde. A variável Fóssil considera o número de patentes depositadas na *European Patent Office (EPO)* que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia fóssil, como descrito na Tabela A.1 do Apêndice. A produção de tecnologias verdes parece estar atrelada a produção de tecnologia fóssil. Isso ocorre pelo fato de a produção de tecnologias fósseis no passado e no presente ser capaz de gerar *know how* e aprendizado para inovações em outros tipos de tecnologias, proporcionadas pela estrutura de atividade inovativa já instalada (LEWIS, 2007). Assim, espera-se uma relação positiva com a produção tecnológica verde e atribui-se à variável Fóssil um caráter exógeno, dado que não se verifica uma relação de simultaneidade desta variável para com a variável dependente.

A variável  $\text{P\&D}_{i,t}$ , representa a intensidade de P&D, i.e., a proporção do PIB que é gasta em pesquisa e desenvolvimento na região  $i$  no período  $t$ . As atividades de P&D constituem a base do processo inovativo e um aumento nos recursos dedicados à pesquisa e desenvolvimento promove a inovação mas, ao mesmo tempo, um aumento na produção inovadora aumenta a produtividade e a lucratividade das atividades de pesquisas, induzindo a maiores gastos em pesquisa (CORSATEA; DALMAZZONE, 2012). Assim, espera-se uma relação positiva do P&D com a produção tecnológica verde e essa causalidade reversa observada, atribuiria um caráter endógeno à variável P&D.

As variáveis de Generalidade ( $\text{G}_{i,t}$ ) e Originalidade ( $\text{O}_{i,t}$ ) foram desenvolvidas por Jaffe, Trajtenberg e Handerson (1993) em seu trabalho sobre a apropriabilidade da pesquisa básica. Quanto mais geral é uma patente, mais o conhecimento gerado por ela é disseminado por diferentes campos tecnológicos. O índice ( $\text{G}_{i,t}$ ) computado é dado por, um menos o índice *Herfindahl* de citações no nível de 3 dígitos (*Nclass*).

<sup>5</sup> Do inglês, *Patent Cooperation Treaty*

<sup>6</sup> *World Intellectual Property Organization*, em português, Organização Mundial de Propriedade Intelectual



Quanto maior o índice, menos concentradas as citações em certos campos tecnológicos e mais geral a patente original. A originalidade ( $O_{i,t}$ ), por sua vez, é medida de maneira semelhante, porém usam-se as citações anteriores feitas pela patente original. Quanto mais campos tecnológicos a patente original citar, maior será o seu grau de originalidade. Em ambos os casos, maiores níveis implicam em melhores invenções e maior encorajamento a patentear, no entanto, a produção de tecnologias verdes não determina esses índices dado que é uma atividade de pesquisa relativamente específica. Dessa forma, e dado que estas duas variáveis visam demonstrar características inerentes do conhecimento regional, atribui-se um caráter exógeno às variáveis generalidade e originalidade.

A variável de generalidade  $G_{it}$  é calculada, portanto, como  $G_{it} = 1 - \sum_{n=1}^n \left( \frac{CR_{it,n}}{CR_{it}} \right)^2$ , onde  $n$  se refere às subclasses de patentes do *IPC*,  $CR_{it,n}$  é o número de citações recebidas pela região  $i$  no período  $t$  das patentes no campo  $n$  e  $CR_{it}$  é o número de citações totais recebidas pela patente  $i$  no período  $t$ . A variável de originalidade,  $O_{it}$ , é calculada como  $O_{it} = 1 - \sum_{n=1}^n \left( \frac{CF_{it,n}}{CF_{it}} \right)^2$ , onde  $CF_{it,n}$  é o grau de originalidade das patentes geradas pela região  $i$  no momento  $t$  e  $CF_{it}$  é o número total de citações feitas pela região  $i$  no período  $t$ .

A variável  $Q_{i,t}$ , representa um índice de qualidade das patentes da região e é calculada como  $Q_{it} = \frac{\text{Citações}_{it}}{\text{Patentes}_{it}}$ , consistindo numa razão entre o número de citações recebidas pelas patentes da região  $i$  e o total de patentes da região  $i$ . Utiliza-se o número de citações, por esta refletir a importância tecnológica de uma patente (invenção). Muitas citações anteriores significam que a patente serve como base para inovações subsequentes e é esperado que, quanto mais citações uma região receba, mais relevante é o conhecimento ali gerado (HARHOFF *et al.*, 1999). Como são citações gerais das patentes da região, considera-se tal variável como exógena na análise. Quanto maior o número de citações recebidas por uma patente, maior a qualidade e, com isso, maior a relevância do conhecimento ali realizado.

A variável  $Spillovers_{i,t}$ , por sua vez, descreve o número de citações realizadas por uma determinada região  $i$  a uma ou mais patentes oriundas de regiões externas a ela. Espera-se uma relação positiva dessa variável com o volume de patentes verdes, uma vez que os transbordamentos de conhecimento são muito importantes para indústrias que operam em tecnologias avançadas, como é o caso das tecnologias verdes (STUCKI; WÖRTER, 2012). Os *spillovers*, assim como as variáveis anteriores, Generalidade, Originalidade e Qualidade, propõem-se a captar características do conhecimento produzido na região. Dessa forma, atribui-se um caráter exógeno a variável *Spillovers*.

O nível de escolaridade da mão de obra da região  $i$  no período  $t$ , representado pela variável  $Educ_{i,t}$ , é definido como a proporção de mão de obra empregada que possui como qualificação mínima o terceiro grau. Áreas com mais capital humano têm maiores taxas de patenteamento *per capita*, fato que, por sua vez, tende a atrair mão de obra mais qualificada para a região (GLAESER; SAIZ, 2004). Entretanto, como já ressaltado anteriormente, as atividades envolvendo tecnologias verdes são bastante específicas. Então, a relação dessa variável com a dependente é considerada unidirecional (exógena) e espera-se que maiores e melhores níveis educacionais estejam relacionados a maior produção tecnológica verde.<sup>7</sup>

A variável  $EmpInd$  representa a proporção de empregados na indústria em relação a população da região  $i$  no período  $t$ . Tem-se aqui que, quanto maior o nível de atividade industrial da região  $i$  no período  $t$ , aliado a regulamentação ambiental, maior tende a ser o nível deecoinovação e a produção de tecnologias verdes (GREENSTONE, 2001). Esta variável, assim como a anterior, é considerada exógena no modelo econométrico do presente trabalho e sua relação para com a variável dependente tende a ser positiva.

Inclui-se ainda a *dummy*  $G7$ , que faz a distinção entre as regiões localizadas nos sete países mais ricos do mundo e aquelas dos demais países, assumindo valor igual 1 quando a região  $i$  pertence a um país membro do grupo dos sete países mais ricos do mundo, e zero, caso contrário<sup>8</sup>. Espera-se que os países mais ricos produzam mais invenções verdes. Por fim, a *dummy*  $Kyoto$  assume valor 1 para os países que ratificaram o Protocolo em questão, e zero para os que não ratificaram. A ideia aqui é a de que os países

<sup>7</sup> As variáveis Educação, P&D e *Spillovers* serão defasadas em um período. Estas defasagens mostram-se necessárias, pois estas variáveis denotam características que levam um certo tempo de aprendizado e maturação para produzirem seus efeitos.

<sup>8</sup> Grupo formado por Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido.



que assinaram o Protocolo passam a ter o compromisso em cumprir as exigências estabelecidas por esse mecanismo, investimento mais em tecnologia verde.

Destaca-se ainda  $\alpha_i$  como efeito fixo regional não observável e invariante no tempo e  $\varepsilon_{i,t}$  como erro idiossincrático, independente e identicamente distribuído (iid), com média zero e variância  $\sigma^2$ . Considera-se que  $\alpha_i$  e  $\varepsilon_{i,t}$  sejam independentes entre as regiões a cada período  $t$ . Cabe destacar que, a fim de evitar vieses advindos da escala da variável dependente, utiliza-se esta variável em logaritmo.

### 3.1.1 GMM System

A defasagem temporal da variável dependente é intrinsecamente endógena por ser correlacionada com o efeito não observado. Dessa forma, a presença dessa endogeneidade inviabiliza a estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), a qual produziria estimativas viesadas e inconsistentes. Assim, para minimizar tais vieses, optou-se por estimar o modelo via *GMM System*, o qual é adequado para estimar um painel ao permitir o controle das fontes de endogeneidade oriundas da utilização dos *lags* temporais.

A obtenção da primeira diferença elimina o efeito fixo por esse ser constante, permitindo estimativas consistentes. Arellano-Bond (1991) propôs estimar esta equação pelo método generalizado dos momentos (*GMM*), que minimiza as condições de momento da distribuição. Este método estima a equação (1) da maneira transformada abaixo:

$$\Delta Verde_{i,t} = \beta_0 + \Delta\beta_1 Fossil_{i,t} + \Delta\beta_2 Fossil_{i,t-1} + \Delta\beta_3 Fossil_{i,t-2} + \Delta\beta_4 Verde_{i,t-1} + \Delta\beta_5 Verde_{i,t-2} + \Delta\beta_6 P\&D_{i,t} + \Delta\beta_7 P\&D_{i,t-1} + \Delta\beta_8 G_{i,t} + \Delta\beta_9 O_{i,t} + \Delta\beta_{10} Q_{i,t} + \Delta\beta_{11} Spillovers_{i,t-1} + \Delta\beta_{12} Educ_{i,t-1} + \Delta\beta_{13} EmpInd_{i,t} + \Delta\beta_{14} G7 + \Delta\beta_{15} Kyoto + \Delta\alpha_i + \Delta\varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

Para aumentar a eficiência do estimador, Arellano e Bover (1995) propõem estimar as equações (1) e (2) simultaneamente, dando origem ao estimador *GMM System*.

## 4 Resultados

### 4.1 Análise Descritiva

As Tabelas 1 e 2 reportam um *ranking* das 10 regiões de maior notoriedade no patenteamento de tecnologias verdes nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2017. Juntas estas 10 regiões, que representam 1,5% do total de regiões, respondem por cerca de 40% do total de patentes em tecnologias verdes.

As Tabelas 1 e 2 apontam para a relevância de regiões dos Estados Unidos e Japão na produção tecnológica verde. Sendo, respectivamente, a primeira e a terceira maiores economias mundiais, contabilizam entre as 10 regiões com o maior número de patentes relacionado à produção de tecnologias verdes, de forma conjunta, sete regiões em 1990, 2010 e 2017 e nove em 2000, com destaque para a região da Califórnia (US06), que assume o topo do *ranking* em 1990 e 2000, e para a região de Southern-Kanto (JPD0), que assume tal posição em 2010 e 2017.

Cabe ressaltar ainda que de todas as regiões presentes no *ranking* nos quatro períodos, todas elas apresentam um crescimento significativo entre 1990 e 2000 e entre 2000 e 2010. Ademais, destaca-se ainda a região chinesa de Guangdong (CN19) como a sétima região em 2010. Esse destaque chinês está alicerçado na melhora dos níveis educacionais do país, que possibilitou melhores resultados nos processos de invenção e inovação. Aliado a isso, nota-se também o rápido crescimento econômico do país, fato que estaria pressionando a disponibilidade de recursos energéticos, levando a um grande aumento nos preços dos combustíveis fósseis e a um processo de transição para tecnologias verdes (LI *et al.*, 2008; VERBONG; GEELS, 2010).

**Tabela 1 – 10 Regiões da *OECD* com Maior Patenteamento em Tecnologias Verdes (1990 e 2000)**

<b>Região/País</b>	<b>1990</b>	<b>Região/País</b>	<b>2000</b>
Califórnia, USA	76	Califórnia, USA	908
Southern-Kanto, Japão	36	Southern-Kanto, Japão	370
Nova York, USA	31	Nova York, USA	280
Texas, USA	26	Texas, USA	224
Massachusetts, USA	25	Massachusetts, USA	215
Pennsylvania, USA	23	Capital Region, Coreia do Sul	160
Vitória, Austrália	20	Illinois, USA	150
Illinois, USA	20	Kansai Region, Japão	146
Düsseldorf, Alemanha	20	New Jersey, USA	145
Oberbayern, Alemanha	20	Washington, USA	137

Fonte: Elaboração Própria

**Tabela 2 – 10 Regiões da *OECD* com Maior Patenteamento em Tecnologias Verdes (2010 e 2017)**

<b>Região/País</b>	<b>2010</b>	<b>Região/País</b>	<b>2017</b>
Southern-Kanto, Japão	1432	Southern-Kanto, Japão	117
Califórnia, USA	952	Capital Region, Coreia do Sul	103
Capital Region, Coreia do Sul	573	Califórnia, USA	96
Kansai Region, Japão	529	Kansai Region, Japão	46
Toukai, Japão	474	Guangdong, China	36
JPZZ, Japão	264	Toukai, Japão	32
Guangdong, China	241	Nova York, USA	31
Nova York, USA	229	JPZZ, Japão	25
Washington, USA	202	Texas, USA	24
Île-de-France, França	193	Vitória, Austrália	23

Fonte: Elaboração Própria

Outro destaque positivo é a Coreia do Sul, que aparece com a Capital Region (KR01) na sexta posição em 2000, na terceira posição em 2010 e na vice-liderança do *ranking* em 2017. Isso ocorre, pois, o presidente sul coreano à época, Lee Myung-bak, apresentou um projeto de "Crescimento Verde de Baixo Carbono" como a nova visão da república central, promulgada no 60º aniversário da fundação da nação em 2008. Consiste em nove projetos-chave que visam garantir uma energia ambientalmente amigável e aumentar a independência energética. A Coreia do Sul tem por objetivo alcançar 100% de independência energética até 2050. Dados de 2007 mostram que 68% da energia primária no país é fornecida por carvão e petróleo. Portanto, essa dependência da tecnologia fóssil deve diminuir enquanto aumenta a tecnologia verde para um nível de 11% até 2030 (KIM *et al.*, 2012).

Pode-se notar que entre as regiões presentes no top 10, ainda se percebe que a Califórnia possui mais que o dobro de registros de patentes quando comparada à segunda colocada no *ranking*, Southern-Kanto (JPD0), nos anos de 1990 e 2000. No entanto, essa diferença diminui com o tempo, visto que em 2010 as duas regiões alternam de posição no topo do *ranking* e a diferença entre elas diminui e, em 2017, as regiões líderes de Southern-Kanto (JPD0) e Capital Region (KR01) possuem um número de registros de patentes bastante equilibrado. Destaca-se que as regiões da Califórnia (US06) e Southern-Kanto (JPD0) são as únicas que aparecem e permanecem com destaque ao longo de todo o período (1990-2017).

Nota-se também uma alteração sutil ao se comparar os anos de 1990 e 2000 com os anos de 2010 e 2017. Nos dois primeiros anos, revela-se o grande destaque dos Estados Unidos, enquanto que nos dois últimos anos, a notoriedade recai sobre regiões do Japão, China e Coreia do Sul. Esse último fato pode ser um indício de que esses países mais desenvolvidos do Oriente vêm tentando se enquadrar numa nova realidade econômica ao buscar novos processos tecnológicos que sejam menos danosos ao meio ambiente.

O destaque de regiões japonesas dá-se pela abordagem empregada no país sobre a inovação em tecnologias verdes, que consiste na cooperação estreita com o setor privado e o envolvimento ativo dos consumidores para promover mudanças no estilo de vida. O setor manufatureiro investiu fortemente em tecnologias verdes, o que é visto como um fator de competitividade. Ao mesmo tempo, o governo implementou várias medidas para estimular a demanda por tecnologias verdes e produtos relacionados, como incentivos fiscais para veículos menos poluentes e a política verde de compras públicas. O Japão também apoiou as exportações de tecnologias verdes por meio de atividades de cooperação internacional (CAPOZZA, 2011). Contudo, Veugelers (2012) destaca que apesar de o Japão ser o país que mais possui patentes verdes, detendo cerca de 30% de todas as patentes em tecnologias dessa categoria no mundo, segundo dados de 2009, sua produção estaria concentrada em energia solar fotovoltaica.

Os Estados Unidos, por sua vez, apesar de sua participação de 16% nas patentes verdes no mundo, ao contrário do Japão, não teriam nenhum grau de especialização no setor de energia, por exemplo (VEUGELERS, 2012). Quanto ao destaque da Califórnia (US06), houve um decreto durante o governo Schwarzenegger (2004-2011) que colocou como objetivo reduzir em 80% os níveis dos gases de efeito estufa de 1990 até 2050. Os meios colocados para atingir essa meta são, principalmente, os aumentos no imposto sobre o CO<sub>2</sub>, juntamente com alguns subsídios a fontes de energia renovável, como subsídios a energia eólica e a “carros ecológicos”, principalmente carros movidos a etanol (BERCK; BRAENNLUND, 2010).

Desse modo, os resultados reportados nas tabelas detalham que as regiões que mais patenteiam em tecnologias verdes em 1990 são praticamente as mesmas quando comparadas aos anos de 2000, 2010 e 2017. Estas constatações denotam que os processos de inovação/invenção ainda são bastante concentrados e que essa concentração se dá principalmente em regiões de nações desenvolvidas, como é o caso de Estados Unidos e Japão. No próximo item serão descritos os resultados obtidos com a estimação do modelo via *GMM System*.

## 4.2 Resultados *GMM SYSTEM*

Nesta seção serão apresentados os resultados da estimação do modelo representado pela equação (1) via método do *GMM System*. As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados referente às estimações com diferentes especificações.

Como deseja-se verificar como o patenteamento em campos de tecnologias verdes no presente pode ser explicado por variáveis como intensidade das atividades de P&D e nível educacional da força de trabalho, além das defasagens temporais relacionadas tanto aos campos tecnológicos verdes quanto aos fósseis, a Tabela 3 apresenta quatro especificações diferentes para a estimação da equação (1): a primeira, coluna 1, desconsidera as variáveis defasadas incluindo apenas as outras variáveis independentes, exógenas e endógenas, do modelo; a segunda coluna, além das consideradas na especificação (1) inclui-se as defasagens temporais apenas da variável dependente Verde; a terceira especificação, coluna 3, considera as mesmas variáveis da especificação (2) e acrescenta as defasagens temporais da variável Fóssil; e a última especificação, (4), acrescenta duas variáveis *dummy*, uma considera se a região é de um país pertencente ou não ao G7, e a outra considera a ratificação ou não do país ao Protocolo de Kyoto. Cabe ainda ressaltar

que uma parcimônia na escolha do número de *lags* evita a utilização de um número excessivo de instrumentos e permite um melhor ajuste do modelo como um todo<sup>9</sup>.

A validade dos resultados obtidos via *GMM System* foi testada pelos testes de Arellano Bond e Hansen. Como se pode observar ao final da Tabela 3, o teste Arellano Bond indica que as quatro estimações são consistentes, pois rejeitam a hipótese de ausência de autocorrelação serial de primeira ordem nos resíduos (AR(1)), a um nível de 1% de significância, e não rejeita esta hipótese para a autocorrelação de segunda ordem (AR(2)). O teste Hansen, por sua vez, para as quatro especificações, não rejeita a hipótese conjunta de exogeneidade dos instrumentos, indicando que estes são válidos e que a endogeneidade presente no modelo foi tratada adequadamente. Dessa forma, indica-se a adequação do método para o presente modelo.

**Tabela 3 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (1990-2017)**

Variáveis e Testes	(1)	(2)	(3)	(4)
Fóssil	0,042*** (0,012)	0,014** (0,006)	0,013*** (0,004)	0,013*** (0,004)
Qualidade	0,059* (0,034)	0,067*** (0,022)	0,068*** (0,021)	0,064*** (0,023)
Intensidade de P&D <sub>t</sub>	-0,023 (0,078)	0,045 (0,035)	0,056** (0,028)	0,059** (0,029)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,027 (0,046)	-0,018 (0,026)	-0,019 (0,021)	-0,021 (0,022)
Emprego Indústria <i>per capita</i>	-9,85e-05 (2,20e-04)	-2,62e-05 (1,14e-04)	-4,07e-05 (1,28e-04)	4,28e-05 (1,30e-04)
Educação <sub>t-1</sub>	0,017*** (0,005)	0,002 (0,002)	0,002 (0,002)	1,49e-04 (0,002)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,584*** (0,040)	0,203*** (0,053)	0,186*** (0,044)	0,196*** (0,044)
Generalidade	-0,051 (0,071)	-0,017 (0,061)	-0,024 (0,064)	-0,018 (0,063)
Originalidade	-0,132 (0,108)	-0,124 (0,073)	-0,115 (0,072)	-0,116 (0,072)
Verde <sub>t-1</sub>	-	0,536*** (0,114)	0,532*** (0,082)	0,512*** (0,090)
Verde <sub>t-2</sub>	-	0,110* (0,066)	0,134** (0,058)	0,138** (0,055)
Fóssil <sub>t-1</sub>	-	-	-3,74e-04 (0,005)	9,49e-04 (0,006)
Fóssil <sub>t-2</sub>	-	-	0,002 (0,003)	0,002 (0,003)
G7	-	-	-	0,117*** (0,046)
Kyoto	-	-	-	-0,132 (0,082)
Constante	-0,238* (0,148)	-0,009 (0,106)	-0,011 (0,103)	0,196 (0,170)
<i>Lags</i> instrumentalizados	2 e 3	2 e 3	2 e 3	2 e 3
Teste Sargan	0,000	0,575	0,981	0,976
Teste Hansen	0,076	0,291	0,884	0,900
Teste AR (1)	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
Teste AR (2)	0,587	0,275	0,322	0,361

Fonte: Elaboração própria a partir das estimações *GMM System* no Stata  
 Erro padrão robusto entre parênteses.  
 Nível de significância: \*\*\* p<0,01; \*\* p<0,05; \* p<0,1.

<sup>9</sup> Os testes Arellano Bond (AR(1) e AR(2)) indicaram que os resultados com *lags* mais altos violavam as hipóteses do estimador de *GMM System* e utilizavam um número exagerado de instrumentos.

Os coeficientes das defasagens temporais da dependente, nas especificações (2), (3) e (4), foram altamente significativos e mantiveram-se estáveis nas três estimações, confirmando que o progresso tecnológico em tecnologia verde pode ser *path dependent*, ou seja, depende do desempenho dessa tecnologia nos períodos anteriores. Esse resultado pode se dar pelo fato de os agentes não responderem prontamente aos incentivos e por existir um processo de aprendizado que afeta o progresso tecnológico futuro. Essa persistência temporal implica que a hegemonia regional na inovação em tecnologias verdes tende a permanecer ao longo do tempo (AGHION *et al.*, 2014).

Por outro lado, as defasagens temporais da variável independente Fóssil, incluídas na especificação (3) e (4), não obtiveram significância. Esse resultado mostra que um passado em produção de tecnologias fósseis parece não afetar o desempenho inventivo em tecnologias verdes no presente, reforçando a ideia de dependência do caminho verde.

Quanto à variável Fóssil, ela foi significativa e positiva em todas as especificações, indicando que a produção de tecnologia verde parece estar atrelada à produção de tecnologia fóssil atual. Isso ocorre, segundo Lazkano, Nostbakken e Pelli (2016), pois um preço mais alto dos combustíveis fósseis reduz a inovação não apenas nas tecnologias fósseis, mas também nas tecnologias verdes, havendo assim uma relação positiva entre ambas as tecnologias. Ademais, a produção de tecnologias fósseis no presente gera *know how* para inovações em outros tipos de tecnologias, proporcionadas pela estrutura de atividade inovativa já instalada. Trata-se, por exemplo, dos casos da China e da Índia. Estes países, que são fortemente dependentes do carvão e de outras tecnologias fósseis, vêm desenvolvendo, mesmo que de forma lenta e gradual, o desenvolvimento de tecnologia verde por meio de turbinas eólicas (LEWIS, 2007).

A variável Qualidade das patentes mostrou-se positiva e significativa nas quatro especificações. Como a qualidade está diretamente relacionada às citações, os resultados aqui encontrados mostraram que quanto mais citações as patentes de uma região recebem, mais relevante é o conhecimento que elas geram e maior a capacidade inovadora (ALMEIDA *et al.*, 2018). Esse resultado mostra que os locais de produção de tecnologia verde são também os locais com capacidade de produzir tecnologias de maior relevância em outras áreas do globo.

A variável Intensidade de P&D aparece como positiva e altamente significativa em pelo menos duas especificações. Este resultado denota a importância das atividades de pesquisa e desenvolvimento para os processos envolvendo tecnologias verdes e se assemelha àquele obtido por Johnstone, Hascic e Popp (2008). Neste, os autores encontraram evidências de que as atividades relacionadas à P&D têm um efeito positivo e significativo para estimular a inovação em tecnologias verdes.

A variável de Emprego na Indústria, não obteve significância estatística, o que pode indicar que o nível de atividade econômica da região não foi um fator preponderante para a produção e o desenvolvimento de tecnologias em campos tecnológicos verdes.

A variável Educação, por sua vez, se mostrou positiva e significativa em duas das quatro especificações do modelo. Este resultado revela a importância da qualificação da mão de obra no processo de inovação em tecnologias verdes. Exemplo desta afirmação, de acordo com Liu, Wang e Guo (2019) é o caso chinês, em que se verifica que o capital humano foi um fator importante para a China absorver a tecnologia avançada estrangeira e alcançar a transformação local. Em particular, as qualidades profissional e ambiental de uma força de trabalho com educação superior aumentariam o nível de inovação tecnológica regional.

A variável de *Spillovers*, afeta positiva e significativamente a produção de tecnologias verdes nas quatro especificações. Nesse sentido, Arfia, Hikkerovab e Sahu (2017) verificaram que o conhecimento externo proporciona aumento da capacidade de absorção de conhecimento das empresas e facilita a adaptação do mercado e, com isso, consegue-se afetar fortemente a melhoria dos projetos de invenção verde.

As variáveis de Generalidade e Originalidade, ambas não apresentaram significância estatística em nenhuma das especificações. A medida de generalidade capta o quão diversas são as áreas de patentes das regiões da origem. As regiões que recebem citações de diversas áreas tecnológicas produzem conhecimento que pode ser usado por muitos outros campos do conhecimento. Pelos resultados da Tabela 3, a região ser produtora de pesquisa nos campos de ciência básica não impacta na produção de invenções verdes. As tecnologias verdes são muito específicas, tendo natureza distinta da pesquisa básica, estando fortemente explicadas pela dependência do conhecimento existente em tecnologia verde (ARDITO; PETRUZZELLI;

ALBINO, 2016). A originalidade, por também representar uma medida de basicidade, não obteve significância estatística em nenhuma das especificações propostas.

Com respeito às *dummies*, o resultado obtido por G7 indica que regiões de países mais ricos e desenvolvidos estariam mais propensas à produção e ao desenvolvimento em campos tecnológicos verdes. Isso pode estar muito relacionado ao fato da ainda baixa adesão dos países aos acordos sobre meio ambiente e clima. O Protocolo de Kyoto, por exemplo, data do ano de 1997, fato que até então restringiria uma consciência ambiental a um pequeno número de países. A *dummy* Kyoto, nesse contexto, não revelou influência sob a variável dependente, dada a não significância dela para o modelo.

Considerar o período de 1990-2017 pode ocultar algumas especificidades de algum ano ou de um determinado período. Para tentar solucionar este problema, na Tabela 4 será feita a divisão do período em três subperíodos: 1990-1999, 2000-2009 e 2010-2017. Dessa forma, tenta-se captar algumas características particulares do comportamento das variáveis explicativas nesses diferentes anos.

**Tabela 4 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 realizadas por subperíodos (1990-2017)**

Variáveis e Testes	1990-1999	2000-2009	2010-2017
Fóssil	0,029** (0,014)	0,019*** (0,004)	-2,15e-04 (8,47e-04)
Qualidade	0,005* (0,003)	0,065*** (0,011)	0,041** (0,017)
Intensidade de P&D <sub>t</sub>	0,040* (0,025)	0,049** (0,025)	0,045 (0,127)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,077 (0,067)	0,044 (0,051)	-0,011 (0,128)
Emprego Indústria <i>per capita</i>	1,41e-04 (3,69e-04)	1,85e-04 (1,24e-04)	5,99e-05 (3,01e-04)
Educação <sub>t-1</sub>	-	-6,10e-04 (0,002)	0,003 (0,003)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	-	0,257 (0,247)	-
Generalidade	-	0,005 (0,071)	-
Originalidade	-	0,153 (0,168)	-
Verde <sub>t-1</sub>	0,728*** (0,075)	0,428*** (0,096)	0,804*** (0,166)
Verde <sub>t-2</sub>	0,236*** (0,060)	0,096 (0,071)	0,045 (0,123)
Fossil <sub>t-1</sub>	-0,007 (0,008)	0,006 (0,006)	1,69e-04 (4,74e-04)
Fossil <sub>t-2</sub>	-1,11e-04 (0,011)	-3,61e-05 (0,004)	0,008 (0,007)
G7	0,049* (0,031)	0,181*** (0,056)	0,079 (0,070)
Kyoto	-	0,280*** (0,094)	-0,083 (0,112)
Constante	0,052*** (0,017)	0,411** (0,176)	0,088 (0,190)
<i>Lags</i> instrumentalizados	2 e 3	2 e 3	2 e 3
Teste Sargan	0,217	0,975	0,042
Teste Hansen	0,553	0,559	0,170
Teste AR (1)	0,000***	0,000***	0,000***
Teste AR (2)	0,694	0,392	0,284

Fonte: Elaboração própria a partir das estimações *GMM System* no Stata

Erro padrão robusto entre parênteses.

Nível de significância: \*\*\* p<0,01; \*\* p<0,05; \* p<0,1.

Assim como nas especificações apresentadas na Tabela 3, a validade dos resultados obtidos para as especificações expostas na Tabela 4 via *GMM System* foi testada pelos testes de Arellano Bond e Hansen.

A variável Fóssil permanece significativa nos dois primeiros períodos, denotando que o patenteamento relacionado aos campos tecnológicos fósseis funciona como uma espécie de propulsor para tecnologias verdes. Entretanto, no último subperíodo 2010-2017, não se observa mais essa dependência, visto que a estrutura de produção tecnológica e de patenteamento já se encontra instalada e consolidada.

A variável Qualidade mostrou-se positiva e significativa a 1% nos três períodos considerados. Como a qualidade está diretamente relacionada às citações, os resultados aqui encontrados revelam que patentes com maior qualidade são frequentemente mais citadas, denotando uma maior relevância do conhecimento produzido e um maior potencial inventivo da região. No mesmo sentido, os *Spillovers* mostram que regiões mais propensas a absorver conhecimento advindo de outras regiões conseguem melhor se adaptar às condições estabelecidas pelo mercado e, com isso, afetam fortemente a melhoria dos processos relacionados à invenção verde.

A variável Intensidade de P&D mostrou-se significativa em pelo menos dois períodos. Isso pode estar atrelado ao ainda baixo número inicial de patentes nesses campos tecnológicos, levando assim a um maior esforço e dedicação para com as atividades de P&D. Seguindo o mesmo caminho da análise realizada na Tabela 3, as variáveis de Emprego na Indústria, Generalidade e Originalidade não tiveram efeito sob a atividade de patenteamento em tecnologias verdes pelos motivos já expostos anteriormente.

Em relação às defasagens da variável dependente e da independente Fóssil, que compreendem os *lags* 1 e 2, nota-se que as defasagens verdes se mostraram positivas e significativas a 1%, o que denota que a atividade de patenteamento em campos tecnológicos verdes de uma região está atrelada a um passado em que já realizava tal atividade. Desse modo, as defasagens fósseis não obtiveram significância, confirmando a não relevância do passado fóssil para as patentes relacionadas aos campos tecnológicos verdes.

Por fim, a variável *dummy* G7 confirma o fato de que países mais desenvolvidos possuem maior notoriedade no patenteamento relacionado a campos de tecnologia verde. A *dummy* Kyoto, e a significância estatística assumida por ela no contexto da Tabela 4, podem ser um indício da efetividade do Protocolo de Kyoto, visto que no período subsequente à data do Protocolo em questão, ano de 1997, esta tem efeito positivo e é significante estatisticamente a 1% em 2000-2010.

Dessa forma, os resultados obtidos pelas estimações do modelo via *GMM System*, confirmam que a produção regional de tecnologias verdes no presente está atrelada à existência de um passado que já realizava esse processo de produção tecnológica e o passado na produção de tecnologias fósseis, por sua vez, não teria nenhuma influência sobre o nível presente de produção nos campos tecnológicos verdes. Já a produção presente em campos tecnológicos fósseis pode constituir uma espécie de gatilho, servindo de base tecnológica para a produção presente de tecnologia verde.

## 5 Considerações Finais

O presente estudo pretendeu analisar os determinantes e o comportamento do patenteamento em campos tecnológicos verdes para regiões NUTS2 em diversos países, num painel de dados englobando o período 1990-2017. Além disso, buscou-se verificar se há uma dependência de caminho (*path dependence*) na produção desses tipos de tecnologia. As tecnologias verdes analisadas neste trabalho foram verificadas de acordo com dados de patentes, seguindo as classes da *IPC*, selecionando as classes tecnológicas verdes. A análise utiliza os depósitos de patentes incluídos no *PCT*. A análise do *path dependence* foi realizada por meio desses dados de patentes utilizando, para isso, a estimação por *GMM System* para dados em painel. A opção por esse método ocorreu pois permite controlar a presença da endogeneidade decorrente da utilização dos *lags* temporais.

O desenvolvimento de pesquisas em inovação verde objetiva o aproveitamento dos recursos naturais, incluindo gerenciamento dos resíduos; agricultura; energia solar; energia eólica e biocombustíveis. Constatou-se que o crescimento das áreas com maior quantidade de patentes pode estar condicionado aos gastos e investimentos realizados pelo governo e/ou empresas. A identificação das tecnologias verdes por região destaca, principalmente, regiões dos Estados Unidos e Japão. Entre a produção de tecnologias fósseis, também se destacam regiões da Alemanha. Quanto maior o investimento na infraestrutura científica



e tecnológica aliando ao nível de desenvolvimento econômico da região/país, maior tendem a ser os resultados de desenvolvimento de pesquisas por eles.

Dessa forma, a análise descritiva e as estimações via *GMM System* mostraram que regiões tradicionalmente verdes seguiram por esse caminho ao longo do tempo. As variáveis que mais se destacaram e contribuíram para esses resultados foram a Qualidade das patentes e os *Spillovers*, denotando a relevância das invenções e inovações anteriores e da interação inter-regional para ocorrência de transbordamento de conhecimento. Também se destacou a *dummy* G7, revelando que a produção tecnológica e o patenteamento verde estão condicionados a regiões mais desenvolvidas.

Por fim, a análise das patentes verdes apresenta uma prévia de como será o cenário das pesquisas em inovação tecnológica verde, e uma prova de que políticas específicas e aparatos institucionais podem ser bem-sucedidos para influenciar nesse processo é que a variável referente ao Protocolo de Kyoto, mostrou que a ratificação do mesmo parece ter influenciado de maneira significativa o patenteamento nesses mesmos campos nos períodos de tempo subsequentes.

Apesar de as patentes serem um dos principais indicadores usados para medir a inovação, refletindo o desempenho inovador das empresas e economias, elas, no entanto, podem consistir numa medida imperfeita de inovação, visto que nem todas as invenções são necessariamente patenteadas. Com isso, infere-se que muitas tecnologias verdes já desenvolvidas podem ainda estar desconhecidas intencionalmente ou não. Desse modo, propõe-se para uma pesquisa futura ou continuação deste trabalho a busca de outras formas alternativas capazes de mensurar as atividades inventiva e inovativa nesse nicho de produção específico.

O presente trabalho mostrou os fatores condicionantes capazes de influenciar a produção em campos tecnológicos verdes, estando assim em consonância com a preservação do meio ambiente e mitigação de mudanças climáticas. O trabalho pode contribuir para a formulação de políticas públicas mais direcionadas e de ações que promovam o desenvolvimento das redes de colaboração em pesquisa entre regiões. O investimento em pesquisa e desenvolvimento e nas universidades, em nível regional, visam promover a pesquisa universitária e, com isso, aperfeiçoar a formação de capital humano e colocar em prática políticas industriais de aprendizado tecnológico. Esses fatores empregados conjuntamente são fundamentais para romper o *path dependence*.

Apesar das ações e programas existentes, das pesquisas em andamento atualmente e dos marcos institucionais, estes parecem ainda não serem suficientes para resolver uma série de problemas relacionados à energia, agricultura, biodiversidade e pobreza. A resistência de alguns países, em adotar as medidas requeridas e necessárias, tende a atrapalhar o processo como um todo. Deve-se, portanto, dar continuidade ao fomento da produção tecnológica verde, que além de proporcionar ganhos ambientais, tende a promover ganhos também nos âmbitos econômico e social.

## Referências

- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURSZTYN, L.; HEMOUS, D. (2012). The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, 102(1), p. 131-166.
- AGHION, P.; DECHEZLEPRÊTRE, A.; HEMOUS, D.; MARTIN, R.; VAN REENEN, J. (2012). Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), p. 1-51.
- AGHION, P.; HEPBURN, C.; TEYTELBOYM, A.; ZENGHELIS, D. (2014). Path dependence, innovation and the economics of climate change. In *Handbook on Green Growth*. Edward Elgar Publishing.
- ALMEIDA, B. P.; GONÇALVES, E.; SURIANE, A.; REIS, R. C. Internalization of knowledge spillovers by regions: a measure based on self-citation patents. *Anais do XLVI Encontro Nacional de Economia*.
- ARDITO, L.; PETRUZZELLI, A. M.; ALBINO, V. (2016). Investigating the antecedents of general purpose technologies: A patent perspective in the green energy field. *Journal of Engineering and Technology Management*, 39, 81-100.
- ARELLANO, M.; BOND, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The review of economic studies*, v. 58, n. 2, pp. 277-297.
- ARELLANO, M.; BOVER, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of econometrics*, v. 68, n. 1, pp. 29-51.

- ARFI, W. B.; HIKKEROVA, L.; SAHUT, J. M. (2018). External knowledge sources, green innovation and performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 129, 210–220.
- ARTHUR, W. B. (1989) Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events'. *Econ J* 99: 116–131.
- AYARI, N.; BLAZSEK, S.; MENDI, P. (2011). Renewable energy innovations in Europe: a dynamic panel data approach. *Applied Economics*, 44(24), 3135–3147.
- BERCK, P.; BRÄNNLUND, R. (2010). Green regulations in California and Sweden. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 3(1), 49–61.
- BÖHRINGER, C.; MOSLENER, U.; OBERNDORFER, U.; ZIEGLER, A. (2012). Clean and productive? Empirical evidence from the German manufacturing industry. *Research Policy*, 41(2), 442–451.
- BRAUN, F. G.; SCHMIDT-EHMCKE, J.; ZLOCZYSTI, P. (2010). *Innovative activity in wind and solar technology: Empirical evidence on knowledge spillovers using patent data*.
- CAPOZZA, I. (2011). Greening Growth in Japan. *OECD Environment Working Papers No. 28*.
- CECERE, G.; CORROCHER, N.; GOSSART, C.; OZMAN, M. (2014). Lock-in and path dependence: an evolutionary approach to eco-innovations. *Journal of Evolutionary Economics*, 24(5), p. 1037–1065.
- CORSATEA, T. D. (2014). Technological capabilities for innovation activities across Europe: evidence from wind, solar and bioenergy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37.
- CORSATEA, T.; DALMAZZONE, S.; (2012). *A regional analysis of renewable energy patenting in Italy*.
- DECHEZLEPRÊTRE, A.; MARTIN, R.; MOHNEN, M. (2014). *Knowledge spillovers from clean and dirty technologies*.
- DESHPANDE, N. A., NAGENDRA, A. (2016). *Climate Mitigation Technologies–Perspective Based on Patents*.
- DORANOVA, A., COSTA, I.; DUYSTERS, G. (2010). Knowledge base determinants of technology sourcing in clean development mechanism projects. *Energy Policy*, 38(10), 5550–5559.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (2007). *International Energy Outlook: 2007*. U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- FELDMAN, M. P; FLORIDA, R. The geographic sources of innovation: technological infrastructure and product innovation in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 84, n.2, pp. 210-229, 1994.
- FERNANDO, Y.; WAH, W. X. (2017). The impact of eco-innovation drivers on environmental performance: Empirical results from the green technology sector in Malaysia. *Sustainable Production and Consumption*, 12, p. 27–43.
- GLAESER, E. L.; SAIZ, A. (2003). *The rise of the skilled city*. National Bureau of Economic Research.
- GRAFSTRÖM, J.; LINDMAN, Å. (2017). Invention, innovation and diffusion in the European wind power sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 179–191.
- GREENSTONE, M. (2002). The impacts of environmental regulations on industrial activity: Evidence from the 1970 and 1977 clean air act amendments and the census of manufactures. *Journal of Political Economy*, 110(6), 1175–1219.
- GUO, Y.; XIA, X.; ZHANG, S.; ZHANG, D. (2018). Environmental regulation, government R&D funding and green technology innovation: evidence from China provincial data. *Sustainability*, 10(4), 940.
- HALL, B. H.; HELMERS, C (2010). The role of patent protection in (clean) technology transfer, *Santa Clara High Technology Law Journal*, 26(4), p. 487-532.
- HARHOFF, D., NARIN, F., SCHERER, F. M., & VOPEL, K. (1999). Citation frequency and the value of patented inventions. *Review of Economics and Statistics*, 81(3), 511–515.
- JAFFE, A, TRAJTENBERG, M, HANDERSON, R. (1993). Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 108, n. 3, p. 577–598.
- JOHNSTONE, N.; HAŠČIČ, I.; POPP, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133–155.
- KALKUHL, M.; EDENHOFER, O.; LESSMANN, K. (2012). Learning or lock-in: Optimal technology policies to support mitigation. *Resource and Energy Economics*, 34(1), 1–23.
- KIM, Y. S.; YOON, Y. M.; KIM, C. H.; GIERSDORF, J. (2012). Status of biogas technologies and policies

- in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3430–3438.
- LANJOUW, J. O.; MODY, A. (1996). Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. *Research Policy*, v. 25, p. 549-571.
- LANZI, E.; HAŠČIĆ, I.; JOHNSTONE, N. (2012). *The determinants of invention in electricity generation technologies*.
- LAZKANO, I.; NØSTBAKKEN, L.; PELLI, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. *European Economic Review*, 99, 113–129.
- LEWIS, J. I. (2007). Technology acquisition and innovation in the developing world: Wind turbine development in China and India. *Studies in Comparative International Development*, 42(3–4), 208–232.
- LEWIS, J. I.; WISER, R. H. (2007). Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy Policy*, Volume 35, p. 1844–1857.
- LI, Y. A.; WHALLEY, J.; ZHANG, S.; ZHAO, X. (2012). The higher educational transformation of China and its global implications. In *The Globalization of Higher Education* (pp. 135–162). Springer.
- LIU, C.; WANG, T.; GUO, Q. (2019). Does Environmental Regulation Repress the International R&D Spillover Effect? Evidence from China. *Sustainability*, 11(16), 4353.
- LIU, J.; LU, K.; CHENG, S. (2018). International R&D spillovers and innovation efficiency. *Sustainability*, 10(11), 3974.
- LOVELY, M.; POPP, D. (2011). Trade, technology, and the environment: Does access to technology promote environmental regulation? *Journal of Environmental Economics and Management*, 61(1), 16–35.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. (2006) Path dependence and regional economic evolution, *Journal of Economic Geography*, 6(4), pp. 395–437.
- MAZZUCATO, M. *O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. Portfolio-Penguin, 2014.
- NOAILLY, J.; SHESTALOVA, V. (2017). Knowledge spillovers from renewable energy technologies: Lessons from patent citations. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 22, 1–14.
- NOAILLY, J.; SMEETS, R. (2015). Directing technical change from fossil-fuel to renewable energy innovation: An application using firm-level patent data. *Journal of Environmental Economics and Management*, 72, 15–37.
- OECD, Patents Dataset, March 2018.
- PAGE, S. E. (2006). Path dependence. *Quarterly Journal of Political Science*, 1(1), 87–115.
- POPP, D. (2006), “International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOx and SO2 regulation in the U.S., Japan, and Germany”, *Journal of Environmental Economics and Management*; 51; 225–237.
- POPP, D. (2010). Innovation and Climate Policy. *National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 15673*.
- RUGGI, M.; KOHN, T. A. P. M. T.; NASCIMENTO, T. C.; TORRES, R. L. (2017). *Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: 20 anos de registros de patentes sustentáveis*.
- SIMMIE, J.; STERNBERG, R.; CARPENTER, J. (2014). New technological path creation: evidence from the British and German wind energy industries. *Journal of Evolutionary Economics*, 24(4), 875–904.
- STEIN, A. L. (2016). Breaking Energy Path Dependencies. *Brook. L. Rev.*, 82, 559.
- STEINER, A.; BATTISTELLI, B.; MELÉNDEZ-ORTIZ, R. *Anais da Conferência da ONU sobre Mudança Climática em Copenhague em dezembro de 2009*. Patents and clean energy: bridging the gap between evidence and policy - Final Report. Relatório elaborado conjuntamente pela o Programa das Nações Unidas para o Meio (UNEP), o Instituto Europeu de Patentes (EPO) e o Instituto Internacional de Centro de Comércio e Desenvolvimento Sustentável (ICTSD).
- STOKEY, N. L. (1998). Are There Limits to Growth? *International Economic Review* 39(1): p. 1–31.
- STUCKI, T.; WORTER, M. (2012). *Determinants of Green Innovation: The Impact of Internal and External Knowledge*.
- TENG, M. J.; WU, S. Y.; CHOU, S. J. H. (2014). Environmental Commitment and Economic Performance–

- Short-Term Pain for Long-Term Gain. *Environmental Policy Governance* 24 (1), 16–27.
- VERBONG, G. P. J.; GEELS, F. W. (2010). Exploring sustainability transitions in the electricity sector with socio-technical pathways. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(8), 1214–1221.
- VERDOLINI, E.; VONA, F.; POPP, D. (2016). Bridging the gap: Do fast-reacting fossil technologies facilitate renewable energy diffusion? *Energy Policy*, 116, 242–256.
- VEUGELERS, R. (2012). Which policy instruments to induce clean innovating? *Research Policy*, 41(10), 1770–1778.
- VROMEN, J. (1995). *Economic Evolution: An Enquiry into the Foundations of New Institutional Economics*, London: Routledge.
- WIPO (World Intellectual Property Organization). *Guide to the international patent classification*. (2018). Disponível em: [http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide\\_ipc.pdf](http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide_ipc.pdf)
- WONG, C.-Y.; KENG, Z.-X.; MOHAMAD, Z. F.; AZIZAN, S. A. (2016). Patterns of technological accumulation: The comparative advantage and relative impact of Asian emerging economies in low carbon energy technological systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 977–987.

## Apêndice

**Tabela A.1 – Grupos de Patentes Fósseis**

Tecnologia	Descrição	Classes IPC
Carvão	Produção de gases combustíveis por carburação de ar ou outros gases sem pirólise	C10J
Motores	Plantas de motores a vapor; acumuladores de vapor; instalações de motores não previstas de outra forma; motores que utilizam fluidos ou ciclos de trabalho especiais	F01K
Turbinas	Instalações de turbinas a gás; entradas de ar para instalações de propulsão a jato; controlar o suprimento de combustível em instalações de propulsão a jato com ar respirável	F02C
Gás	Motor de deslocamento positivo a gás quente ou produto de combustão; Utilização de calor residual de motores de combustão, não previsto em contrário	F02G
Vapor	Geração de vapor	F22
Queimadores	Aparelhos de combustão; processos de combustão	F23
Fornos	Fornalhas; fornos; réplicas	F27

Fonte: Noaily e Shestalova (2013)

**Tabela A.2 – Grupos de Patentes Verdes**

Classes Tecnológicas Verdes	IPC Relacionados
Produção de Energia Alternativa	
Biocombustíveis	C10L, C02F, C12M, C12P, C12N, A01H, F02C
Pilha de combustível	H01M, C10B, C10J
Energia aproveitada de resíduos artificiais	C10L, C10J, F23B, F23G, B09B
Energia hídrica	E02B, F03B, F03C, B63H, F03G
Energia eólica	F03D, H02K, B63B, E04H, B60K, B63H F24S, H02S, H01L, H02S, B60K, F03G, E04D, F22B, F24V, F25B, F26B, G02B, F24T
Energia solar	F24T, F01K, F24F, H02N, F25B, F03G
Energia geotérmica	F24T, F24V, F24D, F24H, F25B F01K, F01N, F02G, F25B, F02C, F25B, C02F, D21F, F22B, F23G, F24F, F27D, F28D, C10J
Outra produção ou utilização de calor natural	F03G
Utilização de calor residual	
Dispositivos para produção de energia mecânica a partir de energia muscular	
Transporte	
Veículos em geral	B60K, B60W, F16H, H02K, B60L, F02B, F02M, H02J, B61D, B64G
Propulsão de embarcação marítima	B63H
Conservação de Energia	
Armazenamento de energia elétrica	B60K, B60W, H01M, H01G, H02J
Circuito de fornecimento de energia	H02J, B60L, G01R, C09K, F24H, F28D
Iluminação de baixa energia (LED)	F21K, F21L, H01L, H05B
Isolamento térmico de edifícios, em geral	E04B, E04C
Acumulador de energia mecânica	F03G, B60K, B60L
Gestão de Resíduos	
Depósito de resíduos	B09B, B65F
Tratamento de resíduos	A61L, A62D, G21F, B03B, B09C, D21B, F23G A43B, B22F, C04B, C05F, C08J, C09K, C11B, C14C, C21B, C25C, D01F
Reutilização de materiais residuais	
Agricultura/Florestal	
Técnicas florestais e Técnicas de irrigação alternativas	A01G
Pesticidas alternativos	A01N
Melhoria do solo e adubos de fontes residuais	C09K, E02D, C05F
Aspectos Administrativos, Regulamentares ou Design	
Migração pendular / Comércio e emissão de carbono	G06Q, G08G
Projeto de estrutura estática	E04H
Geração de Energia Nuclear	
Engenharia nuclear	G21

Fonte: IPC Green Inventory (WIPO)