

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ECONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECONOMIA APLICADA**

**PAULO VITOR LEVATE**

**CONDICIONANTES DE INVENÇÕES VERDES EM PAÍSES DA OECD**

**PAULO VITOR LEVATE**

**CONDICIONANTES DE INVENÇÕES VERDES EM PAÍSES DA OECD**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves  
Coorientadora: Profa. Dra. Juliana Gonçalves Taveira

**JUIZ DE FORA**  
**2020**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática  
da Biblioteca Universitária da UFJF,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Levate, Paulo Vitor.

Condicionantes de invenções verdes em países da OECD / Paulo Vitor  
Levate. -- 2020.

88 f.

Orientador: Eduardo Gonçalves

Coorientadora: Juliana Gonçalves Taveira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de  
Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia,  
2020.

1. Invenções verdes. 2. Meio ambiente. 3. Patentes. 4. Path dependence.  
5. OECD. I. Gonçalves, Eduardo, orient. II. Gonçalves Taveira, Juliana,  
coorient. III. Título.

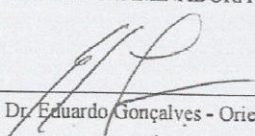
Paulo Vitor Levate

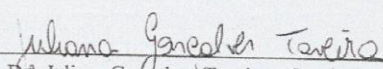
Condicionantes de Invenções Verdes nos Países da OECD

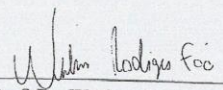
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia Regional Urbana/Economia da Tecnologia

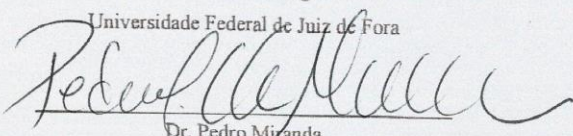
Aprovada em 15 de junho de 2020

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. Eduardo Gonçalves - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

  
Prof. Dr. Juliana Gonçalves Taveira - Coorientadora  
Universidade Federal de Juiz de Fora - Campus GV

  
Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria  
Universidade Federal de Juiz de Fora

  
Dr. Pedro Miranda  
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado com a oportunidade de progredir e chegar até aqui. Foram muitos momentos difíceis e aparentemente insuperáveis, mas Ele me mostrou que nada é impossível.

Agradeço aos meus pais, Bete e Luiz, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos valiosos, pelo respeito, pelo exemplo, por terem me apoiado em todos os momentos. A eles eu devo quem eu sou. À toda minha família, que sempre foi meu refúgio, meu porto seguro e que sempre me deu todo o apoio.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Eduardo Gonçalves, pelas valiosas orientações, pela boa vontade, pela paciência e por sempre esperar o melhor de minha parte. À minha co-orientadora, Dra. Juliana Taveira, pela paciência, pelas sugestões e pelas inúmeras vezes que me auxiliou na manipulação dos dados e do método no *Stata*. Sua ajuda foi essencial.

Agradeço aos professores Dr. Weslem Faria, pela disposição em fiscalizar toda a evolução do meu trabalho e pelas contribuições de grande valia, e Dra. Rosa Montenegro, por contribuir em pontos importantes que foram fundamentais para melhoras neste estudo.

Agradeço também aos demais professores do programa de pós-graduação pelos excelentes ensinamentos, que contribuíram de forma significativa para meu crescimento intelectual e pessoal. Aos funcionários do PPGE, pela disposição que sempre tiveram em nos ajudar.

Agradeço aos meus amigos que, de perto ou de longe, acompanharam toda esta dura jornada. A todos os meus colegas da turma de mestrado/doutorado 2018, pela convivência tão feliz e harmoniosa nesse período e pela solidariedade e companheirismo nos momentos difíceis. Foi muito bom viver tudo isso com vocês.

Agradeço aos grandes profissionais e amigos Dra. Elimar Jacob, Filipe Franco e Gustavo Couri, por terem contribuído de forma tão importante no equilíbrio da minha saúde física e emocional, nesse período marcado por tantos altos e baixos.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

Uma das principais preocupações atuais dos países ao redor do mundo tem sido encontrar fontes de energia mais limpas e promover, assim, o crescimento sustentável. Prova disso é que as atividades de patenteamento nesses campos tecnológicos 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. Os efeitos positivos dessas inovações podem assumir várias formas, tais como a diminuição do consumo de energia por unidade do produto e a redução de emissão de carbono e da geração de resíduos ou poluição. No entanto, além de os fatores que influenciam no processo de transição de pauta tecnológica terem sido pouco discutidos, a existência de um bloqueio tecnológico e de uma dependência de caminho (*path dependence*) tendem a impedir o processo de transição para essa base tecnológica limpa. Dessa forma, este estudo avalia os condicionantes, entre eles a influência do *path dependence*, no comportamento da produção de tecnologias verdes e do patenteamento desse tipo de tecnologia, além de também abordar o comportamento das tecnologias fósseis. Para tal, utilizou-se um painel de regiões de países da OECD e seus principais parceiros econômicos, no período 1990 a 2016. A análise das tecnologias é feita com base em dados de patentes, seguindo as classes da Classificação Internacional de Patentes (IPC) distinguiu-se as classes tecnológicas verdes e as fósseis. A análise do *path dependence* é realizada via estimações *GMM System* para dados em painel. Este método permite controlar a presença da endogeneidade decorrente da utilização de *lags* temporais. Os resultados descritivos mostram a predominância de regiões dos Estados Unidos e Japão na produção e no patenteamento de ambas as tecnologias, e da Alemanha para o caso das tecnologias fósseis. Destaca-se também China e Coreia do Sul como presenças importantes no patenteamento de tecnologias verdes. As estimações do modelo revelaram a influência do passado tecnológico sobre 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 e maiores transbordamentos de conhecimento estão associados a uma maior produção tecnológica e 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 has been to find cleaner sources of energy and thus promote sustainable growth. Proof of this is that patenting activities in technological fields related to this have been growing, especially in more developed countries. Green technological innovations can bring environmental benefits to both businesses and consumers. The positive effects of such innovations can take various forms, such as reducing energy consumption per unit of the product and reducing carbon emissions and the generation of waste or pollution. However, the existence of a technological block and path dependence tend to prevent the process of transition to this clean technological base. Thus, this study evaluates the conditions, including the influence of path dependence, on the behavior of the production of green technologies and the patenting of such technology. In addition, it also addresses the behavior of fossil fuel technologies. A panel of regions from OECD countries and their main economic partners from 1990 to 2016 was used to carry out this study. Patent data was examined, following the classes of the International Patent Classification (IPC) green technology classes and fossil fuels. Path dependence analysis is performed via the GMM System estimates for panel data. This method controls for the presence of endogeneity resulting from the use of temporal lags. The descriptive results show the predominance of the United States and Japan in the production and patenting of both technologies, and Germany in the case of fossil fuel technologies. China and South Korea stand out as important players in the patenting of green technologies. The model estimates revealed the influence of the technological past of a country on green technological production in the present, confirming the idea of path dependence. It was established that the higher the levels of income and economic development, the greater the knowledge spillovers, also the adoption of regulations is associated with greater technological production and green patenting.

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

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro A.1 – Grupos de Patentes Verdes.....	85
Quadro A.2 – Grupos de Patentes Fósseis.....	86



## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1: Estatísticas Descritivas das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico (1990-2016).....	53
Tabela 2: 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionados a Produção de Tecnologias Verdes (1990 e 2000). ....	56
Tabela 3: 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionados a Produção de Tecnologias Verdes (2010 e 2016).....	56
Tabela 4: 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Verdes (1990 e 2000) .....	57
Tabela 5: 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Verdes (2010 e 2016) .....	58
Tabela 6: 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionados a Produção de Tecnologias Fósseis (1990 e 2000).....	59
Tabela 7: 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionados a Produção de Tecnologias Fósseis (2010 e 2016).....	60
Tabela 8: 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Fósseis (1990 e 2000).....	60
Tabela 9: 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Fósseis (2010 e 2016) .....	61
Tabela 10: Condicionantes da Produção de Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (1990-2016).....	63
Tabela 11: Condicionantes do Patenteamento de Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (1990-2016).....	66
Tabela 12: Determinantes da Produção de Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 realizadas por subperíodos (1990-2016).....	68
Tabela 13: – Determinantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 realizadas por subperíodos (1990-2016).....	69
Tabela A.1: Regionalização dos Países Membros da OECD e dos seus Principais Parceiros Econômicos.....	83/84
Tabela A.2: Matriz de Correlação Entre as Variáveis Independentes do Modelo.....	86
Tabela A.3: Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (2000-2009).....	87
Tabela A.4: Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por <i>GMM System</i> para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (2010-2016).....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

OECD – *Organisation for Economic Cooperation and Development*

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PIB – Produto Interno Bruto

IPC – *International Patent Classification*

PCT – *Patent Cooperation Treaty*

GMM – *General Method of Moments*

MQO – Mínimos Quadrados Ordinários

EF – Efeitos Fixos

MEI – *Measuring Eco-Innovation*

UE – União Europeia

ONU – Organização das Nações Unidas

ER – Energia Renovável

ASEAN – *Association of Southeast Asia Nations*

CPC – *Cooperative Patent Classification*

EPO – *European Patent Office*

JPO – *Japan Patent Office*

USPTO – *The United States Patent and Trademark Office*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
2.1 ECOINOVAÇÃO: CONCEITOS, LIMITAÇÕES E ASPECTOS ECONÔMICOS ..	17
2.2 MEIO AMBIENTE E MUDANÇA TECNOLÓGICA .....	21
2.3 PATENTEAMENTO EM TECNOLOGIAS VERDES E DIFUSÃO TECNOLÓGICA .....	28
2.4 O PROCESSO DE <i>PATH DEPENDENCE</i> NA PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS .	34
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	41
3.1 BASE DE DADOS E VARIÁVEIS .....	44
3.2 ENDOGENEIDADE .....	47
3.3 MÉTODO ECONOMETRICO .....	50
<b>4 RESULTADOS</b> .....	53
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA.....	53
4.2 RESULTADOS <i>GMM SYSTEM</i> .....	62
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	72
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74
<b>APÊNDICE</b> .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

Há alguns anos cresceu a preocupação dos países em conseguir um crescimento econômico de forma considerada sustentável. Nesse sentido, Stokey (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).

Desse modo, a ideia deecoinovação está cada vez mais em voga. Todavia, este conceito pode abarcar diferentes definições e denominações. Kemp e Arundel (1998 p. 5) definem-na sob a forma de inovação ambiental, considerando ecoinovação os “processos, técnicas, sistemas e produtos novos ou modificados para evitar ou reduzir os danos ambientais”. Rennings (2000) denomina a ecoinovação como inovações ambientais, que se caracterizam como processos novos ou modificados, além de produtos, sistemas e métodos que beneficiam e contribuem para a preservação do meio ambiente. Foxon e Andersen (2009), por sua vez, a partir da perspectiva da dinâmica industrial, definem a ecoinovação como inovações ambientais capazes de gerar valor econômico no mercado. Assim, o foco da pesquisa sobre ecoinovação deve estar no grau em que as questões ambientais estão sendo integradas ao processo econômico.

As inovações verdes economicamente vantajosas são aquelas que envolvem processos que levam a uma redução no uso de energia e recursos, diferente daquelas destinadas apenas a reduzir as externalidades negativas, como materiais nocivos e poluição do ar, da água e do solo. Logo, as inovações eficientes em termos de energia e recursos, que levam a possíveis situações em que todos ganham, reduz o impacto ambiental da produção e melhora o desempenho econômico das empresas (GHISSETTI; RENNINGS, 2013). Sob a ótica dos inventores, as invenções e tecnologias verdes são um bom negócio, pois, estão inseridas em nichos de rápido crescimento e com lucros crescentes. Sob a ótica dos consumidores, a compra de invenções surgidas nesse contexto, além de reduzir as contas de energia, geralmente são mais seguras e saudáveis do que as produzidas sem a preocupação ambiental (BELLIS, 2019).

Os países do G-20<sup>1</sup> vêm apresentando uma diminuição na produção nos setores de tecnologias fósseis, ao passo que setores como de gestão e eficiência energética, geração de energia, agricultura, e de equipamentos de transporte, respondem juntos por cerca de 60% dos investimentos realizados para a produção de tecnologias verdes (OECD, 2019). Com isso, as empresas preocupadas com o desempenho ambiental tendem a gerar mais lucros, o que, por sua vez, as ajudará a sobreviver no mercado global a longo prazo. Dessa forma, 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). Constatando-se que existem razões relevantes, do ponto de vista econômico, para se produzir tecnologias verdes.

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, baseada no desenvolvimento das ecoinovações (ACEMOGLU *et al.*, 2012). Dependência de caminho e aprisionamento são conceitos usados para explicar o porquê 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 desfrutem de uma vantagem inicial da base tecnológica instalada, e, com

---

<sup>1</sup> Fazem parte do G20 os oito países mais ricos e influentes do mundo, o G8, e 11 países emergentes. São eles: Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão, Reino Unido, Rússia, África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Brasil, China, Coreia do Sul, Índia, Indonésia, México e Turquia.

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).

Uma solução para quebrar o *path dependence* estaria vinculada à regulamentação ambiental. A primeira tentativa nesse aspecto foi a da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92 (1992). Uma segunda, foi o Protocolo de Kyoto (1997). A primeira reuniu chefes e representantes de Estado de 172 países no Rio de Janeiro, para debater temas gerais da agenda ambiental. Nesse momento, iniciou-se o processo de criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), que definiu o papel de cada país no controle do aquecimento global. A relevância apresentada por tal conferência se dá pela representatividade institucional (governos, sociedade civil e grupos sociais) e o dos significados econômico, social e ecológico (MOTA *et al.*, 2008). O Protocolo de Kyoto, por sua vez, definiu metas e objetivos específicos criando um compromisso legal para os países, obrigando os países desenvolvidos, individual ou conjuntamente, a cortar, no período de 2008 a 2012, em média, 5,2% das emissões de gases de efeito estufa (GEE)<sup>2</sup> (JURAS, 2007; ANDRADE; COSTA, 2008).

Dessa forma, o presente estudo pretende avaliar os condicionantes e verificar a influência do *path dependence* no comportamento da produção de tecnologias verdes e do patenteamento desse tipo de tecnologia para um painel de regiões de países da OECD e seus principais parceiros econômicos,<sup>3</sup> no período 1990-2016, associando também ao comportamento da produção de tecnologias fósseis, relatadas na Tabela A.3 do Apêndice.

Os condicionantes considerados na análise são a produção de tecnologias fósseis, *spillovers* inter-regionais, a qualidade das patentes, o nível de educação da força de trabalho, a intensidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), a fração da população empregada na indústria, o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, além das defasagens temporais relacionadas a produção das tecnologias verdes e fósseis e da *dummy* de G7, referente ao grupo dos países

---

<sup>2</sup> Gases de Efeito Estufa (GEE): Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); Metano (CH<sub>4</sub>); Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); Hidrofluorcarbonos (HFCs); Perfluorcarbonos (PFCs); e Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

<sup>3</sup> O critério de região usado 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.

ricos, sendo verificado como foi a contribuição de cada um deles na produção e patenteamento de tecnologias verdes.

As tecnologias verdes analisadas neste trabalho são classificadas de acordo com dados de patentes. Seguindo a Classificação Internacional de Patentes (*IPC*), faz-se a distinção entre as classes tecnológicas verdes e as classes tecnológicas fósseis, estando as tecnologias verdes de acordo com a classificação 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 trabalho assim como em Ayari, Blazsek e Mendi (2009) e Lazkano, Nostbakken e Pelli (2016).

A análise das tecnologias utiliza dados de patentes, que proporcionam dados desagregados e de fácil disponibilidade, enquanto os dados de P&D, por exemplo, geralmente estão disponíveis apenas para indústrias ou aplicações gerais específicas (POPP, 2004). E como a mensuração direta da atividade inovativa é relativamente difícil, a patente se revela uma *proxy* interessante para a produção de conhecimento inventivo (JAFFE, 1989).

Os depósitos de patentes usados neste trabalho consideram a residência do inventor. Quando consta mais de um inventor de regiões distintas num processo de patente, a patente é fracionada proporcionalmente entre as regiões. Os depósitos analisados são aqueles incluídos no Tratado de Cooperação de Patentes (*PCT*). A utilização de patentes registradas no *PCT* permite atenuar a questão relacionada ao viés doméstico da patente, além de oferecer procedimento unificado, de baixo custo, que concede uma proteção inicial às invenções em cada um dos seus países signatários. O uso de registros de patentes do *PCT* também possui a vantagem de seus registros filtrarem as invenções de maior valor econômico, sendo crescente seu uso em pesquisas (MADSEN, 2007; NAGAOKA *et al.*, 2010).

Neste trabalho, o termo tecnologia verde 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).

O período analisado (1990-2016) permite uma visão mais ampla sobre todo o processo de produção de tecnologias verdes, após os principais acordos mundiais para redução da poluição

---

<sup>4</sup>A utilização da classificação a 4 dígitos minimiza a variabilidade ocorrida nos próprios códigos *IPC*, que podem ser criados ao longo do período da análise (1990-2016).

mundial, como é o caso da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992) e o Protocolo de Kyoto (1997). O estudo se limita aos países da OECD e seus principais parceiros econômicos pelo fato de a atividade de P&D mundial ocorrer, majoritariamente, em países de alta renda. Dados de 2002 mostram que as despesas globais em P&D foram de aproximadamente US\$ 813 bilhões, com a OECD respondendo por cerca de 77% do total, e os Estados Unidos e o Japão, juntos, representando 45% do valor total (NATIONAL SCIENCE BOARD, 2008). A abordagem geográfica dos países, feita em regiões NUTS2, visa captar a relevância do transbordamento inter-regional do conhecimento para a realização das atividades inventivas em tecnologias verdes (STUCKI; WÖRTER, 2012). Ressalta-se ainda que a atividade de patenteamento, nos campos de tecnologias verdes, já há algum tempo é dominada pelos países membros da OECD (CORSATEA, 2014).

A análise do *path dependence* será realizada por meio de dados de patentes e da contagem de códigos verdes 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. É esperado que as regiões que tiveram processos de inovação verde no passado possuam mais chances de continuar inovando em tecnologias verdes no futuro e pode ocorrer que o próprio histórico de inovação em tecnologias fósseis também esteja associado a uma pauta de inovação mais voltada às tecnologias verdes no futuro (AGHION *et al.*, 2012). Outros fatores esperados que podem estimular as inovações verdes são os transbordamentos de conhecimento e as atividades de P&D (BRAUN; SCHMIDT-EHMCKE; ZLOCZYSTI, 2010).

Os resultados descritivos principais encontrados mostram a predominância de regiões dos Estados Unidos e do Japão na produção e no patenteamento de ambas as tecnologias, e da Alemanha para o caso das tecnologias fósseis. As estimações do *GMM System* revelaram, 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 PIB *per capita*) 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 que abrange os conceitos atribuídos àecoinovação, a relação entre o processo de mudança climática e a transição para uma pauta tecnológica mais



verde, o patenteamento nos campos tecnológicos verdes e fósseis e a definição e implicações do *path dependence*, conceito que norteia este trabalho. 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 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ECOINOVAÇÃO: CONCEITOS, LIMITAÇÕES E ASPECTOS ECONÔMICOS

A inovação com a incorporação da dimensão ambiental ou ecoinovação tornou-se um dos elementos centrais do debate internacional sobre desenvolvimento econômico e social frente aos problemas ambientais decorrentes principalmente da ação humana. Apesar de algumas diferenças conceituais, os autores mais recentes sobre esse tema consideram o resultado como o ponto de partida para a identificação da inovação, se relativa ou não ao meio ambiente, revelando uma convergência nesse aspecto (KOELLER *et al.*, 2019).

Diante disso, vários termos correlatos surgiram na literatura para descrever esse tipo de inovação. Koeller *et al.* (2019) ainda ressaltam que três termos são indistintamente usados como sinônimos, são eles: ecoinovação, inovação verde e inovação ambiental. Todos os três se referem somente aos aspectos relacionados ao meio ambiente. O conceito de inovação sustentável, porém, seria mais abrangente e inclui, além da dimensão ambiental, a social e a institucional (SCHIEDERIG; TIETZE; HERSTATT, 2012).

Com isso, Kemp e Arundel (1998 p. 5) definem o conceito de inovação ambiental como “processos, técnicas, sistemas e produtos novos ou modificados para evitar ou reduzir os danos ambientais”. Em contraste com outras inovações, as inovações ambientais podem levar a uma situação denominada “ganha-ganha”, i.e., caracterizada por benefícios econômicos e ambientais mútuos.

Kemp e Pearson (2007, p. 7), por sua vez, definem inovação ambiental como:

“Um produto, processo de produção, serviço ou gerenciamento ou método de negócios que seja novo para a organização (desenvolvendo ou adotando) e que resulte, ao longo de seu ciclo de vida, em uma redução do risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo uso de energia) em comparação com alternativas relevantes”.

O conceito de ecoinovação também pode ser definido como o conjunto de inovações capazes de atrair “rendas verdes” no mercado. O foco da pesquisa sobre ecoinovação deve estar no grau em que as questões ambientais estão sendo integradas ao processo econômico. As inovações

são classificadas como técnicas, organizacionais ou de *marketing*, que melhoram a “competitividade verde” de uma empresa (FOXON; ANDERSEN, 2009).

A OECD, por sua vez, coloca que a ecoinovação difere da inovação genérica em duas características significativas:

“É a inovação que reflete a ênfase explícita do conceito em uma redução do impacto ambiental, se esse efeito é intencional ou não. E não se limita à inovação em produtos, processos, métodos de *marketing* e métodos organizacionais, mas também inclui inovação em estruturas sociais e institucionais” (OECD, 2009, p. 13).

Rennings (2000) interpreta as inovações ambientais como inovações que caracterizam processos novos ou modificados, além de produtos, sistemas e métodos que beneficiam e contribuem para a preservação do meio ambiente. Esta definição foi utilizada por Montenegro (2016), onde a autora caracteriza o desenvolvimento tecnológico ambiental de quarenta países nos anos de 1990, 2000 e 2010. Isso é realizado a partir da análise dos Sistemas Nacionais de Inovação, investigando o papel do desenvolvimento tecnológico e as configurações da capacidade de inovação ambiental de economias desenvolvidas e em desenvolvimento.

Considerando o risco e o impacto ambiental, Kemp e Pearson (2007), no entanto, fazem uma ressalva de que o termo ecoinovação depende fundamentalmente de uma avaliação global dos impactos e riscos ambientais. Para isso, a avaliação do ciclo de vida pode ser usada. Nesse sentido, a definição de ecoinovação adotada pelo projeto *Measuring Eco-Innovation* (MEI) se destaca por ter incorporado a análise do ciclo de vida<sup>5</sup>, dando maior precisão ao conceito. Essa abordagem pode ser utilizada para identificar pontos críticos nas etapas do processo produtivo para que sejam identificadas possibilidades de adoção e o desenvolvimento de ecoinovações (KOELLER *et al.*, 2019).

“(...) ecoinovação é a produção, assimilação ou utilização de um produto, processo produtivo, serviço ou gestão, ou método de negócio que é novo para a organização

---

<sup>5</sup> A metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV) foi desenvolvida no final da década de 1960 para avaliar quantitativamente os possíveis impactos ambientais de cada etapa do ciclo de vida do produto ou serviço que se disseminou rapidamente pelo mundo. É uma ferramenta para orientar ações de melhoria de desempenho e inovação em sistemas de produção, visando sua sustentabilidade ambiental (COELHO FILHO; SACCARO JUNIOR; LUEDEMANN, 2016), além de ser multidisciplinar e multicritério, uma vez que analisa distintas categorias de impacto concomitantemente (FIKSEL, 1997).

(que o desenvolve ou o adota) e que resulta, considerando seu ciclo de vida como um todo, na redução do risco ambiental, da poluição e de outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo o uso de energia) em comparação com alternativas relevantes.” (KEMP; PEARSON, 2007, p. 7).

Entretanto, cabe destacar ainda o conceito de inovação sustentável que é ainda mais abrangente e inclui, além da dimensão ambiental, a social e a institucional (SCHIEDERIG; TIETZE; HERSTATT, 2012). Por esse ângulo, a OECD (2009) identificou uma tendência à ampliação do escopo da ecoinovação, destacando a definição utilizada no Japão que, em 2007, adotava um conceito que sinalizava para alterações na sociedade necessárias para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Um recorte já consolidado na literatura atribui à tecnologia ambiental diferentes formas de utilização, em que se tem: (1) redução ou eliminação de danos já causados ou (2) prevenção da sua ocorrência. No caso (1) estão tecnologias que não fazem parte do processo produtivo, mas que são acrescentadas ao seu final (*add-ons*) ou aplicadas após o consumo, visando mitigar a poluição e o prejuízo gerados (ANDERSEN, 2006; 2008; RENNINGS, 1998; 2000), i.e., “tecnologias de final de linha” ou “tecnologias de fim de tubo” (*end of pipe technologies*) (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007; LÓPEZ, 1996). São tecnologias para tratamento de poluentes que já foram descartados no meio ambiente, ou aplicadas para a recuperação do ambiente já degradado. Como exemplo, podem-se citar filtros de controle da poluição, estações de tratamento de água, incineradores e processos de reciclagem. São tecnologias de caráter paliativo, com efeitos limitados e cuja adoção não impõe alteração significativa no processo produtivo, o envolvimento de outros agentes ou mudanças sociais (KOELLER *et al.*, 2019).

No caso (2) estão as tecnologias com foco na prevenção de danos ao meio ambiente (RENNINGS, 1998; 2000; LÓPEZ, 1996). Em geral, essas tecnologias estão integradas no processo produtivo com o intuito de reduzir o consumo de recursos naturais e o volume de resíduos gerados, atuando diretamente na atividade geradora dos danos ao meio ambiente (ANDERSEN, 2006; 2008). Como exemplos, podem ser citadas as tecnologias que viabilizam a substituição de insumos tóxicos, medidas que reduzem o consumo de energia e da emissão de gases poluentes e mecanismos de reaproveitamento de resíduos dentro do próprio processo produtivo. Neste segundo grupo se encaixam também os produtos mais limpos, como carros elétricos (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007), e inovações organizacionais (RENNINGS, 1998; 2000; ANDERSEN, 2006; 2008), como sistemas de monitoramento e gestão ambiental implantados por empresas.

No aspecto econômico, o investimento em P&D para ecoinovação pode ajudar uma empresa a desenvolver recursos e capacidades exclusivos que podem aumentar sua ecoinovação e levar a um desempenho ambiental e financeiro superior. Esse tipo de P&D contribui, simultaneamente, para o desempenho ambiental superior, com reduções de emissão de carbono, e para o desempenho financeiro, verificado por meio do  $q$  de Tobin<sup>6</sup>. Essa descoberta apoia a necessidade de recursos e capacidades organizacionais exclusivos para reforçar uma estratégia ambiental proativa (LEE; MIN, 2015).

Nesse sentido, as empresas geralmente têm adaptado e adotado tecnologia avançada como parte da ecoinovação para alcançar a sustentabilidade ambiental e criar uma vantagem competitiva a longo prazo (TEECE, 2007; WAGNER; LLERENA, 2011). Os avanços tecnológicos no setor de tecnologia verde significam menos desperdício gerado, operações comerciais mais seguras e maior proteção do meio ambiente. O uso da tecnologia verde tem sido defendido como uma ferramenta vital para a implementação bem-sucedida da ecoinovação, e o efeito da tecnologia no desempenho ambiental foi confirmado (FERNANDO; WAH, 2017).

Um dos principais benefícios do crescimento da utilização de tecnologias verdes é que os empregos que ele cria tendem a ter maior conteúdo local do que as atividades econômicas que se utilizam de métodos tradicionais. Os investimentos energeticamente eficientes tendem a ser específicos do local e exigem mão de obra local. A maioria das indústrias de energia limpa também consome mais mão-de-obra do que as de carbono (BOREL-SALADIN; TUROK, 2013). Do mesmo modo, a manufatura de tecnologias verdes pode levar a custos mais baixos de matéria-prima, ganhos de eficiência na produção, redução de despesas ambientais e melhoria da imagem corporativa (SEZEN; ÇANKAYA, 2013).

Do ponto de vista da empresa, a adoção de tecnologias que não agridem o meio ambiente pode ser onerosa e, portanto, pode reduzir a produtividade, especialmente se introduzida para lidar com a regulamentação governamental. No entanto, se essa adoção for acompanhada de mudanças organizacionais, que permitam um uso mais eficiente da nova tecnologia, esse efeito de redução de produtividade da adoção da tecnologia verde poderá ser diminuído, compensado ou possivelmente até revertido se forem estabelecidas de forma complementar

---

<sup>6</sup> Metodologia criada pelo economista estadunidense James Tobin, ainda em meados do século XX, para a avaliação de companhias em particular até ao mercado de ações como um todo. O  $q$  de Tobin é composto por dois elementos básicos: o valor de firma e o valor de reposição do capital. Portanto, o  $q$  de Tobin constitui-se no valor de mercado do capital dividido por seu custo de substituição (ROMER, 1986).

(HOTTENROTT; REXHÄUSER; VEUGELERS, 2016). Os autores também verificaram que os adotantes de tecnologias verdes desfrutam de uma produtividade 8% maior se forem introduzidas novas formas de práticas de negócios para procedimentos organizacionais ou novas formas de organização de responsabilidades no trabalho ou no processo de tomada de decisão.

Os regulamentos têm uma influência considerável na implementação bem-sucedida dos processos deecoinovação, que, por sua vez, ajudam as empresas a melhorar o desempenho ambiental e a implementação da ecoinovação ajudará a empresa a alcançar a conformidade ambiental. Como qualquer outra empresa, as empresas de tecnologia verde enfrentam desafios na redução dos impactos dos perigos associados às suas atividades. Algumas empresas têm sido penalizadas por órgãos reguladores e até saem de um mercado porque não conseguiram gerenciar vários problemas relacionados às atividades da empresa, como tipos de produtos químicos não aprovados, instalação inadequada de máquinas ou os efeitos negativos de radiação (FERNANDO; WAH, 2017).

Portanto, o conceito de ecoinovação pode englobar várias definições como visto nesta seção. Todavia, enfatiza-se que um ponto convergente é que sempre há a busca para promover maior sinergia entre política ambiental e de inovação. A área de política de ecoinovação representa uma área de política ainda muito imatura e que precisa de mais esclarecimentos, mas está ganhando impulso rapidamente nos últimos anos em instituições internacionais como UE, OECD e ONU (COMISSÃO EUROPEIA 2003; OECD, 2009).

## 2.2 MEIO AMBIENTE E MUDANÇA TECNOLÓGICA

A mudança climática é uma questão ambiental distinta da maior parte dos outros problemas ambientais existentes, dado que essa mudança se deve principalmente a atividades humanas. Ela está associada à emissão de gases de efeito estufa, que incluem gases de longa duração, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), além de gases de vida curta, como vapor de água e ozônio ( $\text{O}_3$ ), sendo o  $\text{CO}_2$  o gás de efeito estufa mais importante em volume, o qual é emitido durante o processo de combustão de combustíveis fósseis. As causas, a incerteza quanto aos efeitos e os custos econômicos significativos são os argumentos mais utilizados pelos países que duvidam do aquecimento global para justificar por que não se deve ter pressa em fazer algo agora. Esses argumentos retardam uma ação coletiva global e

dificultam a construção e manutenção de mecanismos institucionais a nível mundial (FIGUERES; IVANOVA, 2005; VIOLA, 2010; HALL; HELMERS, 2010).

Do ponto de vista neoclássico, os problemas ambientais são vistos como falhas de mercado decorrentes da distribuição de direitos de propriedade e externalidades negativas da produção. A economia ecológica ortodoxa, portanto, concentra-se em acertar os preços, considerando o bem-estar social. Isso implica cálculos dos custos de poluir e da compensação associada que deve ser paga, bem como os custos de não poluir (ANDERSEN, 2008). E a solução passaria por uma “revolução tecnológica” no campo das tecnologias verdes, a fim de dissociar o crescimento econômico dos impactos ambientais adversos, impulsionando mudanças técnicas, o desenvolvimento e a difusão de tecnologias novas e/ou aprimoradas (PETERS *et al.*, 2012).

A inovação e difusão de tecnologias verdes, todavia, começaram a ocorrer já a partir das décadas de 1970 e 1980, um período de crescente conscientização pública e preocupação com danos ambientais. A inovação em tecnologias verdes inclui a inovação na redução da poluição (*end of pipe*) e implementação de novas tecnologias que reduzam a produção de poluentes (LANJOUW; MODY, 1996). E é justamente nesse momento que ocorrem os primeiros encontros e acordos climáticos estabelecidos. O primeiro deles foi a Conferência de Estocolmo realizada em 1972. Esse encontro organizado pela Organização das Nações Unidas (ONU), e que contou com a presença de 113 países, tinha pautas abrangentes voltadas à poluição e à pobreza, em um momento em que a expressão “mudanças climáticas” ainda não estava nos círculos científicos, tendo como resultado um documento com princípios e recomendações relacionadas a poluição e a preservação de recursos naturais (QUADROS; HISAMOTO, 2017).

No entanto, o mais conhecido dos mecanismos que visaram a redução dos efeitos das mudanças climáticas foi o Protocolo de Kyoto. Segundo Quadros e Hisamoto (2017), o acordo, de 1997, foi o primeiro que definiu metas e objetivos específicos para reduzir a emissão de gases estufa, criando um compromisso legal para os países, com a diminuição da emissão de gases estufa apenas por países desenvolvidos e estabelecendo metas específicas para cada país, baseadas nos níveis de emissão de 1990.

Em resumo, o Protocolo de Kyoto obriga os países desenvolvidos, individual ou conjuntamente, a cortar, no período de 2008 a 2012, em média, 5,2% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (JURAS, 2007; ANDRADE; COSTA, 2008). Aliás, nota-se um aumento acentuado e uniforme da produção de energias renováveis nos países da União Europeia (UE) a partir da

assinatura do Protocolo de Kyoto. A Dinamarca, por exemplo, se destaca, já na década de 1990, com investimentos muito elevados em energias renováveis, quase que inteiramente no campo de energia eólica. Em contrapartida, vê-se também uma mudança semelhante só que nas tecnologias fósseis de reação rápida, que inclui a maioria das tecnologias de geração de gás, por volta do ano de 1997, com alguns países, como Itália e EUA, aumentando significativamente as respectivas capacidades de produção (VERDOLINI; VONA; POPP, 2016).

Por fim, Quadros e Hisamoto (2017) ainda destacam sobre o mecanismo de contenção do avanço das mudanças climáticas mais recente e teoricamente em vigor: o Acordo de Paris. Esse acordo, assinado em 2015 e em vigor a partir de 2016, envolve mais países que o de Kyoto e incentiva mudanças voluntárias e transparência. Entre os objetivos, há o de conter o aumento da temperatura global em até 2°C em relação ao período pré-industrial, com esforços para conter em 1,5°C; envolver todos os países, não apenas os desenvolvidos; apoiar os países menos industrializados na adaptação de suas emissões; definir metas e compromissos voluntários e acompanhar regularmente o progresso dos países em suas metas.

Portanto, todos os acordos visaram atenuar o impacto ambiental de uma atividade econômica, que é profundamente afetada pela taxa e direção das mudanças tecnológicas. Os custos tendem a cair, a qualidade tende a melhorar e uma variedade maior de tecnologias tende a se tornar disponível com o passar do tempo. As novas tecnologias podem criar ou facilitar o aumento da poluição ou podem mitigar ou substituir as atividades poluentes existentes (POPP; NEWELL; JAFFE, 2010).

Em geral, pode haver a escolha por uma determinada estratégia para cumprir os regulamentos ambientais. Uma delas, a já mencionada redução *end of pipe*, diminui as emissões usando tecnologias adicionais para limpar o fluxo de resíduos. Por outro lado, métodos de produção mais limpos reduzem as emissões ao gerar menos poluição durante esse processo. Por exemplo, Frondel *et al.* (2007) observaram que muitas fábricas nos países da OECD fazem uso de métodos de produção mais de acordo com normas ambientais. No entanto, é mais provável que os regulamentos ambientais levem à adoção de técnicas *end of pipe* (POPP *et al.*, 2011).

Outro mecanismo proposto para cumprir os regulamentos é o de licenças leiloadas. Este mecanismo consiste que, sob as licenças negociáveis, a difusão da tecnologia reduz o preço da permissão de equilíbrio, reduzindo assim o incentivo para as empresas participantes adotarem.



Assim, um sistema de licenças fornece um incentivo menor à adoção do que um imposto, assumindo que os dois instrumentos sejam equivalentes antes da difusão (DENICOLA, 1999).

Ainda segundo Popp *et al.* (2011), quando uma nova tecnologia verde é implementada, os termos de troca entre o custo marginal do controle da poluição e seu benefício social marginal são alterados. Em particular, as inovações tecnológicas, como novos equipamentos de controle de poluição, métodos de produção mais limpos ou novos substitutos para produtos prejudiciais ao meio ambiente, normalmente reduzem o custo marginal de alcançar uma determinada unidade de redução da poluição. Na maioria dos casos, a mudança tecnológica permite que um nível menor de poluição seja alcançado a um custo total mais baixo para a sociedade.

No entanto, a geração de um conhecimento novo por meio do processo inovador contrasta fortemente com as externalidades negativas da poluição. Devido à natureza do conhecimento dos bens públicos, uma empresa que investe ou implementa uma nova tecnologia geralmente cria benefícios para os outros, ao mesmo tempo em que incorre em todos os custos. A empresa, portanto, carece de incentivo para aumentar esses benefícios investindo em tecnologia. A poluição cria uma externalidade negativa e, portanto, a mão invisível do mercado permite muito dela. A tecnologia cria externalidades positivas e, portanto, a mão invisível do mercado produz muito pouco. Assim, mesmo que existam políticas para corrigir as externalidades ambientais, o nível de P&D verde ainda será abaixo do ideal. Por ignorarem as repercussões positivas criadas pela P&D, as empresas investirão pouco em atividades de pesquisa. Tais políticas concentram-se na taxa geral de inovação, por outro lado, as políticas voltadas especificamente para o meio ambiente se concentram na direção da inovação, incluindo subsídios governamentais direcionados para adoção de energia alternativa e financiamento para pesquisa básica e aplicada direcionada (POPP; NEWELL; JAFFE, 2010).

Segundo os autores, a incorporação de tecnologias de proteção ambiental nos modelos de mudança tecnológica desempenha um papel importante na política ambiental e pode ser pensada de forma exógena ou endógena. Assumindo a exogeneidade nesse processo, as tecnologias de proteção são tipicamente fontes de energia livres de carbono que já podem ser conhecidas, mas ainda não são comercializadas amplamente. Supõe-se frequentemente que essa tecnologia de proteção está disponível em um suprimento praticamente ilimitado a um custo marginal constante, mas relativamente alto, por exemplo, energia solar avançada e fusão nuclear. Os modeladores geralmente assumem que o custo da tecnologia de proteção está

diminuindo com o tempo, implicando efetivamente que, se a proteção ambiental entrar em vigor, a tecnologia estará melhorando apenas em função do tempo.

A mudança tecnológica direta induzida pelo preço é um método relativamente direto de endogenizar a mudança tecnológica, com raízes conceituais que remontam a Hicks (1932). No contexto da modelagem da política climática, se o preço da energia subir, a mudança tecnológica induzida pelo preço levará a uma maior eficiência energética, geralmente por meio de um parâmetro de produtividade vinculado a um histórico de preços, ou cuja alteração está vinculada a preços atuais, ou ainda por meio de difusão anterior de tecnologias energeticamente eficientes (POPP *et al.*, 2011).

A respeito disso, Rose e Joskow (1990) encontram um efeito positivo do aumento do preço do combustível na adoção de uma nova tecnologia de economia de combustível no setor de geração de eletricidade nos EUA, com a significância estatística do efeito dependendo do ano do preço do combustível. Em uma análise Tobit da adoção de diferentes tecnologias de fornos nas fábricas de aço, Boyd e Karlson (1993) encontram um efeito positivo significativo dos aumentos no preço de um combustível na adoção de tecnologia que economiza esse combustível, embora a magnitude do efeito seja modesta (POPP; NEWELL; JAFFE, 2010).

A presença de mudanças tecnológicas endógenas leva a custos mais baixos para atingir uma determinada meta de redução, mas a custos brutos mais altos de um determinado imposto sobre carbono, ou seja, custos antes de compensar os benefícios climáticos. De fato, tanto os custos quanto os benefícios de um determinado imposto sobre o carbono são mais altos em relação ao seu modelo, pois a economia responde mais elasticamente aos choques de preços da política (GOULDER; SCHNEIDER, 1999).

Ainda sobre esse processo, a indução pela P&D, por exemplo, consiste numa abordagem utilizada para endogenizar a mudança tecnológica, e vários modelos foram desenvolvidos nesse sentido. A mudança tecnológica baseada em P&D tem uma base teórica de longa data, começando com os primeiros trabalhos de Kennedy (1964), Kamien e Schwartz (1968) e Binswanger e Ruttan (1978) no desenvolvimento da fronteira de possibilidades de inovação (FPI) e da teoria por trás mudança tecnológica induzida. Um trabalho mais recente de Acemoglu (2002) aborda como a inovação em diferentes direções, e que sejam inerentes à FPI, resulta endogenamente da otimização dinâmica de uma empresa.

Nesse sentido, os investimentos em P&D do governo podem ajudar a compensar o subinvestimento de empresas privadas. Ao contrário das empresas, o governo está em posição de considerar retornos sociais ao tomar decisões de investimento. Além disso, as atividades de P&D do governo tendem a ter objetivos diferentes daquelas relacionadas à P&D privada. O apoio do governo é particularmente importante para P&D básico, pois os retornos de longo prazo, maior incerteza e a falta de um produto acabado no final dificultam para as empresas privadas se apropriarem dos retornos de P&D básico. Assim, a natureza da P&D do governo é importante. Por exemplo, Popp (2002) constata que a P&D de energia do governo serviu como substituto da P&D de energia privada durante a década de 1970, mas como um complemento à P&D de energia privada posteriormente (POPP; NEWELL; JAFFE, 2010; VAN DEN BERGH *et al.*, 2011).

Dessa forma, Peters *et al.* (2012) destacam que, especialmente no caso de inovações verdes, o apoio a políticas é um gatilho importante por três razões principais. Primeiro, como a maioria das tecnologias verdes ainda exige investimentos substanciais em P&D até atingir competitividade, elas sofrem principalmente com a disseminação de conhecimento (RENNINGS, 2000). Segundo, a incerteza sobre retornos futuros de investimentos em P&D verde é particularmente alta (JAFFE *et al.*, 2002). Terceiro, os efeitos externos negativos inerentes à maioria das questões ambientais colocam em desvantagem a relativa competitividade das tecnologias verdes.

Ademais, destaca-se ainda que a estrutura regulatória dos mercados também é um fator a ser considerado e que pode afetar o processo de transição tecnológica. Fowlie (2007) examina a adoção de técnicas de controle de poluição pelas usinas americanas em resposta ao comércio de licenças no leste dos Estados Unidos. A autora observa que as concessionárias de energia elétrica enfrentam diferentes incentivos, dependendo da estrutura regulatória da indústria. Os reguladores estaduais normalmente permitem que as empresas recuperem os custos médios da operação de controles de poluição e licenças de compra. No entanto, os custos de oportunidade de usar ou manter licenças não se refletem nas taxas reguladas. Isso dá às empresas reguladas um incentivo para investir em equipamentos de redução de capital mais intensivos. Por outro lado, as empresas de serviços públicos em mercados reestruturados enfrentam maior incerteza, tornando mais arriscados os investimentos em capital de redução da poluição a longo prazo.

Todo esse processo de mudança tecnológica se justifica pois há maiores transbordamentos de conhecimento advindos das tecnologias verdes, o que dá fundamento aos maiores subsídios

para P&D ou programas específicos de P&D para tecnologias verdes, além do apoio implícito, por meio de políticas climáticas como a tributação do carbono. Assim como, tecnologias verdes radicalmente novas devem receber maior apoio público do que as atividades de pesquisa voltadas para tecnologias já existentes, o que permitiria escapar dos bloqueios tecnológicos e promover a evolução das tecnologias verdes. A implementação de políticas sólidas e específicas de impulso tecnológico e o aumento da coordenação entre políticas ambientais e de inovação certamente representam desafios a serem enfrentados (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2013, CORSATEA, 2014).

Diante disso, políticas climáticas surgem visando, por exemplo, o financiamento do governo para pesquisa, desenvolvimento e demonstração de novas tecnologias e a concessão de subsídios visando à produção de tecnologias alternativas (DESHPANDE, 2016; CRESPI *et al.*, 2015; DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2013). Ainda é relevante destacar que a questão climática não deve ser entendida como questão isolada, nem fazer com que outros problemas ambientais sejam esquecidos. Para que se alcance maior sustentabilidade das atividades econômicas, essas deveriam ser reguladas de forma a reduzir os impactos ambientais. Torna-se necessário pensar em metas de eficiência no uso de energia, para promover o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias (LUEDEMANN; HARGRAVE, 2010).

Desse modo, devido à pressão crescente sobre a demanda de energia, crises energéticas, aquecimento global e proteção ambiental, se tem procurado uma solução de desenvolvimento seguro e sustentável no fornecimento de energia. Pesquisas e demonstrações sobre a utilização de energias renováveis (ER) tornaram-se ativas nas últimas décadas. Particularmente, um grande número de novas tecnologias em ER foi empregado com sucesso em aplicações comerciais sob a proteção de patentes (ZHAO *et al.*, 2015, CORSATEA, 2014).

Com isso, ganham notoriedade as energias renováveis, que podem ser do tipo fotovoltaica, eólica, geotérmica, células de combustível e bioenergia, e que contém um enorme valor de utilização potencial e menos poluição ambiental, contribuindo para um desenvolvimento sustentável. Entre estas, a energia solar, que inclui a energia solar térmica e fotovoltaica, por vezes tem sido considerada a alternativa mais acertada para os combustíveis fósseis, por ser uma fonte inesgotável e não emissora de gases estufa e outros poluentes (VEUGELERS, 2012; CHOE *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2015).

Essa notoriedade das ER é verificada com o aumento da atividade de patenteamento nas tecnologias de energia limpa e que coincide com a adoção do Protocolo de Kyoto, em 1997, o que fornece um forte sinal de que as decisões políticas são importantes para estimular o desenvolvimento dessas tecnologias. Os campos energéticos que experimentam o crescimento mais intensivo incluem energia solar fotovoltaica, eólica, captura de carbono, hidroelétrica e biocombustíveis, sendo seis principais países (Japão, Estados Unidos, Alemanha, Coreia do Sul, Reino Unido e França) os maiores inovadores e patenteadores (STEINER; BATTISTELLI; MELÉNDEZ-ORTIZ, 2010).

### 2.3 PATENTEAMENTO EM TECNOLOGIAS VERDES E DIFUSÃO TECNOLÓGICA

Antes de falar das patentes e da sua relação específica com novas tecnologias verdes desenvolvidas, cabe destacar a relevância da utilização dos documentos de patentes. As patentes surgiram como um dos principais indicadores usados para medir a inovação, sendo uma medida do resultado da inovação e, como tal, refletem o desempenho inovador das empresas e economias (GRILICHES, 1990). Elas são um indicador útil, pois podem ser distinguidos pela natureza do requerente e da invenção. Isso permite a geração de contagens de patentes por ano, país e campo tecnológico. Embora nem todas as invenções sejam patenteadas, existem poucos exemplos de invenções economicamente significativas que não foram patenteadas (DERNIS *et al.*, 2002).

A patente consiste num direito exclusivo para o uso de uma invenção, logo o produtor dessa nova invenção tem o poder de monopólio para usá-la por um período de tempo limitado. As patentes têm sido usadas como indicadores de inovação industrial, mas de acordo com Mazzoleni e Nelson (1998), essa análise deve ser cautelosa, visto que em alguns setores as patentes podem incentivar a produtividade e criar mais transbordamentos de conhecimento (*spillovers*), mas há também aqueles em que o efeito das patentes pode ser o oposto (HOLGERSSON; KEKEZI, 2017).

Documentos de patentes fornecem um rico conjunto de informações sobre a invenção e a patente, e são estruturados da seguinte forma: a informação bibliográfica, o resumo da invenção, as reivindicações, a descrição da invenção, e os desenhos e sua descrição (NAGAOKA *et al.*, 2010). Os autores ainda destacam que ao se utilizar estatísticas de patente como indicadoras das atividades inovativas, deve-se destacar que nem todas as patentes representam de fato as

inovações, e que algumas invenções não são sequer patenteadas, podendo os pedidos de patentes serem realizados apenas em prol de estratégias competitivas.

O uso de dados de patentes oferece algumas vantagens. Primeiro, os dados de patentes dos países normalmente estão prontamente disponíveis. Segundo, os dados de patentes estão disponíveis em formas altamente desagregadas, enquanto os dados de P&D geralmente estão disponíveis apenas para indústrias ou aplicações gerais específicas. Terceiro, o número de países nos quais um inventor busca proteção para uma invenção fornece uma medida de difusão da inovação. Quarto, os economistas descobriram que as patentes, classificadas por data de aplicação, fornecem um bom indicador da atividade de P&D (POPP, 2004). E como a mensuração direta da atividade inovativa é relativamente difícil, a patente se revela uma *proxy* interessante para o conhecimento (JAFFE, 1989).

Cabe salientar também a questão de citações de patentes e transbordamentos de conhecimento. Esta questão vem sendo trabalhada desde o trabalho seminal de Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993) e por um crescente corpo de literatura empírica que tem se concentrado na análise de fluxos de conhecimento e *spillovers*, principalmente levantando dados sobre citações de patentes. Anteriormente, Griliches (1979) já havia proposto a classificação de *spillovers* de P&D em dois tipos, como *spillover* pecuniário (*rent*) e *spillover* de conhecimento. O transbordamento pecuniário (*rent spillover*) é gerado quando uma inovação gera ganhos pecuniários para outros agentes (concorrentes, consumidores), que não são devidamente compensados ao inovador. O outro tipo de transbordamento é o transbordamento de conhecimento (*knowledge spillover*), que ajuda a melhorar a eficiência da produção ou o processo de P&D das empresas receptoras à medida que obtêm conhecimento útil (NAGAOKA *et al.*, 2010).

De posse desta descrição feita acerca de documentos de patentes, pode-se agora atentar para a questão das patentes voltadas fontes fósseis (tecnologias sujas) quanto de fontes renováveis (tecnologias verdes).

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 sujas 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).

A alta no patenteamento de tecnologias fósseis pode ser atrelada ao rápido crescimento econômico de países como China, Índia e outras economias emergentes, o que estaria pressionando a disponibilidade de recursos e levando a um grande aumento nos preços dessas tecnologias. Embora a crise econômica de 2008 tenha revertido essa tendência, a expectativa geral é de que os preços se tornem muito mais voláteis e subam novamente no longo prazo. Nesse contexto, as políticas nacionais concentram-se em instrumentos baseados no mercado, com a expansão do sistema de comércio de emissões de carbono na Europa. A participação de tecnologias de energia renovável em pequena escala, como painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas urbanas e usinas de biomassa em pequena escala ainda permanece confinada a nichos específicos. Essas inovações de nicho não perturbam a estrutura básica do regime tecnológico vigente, mas estimulam o início de uma reorientação na direção mais sustentável (VERBONG; GEELS, 2010).

O patenteamento nos campos de tecnologias verdes, por sua vez, é atualmente 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). No caso específico de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de energia eólica, por exemplo, estes estão altamente concentrados, com maior apoio público para atividades de pesquisa no Reino Unido (3,33 milhões de euros), Alemanha (36,77 milhões de euros) e Espanha (23,76 milhões de euros) e maiores investimentos corporativos na Dinamarca (361 milhões de euros) (CORSATEA, 2014).

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).

Mais uma prova da concentração do patenteamento verde nestes países é que, no levantamento de dados feito por Ruggi *et al.* (2017), o Japão foi o país com o maior número de requerentes principais (primeiro solicitante dos documentos) das patentes, reunindo 836 (72,26%) atores desta categoria, seguido da China com 123 (10,63%) e Estados Unidos com 98 (8,47%), colocando as três maiores economias mundiais em maior evidência. Quanto ao destino, 797 tiveram o Japão como destino, o que representa aproximadamente 68,89% das patentes do período 1997-2016, seguido da China com 127 registros (10,98%) e Estados Unidos com 111 (9,59%). Dessa forma, apenas Japão e China, sem considerar outros países asiáticos, que tiveram patentes como destino, representam cerca de 80% das patentes indexadas na busca.

Wong *et al.* (2016), por sua vez, destacaram as áreas de tecnologias verdes que vêm obtendo maior destaque em cada país. A combinação de calor e energia e o isolamento de edifícios, tanto para a China quanto para membros da ASEAN<sup>7</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 limpa (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>8</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

---

<sup>7</sup> Tailândia, Malásia, Indonésia e Filipinas

<sup>8</sup> Refere-se à seção de Novos Desenvolvimentos Tecnológicos da Classificação Cooperativa de Patentes



como EUA, Japão e Canadá seguidos pelos países em desenvolvimento que incluem Índia, China, Rússia e Brasil.

Já Domac, Richardsb e Risovic (2005) num estudo realizado com países da União Europeia, constatam, sob uma perspectiva macroeconômica, que a bioenergia tem influência em elementos importantes para o desenvolvimento de um país, como o crescimento econômico por meio da expansão dos negócios e ganhos de emprego; substituição de importações, o que acarreta efeitos econômicos diretos e indiretos no PIB; melhoria de eficiência e diversificação dos campos energéticos.

Outro ponto que incentiva a produção de tecnologias verdes é a sua capacidade de difusão. Prova disso é que as patentes verdes não são apenas citadas com maior frequência, elas também são citadas por aquelas patentes citadas com maior frequência, independentemente de sua área tecnológica. E ainda é mais provável que tecnologias verdes sejam mais citadas do que aquelas relacionadas a produção de tecnologias fósseis. Isso também será válido para invenções. Invenções que citam invenções verdes são mais citadas por cerca de 30% do que invenções que citam invenções de tecnologias fósseis (DECHEZLEPRÊTRE *et al.*, 2013; NOAILLY; SHESTALOVA, 2013; CONSTANTINI *et al.*, 2016).

Sobre esse ponto, Popp, Newell e Jaffe (2010) constatam que, a partir das últimas duas décadas, economistas ambientais começaram a investigar o papel da difusão internacional de tecnologia para tecnologias verdes. A difusão internacional é particularmente importante para problemas como as mudanças climáticas, pois as emissões de carbono estão crescendo mais rapidamente nos países em desenvolvimento do que no mundo desenvolvido. Pesquisas recentes sugerem que os países em desenvolvimento podem tirar proveito de tecnologias verdes desenvolvidas em países de alta renda, mas que a política ambiental e comercial afetará o ritmo e a qualidade da difusão internacional de tecnologia.

Seguindo nessa linha, Lanjouw e Mody (1996) usam 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.

Lovely e Popp (2008) concentram-se 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*.

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. Aumentar a penetração dessas fontes de energia no sistema é particularmente desafiador, dada a atual falta de tecnologias baratas de armazenamento em larga escala (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).

Constata-se então que não é fácil integrar energia renovável no *mix* de eletricidade. Uma razão é que, diferentemente das unidades de energia convencionais, a eletricidade produzida a partir de turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos, por exemplo, varia com o tempo e com as condições climáticas. O fornecimento de eletricidade dessas fontes ainda é, de certa forma, imprevisível, pois as condições climáticas raramente são previstas mais de cinco dias antes. Junto a isso, a questão dos preços também se torna relevante, já que um aumento no preço relativo da energia oriunda de tecnologia fóssil leva a um aumento na quantidade relativa de inovação realizada em tecnologias verdes (AMBEC; CRAMPES, 2017; LANZI; WING, 2011).

Até este ponto, foi visto que os transbordamentos de conhecimento e os processos de inovação em tecnologias estão condicionados ao caminho seguido pelos agentes econômicos. A escolha de quanto inovar por um determinado caminho é influenciada pela prática dos países onde seus pesquisadores/inventores estão localizados e pelo *path dependence*, i.e, a tendência é a de direcionar a inovação para o que eles já são bons. Trata-se uma questão inercial, com a inovação em tecnologias verdes dependente do caminho da empresa e de seu respectivo nível tecnológico, o que implica em que aquelas firmas que começaram com um estoque maior de patentes de tecnologias verdes tendem a inovar num ritmo mais rápido no futuro nessa área, assim como as que produzem tecnologias nos campos de tecnologias fósseis, que tendem a continuar e a não se desvencilhar desse caminho de produção (AGHION *et al.*, 2012; AGHION *et al.* 2014). Esse processo será melhor analisado na seção seguinte.

#### 2.4 O PROCESSO DE *PATH DEPENDENCE* NA PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS

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 caminhos: 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.

Essa questão de *path dependence* tem, nos últimos anos, se mostrado presente também nas indústrias de alta tecnologia. Elas são particularmente propensas à dependência do caminho por causa de fatores como os efeitos de rede, fazendo com que a sociedade possa ficar presa a um determinado padrão tecnológico. Esse argumento encontra base em muitas ações antitruste relacionadas à Microsoft e outros casos antitruste, como o da Intel (LIEBOWITZ; MARGOLIS, 1999; AGHION *et al.*, 2014). No entanto, Aghion *et al.* (2014) ressaltaram que a dependência de caminho também pode ter seus pontos positivos. Primeiro, os cientistas trabalham em áreas que são bem financiadas e onde outros bons cientistas trabalham; segundo, os incentivos para implantar inovações que alavancam a infraestrutura existente são muito mais altos do que aqueles destinados a novas infraestruturas e novos processos; e, finalmente, os incentivos à adoção de uma tecnologia específica criam essa dependência de caminho, com os benefícios do uso de um produto aumentando com o número de outros usuários.

Uma das possíveis fontes de *path dependence* é o bloqueio tecnológico, que tem como característica o desenvolvimento de um regime tecnológico regional especializado ou de um sistema de inovação por meio de processos de aprendizado coletivo local, de comportamento isomórfico, organizações dedicadas à tecnologia e pesquisa, divisão do trabalho e outras formas de inter-relação técnica (MARTIN; SUNLEY, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2018; STEIN, 2017). Tal aprisionamento, quando em uma tecnologia inferior, provoca perdas de bem-estar significativamente maiores do que aquelas verificadas quando da presença de falhas de mercado, principalmente sob metas ambiciosas de mitigação das mudanças climáticas (KALKUHL; EDENHOFER; LESSMANN, 2011).

Esse conceito de aprisionamento 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, 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).

Do trabalho em questão considera-se, primeiro, o resultado do equilíbrio *laissez-faire*. Este consiste num equilíbrio descentralizado sem qualquer intervenção política e que tem como resultado um desastre ambiental que, todavia, pode ser evitado com uma política simples de “redirecionamento de mudanças técnicas”. Tal desastre ocorre, pois, a produção de insumos sujos sempre cresce sem vinculação e que um nível de produção de insumo sujo maior leva necessariamente a um desastre no próximo período.

Para solucionar essa questão, como já ressaltado, faz-se necessária uma mudança técnica direcionada. Este processo toma por base que um subsídio temporário para a pesquisa em tecnologias verdes evitará um desastre ambiental, desde que os insumos de tecnologia verde sejam substitutos fortes em relação aos insumos de tecnologia fóssil. Em contraste, quando os dois insumos são substitutos fracos, um subsídio temporário para a pesquisa em tecnologias verdes não pode evitar um desastre ambiental. Portanto, a ideia da mudança técnica direcionada consiste em incentivos temporários suficientes para redirecionar a mudança técnica para

tecnologias verdes, com suficiente substitubilidade, uma vez que as tecnologias verdes estejam suficientemente avançadas, a inovação e a produção que maximizam o lucro passarão automaticamente para essas tecnologias, e o desastre ambiental poderá ser evitado sem uma intervenção adicional.

Outra possibilidade destacada pelos autores é alcançar uma alocação socialmente ótima que pode ser implementada usando um imposto sobre o insumo fóssil (um imposto “carbono”), um subsídio para inovação em tecnologias verdes e um subsídio para o uso de todas as máquinas (todos os recursos provenientes de impostos/subsídios redistribuídos/montante fixo financiado). Este resultado é intuitivo, tendo em vista o fato de que a alocação socialmente ótima deve corrigir as seguintes falhas de mercado na economia: a subutilização de máquinas devido ao preço monopolista no equilíbrio *laissez-faire* é corrigida por um subsídio para máquina e a externalidade ambiental negativa, por sua vez, é corrigida pela introdução de um imposto sobre a utilização do insumo poluidor. Nesse sentido, desde que a elasticidade de substituição entre insumos de tecnologias verdes e fósseis seja suficientemente alta, a regulação ambiental ideal deve envolver uma mudança imediata de recursos de P&D para tecnologias verdes, seguida de uma mudança gradual de toda a produção para insumos de tecnologia verde. Esta conclusão parece ser robusta ao conjunto de taxas de desconto usadas em Stern (2007) e Nordhaus (2002). É interessante notar que, na maioria dos casos, a regulação ambiental ideal envolve pequenos impostos de carbono porque os subsídios à pesquisa são capazes de redirecionar a inovação para tecnologias verdes antes que ocorram danos ambientais mais extensos.

Em resumo, as contribuições feitas em Acemoglu *et al.* (2012) enfatizam o papel de três fatores que afetam a direção da mudança técnica. Primeiro, o efeito preço, incentivando a inovação no setor com preços mais altos. Segundo, o efeito do tamanho do mercado, incentivando a inovação no setor para o qual há uma demanda maior. Terceiro, o efeito direto da produtividade, que impulsiona a inovação em direção a tecnologias com maior produtividade ou estoque de conhecimento existente. Essa última característica resulta da capacidade de “construir nos ombros dos gigantes”, i.e, inovações futuras estão se baseando no estoque existente de conhecimento ou tecnologia, gerando assim dependências de caminho no processo de criação tecnológica.

Nesse mesmo caminho, Sue Wing (2006) desenvolve uma teoria no contexto da política de mudanças climáticas, adicionando externalidades e tributação ambiental ao modelo de

Acemoglu (2002). Sue Wing (2006) mostra que um imposto ambiental sempre desvia a produção do bem oriundo de tecnologia fóssil para o bem produzido por tecnologia verde. No entanto, isso não significa, necessariamente, que o imposto ambiental incline também a inovação para a pesquisa em tecnologias verdes. Em vez disso, isso depende da substitubilidade entre os insumos de ambas as tecnologias. Se o insumo de tecnologia verde não é prontamente substituível pelo insumo de tecnologia fóssil mais caro, a quantidade absoluta de P&D em tecnologias fósseis exibe um perfil que aumenta sob impostos ambientais pequenos, mas diminui sob impostos ambientais mais altos.

Com isso, há evidências na literatura que sugerem que a inovação em tecnologias verdes, pode ser mais inovadora e produtiva do que a alternativa convencional fóssil (NOAILLY; SHESTALOVA, 2013; BRAUN; SCHMIDT-EHMCKE; ZLOCZYSTI, 2010; SIMMIE; STERNBERG; CARPENTER, 2014; AGHION *et al.*, 2012). Outro exemplo também bastante relevante encontrado é o de Dechezleprêtre *et al.* (2013) que, usando dados de 1 milhão de patentes e 3 milhões de citações, constataram que as repercussões da inovação de baixo carbono são mais de 40% maiores do que nas tecnologias convencionais (nos setores de produção e transporte de energia). A importância desse efeito não pode ser subestimada.

A relevância do modelo proposto por Acemoglu *et al.* (2012) para a questão de como se desvencilhar da questão do *path dependence* foi de notório destaque que se pode verificar, na literatura empírica, vários trabalhos subsequentes que tiveram como base as ideias propostas pelos autores (NOAILLY; SMEETS, 2012; NOAILLY; SHESTALOVA, 2013; AGHION *et al.*, 2014; MENG, 2016; LAZKANO; NOSTBAKKEN; PELLI, 2016; AMBEC; CRAMPES, 2017).

Lazkano, Nostbakken e Pelli (2016), por exemplo, constataram que um preço mais alto dos combustíveis fósseis reduz a inovação não apenas nessas tecnologias, mas também nas tecnologias verdes, sugerindo que um preço mais alto do combustível reduz inovação em tecnologias verdes mais do que reduz a inovação em tecnologias fósseis convencionais. Dado o efeito de *feedback* positivo existente entre a inovação em tecnologias verdes e nas tecnologias de armazenamento, menos inovação em tecnologias verdes resultante de um preço mais alto de combustível desencoraja indiretamente a inovação em armazenamento, que, por sua vez, afeta a inovação verde. Portanto, até que existam soluções de armazenamento de eletricidade mais eficientes, é improvável que a tributação de combustíveis fósseis estimule a inovação em

tecnologias verdes e nas tecnologias de armazenamento, a menos que se combine essa política com outros instrumentos que estimulem a inovação nessas tecnologias.

E destaca-se também, neste contexto, Noailly e Smeets (2012) que 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.

Dada a relevância do problema e os efeitos causados pelo fenômeno de *path dependence* expostos até o momento, 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*) 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 estímulos 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).

Com base nesses mesmos raciocínios 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 a maiores investimentos em P&D.

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).

Com relação à questão dos *spillovers*, Aghion *et al.* (2012) construíram um novo conjunto de dados de painel sobre inovações automotivas para examinar se as empresas redirecionam mudanças técnicas em resposta aos preços dos combustíveis no contexto da inovação dependente do caminho. Os dados consistem em patentes triádicas, que foram retiradas nas três principais agências de patentes do mundo: o Escritório de Patentes Europeu (*EPO*), o Escritório de Patentes Japonês (*JPO*) e Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos (*USPTO*), incluindo um total de 6.419 patentes triádicas limpas e 18.652 sujas. O coeficiente relativo aos transbordamentos recebe sinal consistente com a hipótese de dependência de caminho. As empresas que estão mais aptas a absorverem estoques de conhecimento de patentes verdes, oriundos de outras empresas, têm uma probabilidade significativamente maior de produzir patentes verdes. Por outro lado, as empresas que absorvem mais conhecimento de tecnologias fósseis são significativamente menos propensas a inovar em tecnologias verdes.

Diante do que foi apresentado até aqui, este trabalho traz como contribuição verificar a influência de alguns possíveis condicionantes da produção tecnológica verde, para regiões de países da OECD e seus parceiros econômicos, num período específico (1990-2016), que engloba o momento da ratificação de relevantes acordos climáticos. Algumas questões também podem ser levantadas: o processo de *path dependence* é relevante na produção de tecnologias verdes? As regulamentações ambientais e/ou acordos climáticos denotam alguma significância nesse contexto? O nível de desenvolvimento econômico da região/país exerce influência nos processos de produção tecnológica e patenteamento verde? Estas questões serão respondidas nos próximos capítulos.

### 3 METODOLOGIA

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 a substituição do uso de tecnologias fósseis por 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 (VIOTTI, 2002; 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 1990-2016, o presente estudo foca no desempenho da produção em 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 aqui apresentadas em um e dois anos 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.

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

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

Onde:

$\text{Verde}_{i,t}$ : total de patentes verdes na região  $i$  no período  $t$ , definidas como patentes que possuem alguma classificação considerada como verde pela *IPC Green Inventory* da *WIPO*<sup>9</sup>. Também será considerada como variável dependente, numa segunda perspectiva, *Total\_Verde*, que representa a contagem do total de códigos *IPC* verdes na região  $i$  o período  $t$ . Essa perspectiva considera que cada código *IPC* verde representa algum tipo de competência em tecnologia verde. Como uma patente pode ter mais de um código *IPC*, o indicador representa um estoque de competências em tecnologias verdes;

$\text{Fóssil}_{i,t}$ : estoque de patentes que possuem alguma classificação considerada como fóssil na região  $i$  no período  $t$ . Assim como foi feito para a variável anterior, tem-se aqui uma segunda métrica, com a variável *Total\_Fóssil* representando a contagem do total de códigos *IPC* fósseis<sup>10</sup> na região  $i$  o período  $t$ ;

$\text{Verde}_{i,t-n}$ : variável dependente defasada temporalmente, onde  $n$  é o número de *lags temporais*;

$\text{Fóssil}_{i,t-n}$ : variável  $\text{Fóssil}_{i,t}$  defasada no tempo, onde  $n$  é o número de *lags temporais*;

$\text{P\&D}_{i,t}$ : intensidade dos gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D);

$\text{Q}_{i,t}$ : índice de qualidade das patentes da região  $i$  no período  $t$ ;

$\text{Spillovers}_{i,t}$ : citações realizadas pela região  $i$  a uma ou mais patentes de regiões externas no período  $t$ ;

$\text{Educ}_{i,t}$ : proporção da população entre 18-64 anos com ensino superior completo da região  $i$  no período  $t$ ;

$\text{EmpInd}_{i,t}$ : proporção da população empregada na indústria na região  $i$  no período  $t$ ;

$\text{PIBpc}_{i,t}$ : PIB *per capita* da região  $i$  no período  $t$ ;

<sup>9</sup> Classificação descrita na figura A1, feita a partir do código *IPC* e com base nos códigos *IPC Green Inventory*.

<sup>10</sup> Classificação descrita na tabela A2, feita a partir do código *IPC* e com base em Noaily e Shestalova (2013).

$G7$ : *dummy* que assume 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>11</sup>;

$\alpha_i$ : efeito fixo regional não observável e invariante no tempo;

$\varepsilon_{i,t}$ : 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 ainda que, a fim de evitar vieses advindos da escala da variável dependente, utiliza-se esta variável em logaritmo. Ademais, a defasagem temporal da variável dependente é intrinsicamente endógena por ser correlacionada com o efeito não observado, termo de erro. Dessa forma, a presença dessa endogeneidade, assim como a possível endogeneidade de outras explicativas, inviabiliza a estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), a qual produziria estimativas viesadas e inconsistentes. Com a inclusão da dependente em lag temporal como explicativa e considerando a estrutura de painel dos dados, deve-se considerar ainda que quando a heterogeneidade não observada é um efeito fixo, estimações por Efeito Fixo (EF) ficam inconsistentes (quando  $T$  é fixo e  $N$  tende ao infinito). Neste caso, uma melhor estimação seria por usar a solução proposta por Arellano e Bond (1991), Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998), onde utiliza-se as endógenas defasadas temporalmente como forma de evitar a problemas de correlação serial entre as variáveis.

Na solução proposta por Arellano e Bond (1991), *Diference GMM*, usa-se as primeiras diferenças para eliminar a heterogeneidade não observada, ao invés da diferença pela média como no EF. O método de Arellano-Bond usa os lags temporais como instrumentos das variáveis, uma vez que a variável defasada por não ser correlaciona com o termo de erro poder ser usada como instrumento. Contudo, em alguns casos, os níveis defasados dos regressores são instrumentos ruins para os regressores em primeiras diferenças, neste caso, deve-se utilizar o *GMM system*, Arellano e Bond (1995). O estimador do GMM system usa a equação em nível para obter um sistema de duas equações: uma diferenciada e uma em nível. O modelo via *GMM System* se torna adequado para estimar um painel dinâmico pois permite controlar possíveis fontes de endogeneidade.

---

<sup>11</sup> Grupo formado por Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido.

### 3.1 BASE DE DADOS E VARIÁVEIS

As principais variáveis utilizadas no presente estudo 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>12</sup>, abrangendo o período entre os anos de 1990 e 2016<sup>13</sup>. 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) e o Nível Territorial (TL2). A relação completa de países encontra-se na Tabela A.1 do Apêndice. Assim, obtém-se uma base de dados regional em um painel não balanceado.

A análise utiliza os depósitos de patentes incluídos na *PCT*, que oferece procedimento unificado, de baixo custo, a cada um dos seus países signatários. O uso de registros de patentes do *PCT* possui vantagens em relação ao uso de registros de depósitos de patentes locais, como as bases do *European Patent Office (EPO)*, *United States Patent and Trademark Office’s (USPTO)* ou *Japanese Patent Office (JPTO)*. Estas últimas são preferidas por depositantes nacionais, podendo conter um viés doméstico que pode comprometer a comparabilidade internacional das estatísticas de patentes. Além de evitar esse tipo viés, o uso das patentes da *PCT* possui a vantagem de seus registros filtrarem as invenções de maior valor econômico, sendo crescente seu uso em pesquisas (MADSEN, 2007; NAGAOKA *et al.*, 2010).

Os dados referentes às citações de patentes, necessários para a construção das variáveis *Qualidade* e *Spillovers*, foram obtidos na “*OECD Citations Database*”, considerando-se apenas os depósitos de patentes *PCT* que possuíam informações sobre a localização geográfica de origem do inventor. As demais variáveis como P&D, PIB *per capita* e Empregados na Indústria foram obtidas a partir do portal “*OECD Data*”.

A variável dependente do modelo, descrita por  $Verde_{i,t}$ , será analisada sob duas perspectivas. A primeira delas é construída por meio de um processo de contagem, i.e., considera-se o total de

---

<sup>12</sup> Do inglês, Patent Cooperation Treaty

<sup>13</sup> Como as estimações possuem pelo menos uma defasagem temporal, nelas não é incluído o primeiro ano da amostra.

códigos relacionados a tecnologias verdes existentes em cada região NUTS2 ( $Total\_Verde_{i,t}$ ). A segunda, por sua vez, considera o número de patentes depositadas na *European Patent Office (EPO)* que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia verde ( $Verde_{i,t}$ ), como os descritos no Quadro A.1, com base nos códigos *IPC Green Inventory* da *WIPO*.<sup>14</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 e fósseis. Essa ideia tem alicerce em Acemoglu *et al.* (2012), onde os autores buscam mostrar formas de como controlar e limitar as mudanças climáticas causadas pelo crescente consumo de combustíveis fósseis e desenvolver fontes alternativas de energia para esses tipos de combustíveis, destacando que este é um dos desafios políticos mais urgentes que o mundo enfrenta na atualidade. A diferenciação entre grupos de tecnologias verdes e grupos de tecnologias fósseis encontra-se descrita nas Tabelas A.2 e A.3 reportadas no Apêndice.

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 no Quadro A.2 do Apêndice. A variável  $Total\_Fóssil$ , por sua vez, é construída por meio de um processo de contagem, considerando o total de códigos *IPC* relacionados a tecnologias fósseis presente em cada região NUTS2. 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  $P\&D_{i,t}$ , 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

---

<sup>14</sup> *World Intellectual Property Organization*, em português, Organização Mundial de Propriedade Intelectual

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.

A variável  $Q_{i,t}$ , representa um índice de qualidade das patentes da região e é calculada como  $Q_{it} = \frac{Citações_{it}}{Patentes_{it}}$ , consistindo numa razão entre o número de citações das 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 a variável de Qualidade, propõem-se a captar características inerentes à 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>15</sup>

---

<sup>15</sup> As variáveis Educação e *Spillovers* serão defasadas em um período e a Intensidade de P&D em um e dois períodos. Estas defasagens mostram-se necessárias, pois estas variáveis denotam características que levam um certo tempo de aprendizado e maturação para produzirem seus efeitos.

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 à 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.

A variável  $PIBpc_{i,t}$  representa o PIB *per capita* da região  $i$  no período  $t$ . Esta variável funciona como uma espécie de *proxy* da renda regional e considera que regiões mais desenvolvidas produzam mais tecnologias verdes. Um exemplo disso, foi um estudo realizado para trinta países no ano de 2012, onde se observou que os países que mais investiram na adoção de veículos elétricos representavam uma maioria significativa do PIB *per capita* global (SIERZCHULA *et al.*, 2014). Dessa forma, esta variável é considerada exógena no modelo e espera-se que sua relação com a variável dependente tenha caráter positivo.

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. Espera-se que os países mais ricos produzam mais invenções verdes.

### 3.2 ENDOGENEIDADE<sup>16</sup>

A estimação em painel é importante para controlar a heterogeneidade não observada das diferentes regiões e de diferentes países, heterogeneidade essa que é invariante no tempo e está representada na equação (1) por  $\alpha_i$ . Esta heterogeneidade se refere às características institucionais que apesar de não serem observadas podem afetar a inovação, como políticas tecnológicas regionais, habilidades herdadas da comunidade local, perfil das instituições educacionais superiores, cultura inovativa herdada, e outras características históricas do tipo *path dependent* que podem gerar diferenças espaciais nas taxas de inovação (MIGUÉLEZ; MORENO, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2018).

A utilização de dados em painel, no entanto, pode estar sujeita à ocorrência de endogeneidade. Esta ocorre quando a correlação entre alguma variável explicativa  $x_j$  do modelo e o termo de erro  $\varepsilon_{it}$  é diferente de zero,  $Cov(x_j, \varepsilon_{it}) \neq 0$ , fato que inviabiliza a estimação via MQO, ao gerar

---

<sup>16</sup> As seções 3.1 e 3.2 foram escritas baseadas em Woodridge (2010).



estimativas viesadas e inconsistentes. De acordo com Wooldridge (2010), a endogeneidade geralmente pode surgir por três motivos principais:

- a) Devido a variáveis omitidas: a existência de variáveis importantes que estão sendo omitidas ocorre geralmente por indisponibilidade dos dados e causam um problema quando se quer controlar uma ou mais variáveis adicionais. Especificamente, suponha que  $E(y | \mathbf{x}, q)$  é a expectativa condicional de interesse, que pode ser escrita como uma função linear em parâmetros e aditiva em  $q$ . Se  $q$  for não observado, sempre se pode estimar  $E(y | \mathbf{x})$ , mas isso não precisa ter nenhuma relação particular com  $E(y | \mathbf{x}, q)$  quando  $q$  e  $\mathbf{x}$  podem ser correlacionados. Considerando  $q$  como parte do termo de erro  $u$ , se  $q$  e  $x_j$  estão correlacionados, então  $x_j$  é endógeno. A correlação das variáveis explicativas com essa variável não observável é geralmente devido à auto seleção: se os agentes escolherem o valor de  $x_j$ , isso poderá depender de fatores ( $q$ ) não observáveis. Um exemplo pode ser visto em uma equação salarial, em que os anos de escolaridade de um indivíduo provavelmente estão correlacionados com a habilidade não observada;
- b) Por erro de medição: este ocorre quando pretende-se medir o efeito (parcial) de uma variável,  $x_k^*$ , mas só se pode observar uma medida imperfeita dela,  $x_k$ . Quando  $x_k$  e  $x_k^*$  são ligados, necessariamente surge um erro de medição em  $u$ . Dependendo das suposições sobre como  $x_k$  e  $x_k^*$  estão relacionados,  $u$  e  $x_k$  podem ou não estar correlacionados;
- c) Devido ao problema de simultaneidade: a simultaneidade surge quando pelo menos uma das variáveis explicativas é determinada, simultaneamente, com a variável dependente  $y$ . Se  $x_k$  é determinado parcialmente como uma função de  $y$ , bem como  $y$  é explicado por  $x_k$ ,  $x_k$  e  $u$  são geralmente correlacionados. Por exemplo, se  $y$  é a taxa de homicídios na cidade e  $x_k$  é o tamanho da força policial, o tamanho da força policial é parcialmente determinado pela taxa de homicídios e a taxa de homicídios tende a ser afetada pela variação da força policial.

Como este trabalho busca verificar o comportamento, a produção e o patenteamento nas áreas de tecnologias verdes, para o período de 1990 a 2016, algumas variáveis explicativas do modelo não apenas afetam a produção ou o crescimento da produção tecnológica verde, mas também podem, por si só, serem afetadas pelo crescimento dessa produção. Esse problema de endogeneidade ou causalidade reversa é especialmente relevante para gastos e investimentos ambientais devido às complexas inter-relações dinâmicas entre o desempenho ambiental e

econômico. Assim, no presente estudo, a endogeneidade advém principalmente da utilização dos *lags* temporais e do problema da simultaneidade, relatado no item c), entre algumas variáveis explicativas e a dependente. Tal fato ocorre com a variável referente às atividades de P&D. A produção tecnológica verde tende a ser influenciada pelas atividades de P&D, visto que novos conhecimentos são necessários para invenções, principalmente nesta área tão específica, ao passo que a produção de tecnologias verdes tende a fomentar a realização de maiores níveis de P&D.

Sendo assim, é necessário fazer o controle da endogeneidade. A solução genérica para este problema seria a utilização de variáveis instrumentais. Considerando um modelo genérico inicial  $y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$ , a variável  $x$  será endógena se for correlacionada com  $\varepsilon$ . Este problema impossibilitará a correta estimação do parâmetro de interesse  $\beta$ , a menos que exista outra variável  $z$  que seja, ao mesmo tempo, correlacionada com  $x$  e não-correlacionada com  $\varepsilon$ . Portanto, com respeito ao modelo acima,  $z$  seria uma variável “exógena” (BARROS *et al.*, 2010).

Nesse sentido, Barros *et al.* (2010) destacam que alguns métodos foram desenvolvidos tendo como foco a estimação de modelos dinâmicos, com o *GMM*. Entenda-se por especificações dinâmicas, neste contexto, modelos empíricos que incluem entre os regressores uma ou mais defasagens da variável dependente. Em outras palavras, numa formulação, incluir-se-ia  $y_{it-1}$  entre os regressores e, por definição,  $y_{it-1}$  não é uma variável estritamente exógena. Esta modelagem, portanto, condiz com o que será apresentado neste presente trabalho.

Como deseja-se verificar a possível existência de *path dependence*, além das variáveis dependentes, as variáveis explicativas Total\_Fóssil e Fóssil que representam, respectivamente, o total de códigos *IPC* relacionados aos campos tecnológicos fósseis e as patentes depositadas na *EPO* que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia fóssil, também serão defasadas temporalmente. Assim como em Böhringer *et al.* (2011), o número máximo de defasagens consideradas será igual a três, pois se o número de períodos for superior, o modelo para dados em painel tende a ficar superidentificado com um número excessivo de instrumentos. Portanto, a utilização do método *GMM System* mostra-se adequada ao presente trabalho, controlando a endogeneidade advinda da utilização de *lags* temporais das variáveis em questão.

Em Böhringer *et al.* (2011) este método foi utilizado para controlar a heterogeneidade não observada, invariável no tempo, entre setores produtivos e nos processos de ajuste dinâmico da variável dependente, já por Verdolini, Vona e Popp (2016), devido à interdependência das decisões de investimento na produção de energia fóssil e renovável. Em Khan *et al.* (2018), devido à presença de efeitos fixos entre os países, o modelo proposto pelos autores deflagrou o problema da heterogeneidade não observada específica de cada país e os estimadores *GMM System* reduziram o problema de correlação serial e heterogeneidade.

### 3.3 MÉTODO ECONOMETRICO

Por causa da natureza dependente da trajetória do patenteamento, inclui-se como variável explicativa do modelo descrito na equação (1) os *lags* temporais das variáveis dependentes, Verde e Total\_Verde, e das variáveis independentes Fóssil e Total\_Fóssil. Contudo, pode-se considerar o coeficiente da defasagem temporal da variável dependente enviesado para cima, pois  $Verde_{i,t-1}$  é positivamente correlacionada com o termo de erro, gerando o chamado viés de Nickell (MATOS, 2018). Tal fato, atribui poder preditivo à variável endógena que, na verdade, pertenceria ao efeito fixo que está no termo de erro (ROODMAN, 2006). Uma alternativa para resolver este problema é usar um estimador que expurgue o efeito fixo não observável das regiões. Uma forma de fazer isso é a transformação do modelo em primeiras diferenças. A primeira diferença elimina o efeito fixo por esse ser constante, permitindo estimativas consistentes. Arellano e Bond (1991) propôs estimar esta equação pelo método generalizado dos momentos (*GMM*), que minimiza as condições de momento da distribuição. Conhecido como *difference GMM*, este método estima a equação (1) da maneira transformada abaixo:

$$\begin{aligned} \Delta Verde_{i,t} = & \beta_0 + \Delta\beta_1 F\acute{o}ssil_{i,t} + \Delta\beta_2 F\acute{o}ssil_{i,t-1} + \Delta\beta_3 F\acute{o}ssil_{i,t-2} + \Delta\beta_4 Verde_{i,t-1} + \Delta\beta_5 Verde_{i,t-2} + \\ & \Delta\beta_6 P\&D_{i,t-1} + \Delta\beta_7 P\&D_{i,t-2} + \Delta\beta_8 Q_{i,t} + \Delta\beta_9 Spillovers_{i,t-1} + \Delta\beta_{10} Educ_{i,t-1} + \Delta\beta_{11} EmpInd_{i,t} + \\ & \Delta\beta_{12} PIBpc_{i,t} + \Delta\beta_{13} G7_{i,t} + \Delta\alpha_i + \Delta\varepsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (2)$$

O estimador elimina o efeito fixo individual mas a endogeneidade permanece, pois  $\Delta Verde_{i,t-1} = Verde_{i,t-1} - Verde_{i,t-2}$  é correlacionado com  $\Delta\varepsilon_{i,t-1} = \varepsilon_{i,t-1} - \varepsilon_{i,t-2}$  por meio de  $Verde_{i,t-1}$  e  $\varepsilon_{i,t-1}$ . Contudo, os *lags* anteriores da variável endógena permanecem ortogonais ao erro, podendo ser usados como instrumentos. Os instrumentos para  $\Delta Verde_{i,t-1}$  podem ser  $Verde_{i,t-2}$  e  $\Delta Verde_{i,t-2}$  pois estes termos estão relacionados a  $\Delta Verde_{i,t-1} = Verde_{i,t-1} - Verde_{i,t-2}$  e são ortogonais ao termo de erro  $\Delta\varepsilon_{i,t} = \varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}$  desde que  $\varepsilon_{i,t}$  seja não correlacionado serialmente. A fim de maximizar o tamanho da amostra é preferível instrumentalizar  $\Delta Verde_{i,t-1}$  com  $Verde_{i,t-2}$  em vez de  $\Delta Verde_{i,t-2}$  (ROODMAN, 2006).

Um problema com o estimador Arellano-Bond (AR) original é que as variáveis defasadas, em nível, podem ser instrumentos ruins para as primeiras diferenças se essas variáveis estiverem próximas de seguir um passeio aleatório. Para tentar resolver esse impasse, Arellano e Bover (1995) consideram como se a equação original com as variáveis em nível pudesse ser adicionada ao sistema e, dessa maneira, os instrumentos adicionais poderiam ser usados para aumentar a eficiência do estimador. Nessa equação, as variáveis em nível são instrumentos adequados de suas próprias primeiras diferenças, tendo como suposição necessária de que essas diferenças não podem estar correlacionadas com os efeitos não observados inerentes à uma região ou país.

Essa proposição de Arellano e Bover (1995) e Blundell e Bond (1998) estima as equações (1) e (2) simultaneamente, dando origem ao estimador *GMM System*. Nesse sistema, a equação em nível (1) é instrumentalizada pelas primeiras diferenças defasadas e a equação em diferenças (2) é instrumentalizada pelas variáveis em nível defasadas. A primeira diferença dos instrumentos os torna exógenos ao efeito fixo, permitindo o aumento do número de instrumentos e, conseqüentemente, a eficiência do estimador. Isto é válido assumindo-se que as mudanças nos instrumentos não sejam correlacionadas com o efeito fixo. Dada a característica dos dados, onde o N é alto e o T é baixo, utilizamos a abordagem proposta por Roodman (2006).

Por ser mais eficiente, o estimador *GMM System* será utilizado para a estimação do modelo proposto na equação 1. O processo gerador dos dados em questão possui as características necessárias para o uso adequado desse estimador, ou seja: 1) o processo é dinâmico, pois a inovação regional mensurada sob a forma de patentes em  $t$  tende a ser influenciada pelas atividades inovativa e de patenteamento da região em períodos anteriores; 2) existe efeito fixo individual arbitrariamente distribuído entre as regiões; 3) algumas variáveis explicativas são endógenas; e 4) os *lags* das variáveis a serem instrumentalizadas estão disponíveis como instrumentos (ROODMAN, 2006).

A consistência do estimador *GMM system* depende da exogeneidade das variáveis explicativas e da ausência de correlação serial dos resíduos em nível. A primeira condição é avaliada pelo teste de Hansen (teste J), que testa a hipótese conjunta da correta especificação do modelo e de ortogonalidade. Esse teste é o mais adequado para verificar a validade dos instrumentos no contexto de heterocedasticidade e testa a hipótese nula de correta especificação do modelo e de ortogonalidade dos instrumentos (BAUM, 2006). Sua rejeição implica que as condições de

ortogonalidade não são satisfeitas, o que pode indicar que os instrumentos não são realmente exógenos ou que foram incorretamente excluídos da regressão (BAUM *et. al.*, 2003).

A segunda condição para a consistência do estimador é a ausência de correlação serial dos resíduos em nível, o que é verificado pelo teste de autocorrelação AR. O teste AR tem como hipótese a ausência de autocorrelação serial de primeira ordem nos resíduos (AR(1)) e presença de autocorrelação de segunda ordem (AR(2)). A transformação em primeira diferença introduz a autocorrelação dos resíduos em diferenças e, para que o modelo seja válido, o teste AR deve indicar presença de autocorrelação de primeira ordem em diferenças e ausência de autocorrelação de segunda ordem em diferenças (ARELLANO; BOND, 1991). A autocorrelação de primeira ordem decorre da transformação em primeiras diferenças. A ausência de autocorrelação de segunda ordem nos resíduos em diferenças implica ausência de autocorrelação de primeira ordem dos resíduos em nível, condição necessária para a validade dos instrumentos e para a consistência do estimador.

O estimador *GMM system* pode ser calculado em um ou dois passos, sendo este último empregado neste trabalho. Na estimação em duas etapas, a matriz de covariância padrão já é robusta em teoria, mas normalmente gera erros padrão com tendência para baixo. Para compensar, implementa-se uma amostra de correção finita para a matriz de covariância de duas etapas derivada de Windmeijer (2005). Isso pode tornar as estimativas robustas de duas etapas mais eficientes do que as de uma etapa robusta, especialmente para o *GMM System*.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis independentes utilizadas no estudo, incluindo aquelas defasadas temporalmente, para o período de análise, 1990 a 2016<sup>17</sup>.

**Tabela 1 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico (1990-2016)<sup>18</sup>**

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Verde <sub>t</sub>	1,39	1,61	0	8,34
Verde <sub>t-1</sub>	1,38	1,61	0	8,34
Verde <sub>t-2</sub>	1,32	1,59	0	8,34
Total_Verde	1,10	1,43	0	7,82
Total_Verde <sub>t-1</sub>	1,07	1,42	0	7,82
Total_Verde <sub>t-2</sub>	1,02	1,39	0	7,82
Fóssil <sub>t</sub>	0,29	0,70	0	6,28
Fóssil <sub>t-1</sub>	0,29	0,70	0	6,28
Fóssil <sub>t-2</sub>	0,28	0,68	0	6,28
Total_Fóssil	0,51	0,98	0	7,01
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>	0,51	0,98	0	7,01
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>	0,49	0,97	0	7,01
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	3,74	2,16	0	10,11
Qualidade <sub>t</sub>	2,35	5,35	0	402
Educação <sub>t-1</sub>	3,17	0,51	0	4,38
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	1,57%	1,26%	0,01%	10,24%
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	1,57%	1,26%	0,01%	10,24%
Emprego na Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	13,42	1,33	9,73	19,19
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,51	6,99	2,38e-07	193,98

Fonte: Elaboração Própria

A análise descritiva inicial dos dados permite verificar que há a presença de muitos valores iguais à zero no caso das variáveis Verde, Total\_Verde, Fóssil e Total\_Fóssil, em nível, implicando que certas regiões não apresentam nenhuma atividade, seja ela oriunda de

<sup>17</sup> A Tabela A.2, que se encontra no apêndice, apresenta as correlações entre as variáveis explicativas do modelo. Verifica-se um conjunto de valores estáveis sem ocorrência de valores maiores ou iguais a 0,70, indicando que as independentes possuem baixa correlação entre si, não havendo endogeneidade advinda da correlação entre os regressores.

<sup>18</sup> A fim de amenizar a escala das variáveis, todas foram colocadas em *ln* na realização das estimações.

tecnologia verde, seja ela de tecnologia fóssil. Essa afirmação pode ser constatada ao verificar-se que das 729 regiões no ano de 1990, 174 delas, i.e, cerca de 24% do total, não apresentaram nenhuma atividade relacionada às tecnologias verdes, 299, ou seja, 41% do total, não tiveram atividade em tecnologias fósseis, e 164 do total de observações, compreendendo algo em torno de 22%, não possuem atividade nem em campos de tecnologias verdes nem em campos fósseis, como é o caso das regiões de Calabria, na Itália, Madhya Pradesh, na Índia, e Podlaskie, na Polônia.

A análise descritiva inicial dos dados permite verificar que há a presença de muitos valores iguais à zero no caso das variáveis Verde, Total\_Verde, Fóssil e Total\_Fóssil, em nível, implicando que certas regiões não apresentam nenhuma atividade, seja ela oriunda de tecnologia verde, seja ela de tecnologia fóssil. Essa afirmação pode ser constatada ao verificar-se que das 729 regiões no ano de 1990, 174 delas, i.e, cerca de 24% do total, não apresentaram nenhuma atividade relacionada às tecnologias verdes, 299, ou seja, 41% do total, não tiveram atividade em tecnologias fósseis, e 164 do total de observações, compreendendo algo em torno de 22%, não possuem atividade nem em campos de tecnologias verdes nem em campos fósseis, como é o caso das regiões de Calabria, na Itália, Madhya Pradesh, na Índia, e Podlaskie, na Polônia.

Considerando o ano de 2000, nota-se que, das 816 observações, 244, i.e, cerca de 30% do total, não apresentaram nenhuma atividade relacionada às tecnologias verdes, 434 delas, ou seja, 53% do total, têm a mesma característica só que para as tecnologias fósseis, e em torno de 29%, não possuem atividade nem em campos de tecnologias verdes nem em campos tecnológicos fósseis. Para o ano de 2010 e 2016, tem-se que considerando um universo de 721 e 731 observações, respectivamente, 219 (30%) e 208 (28%) não produzem tecnologia verde, 431 (59%) e 454 (62%) não produzem fósseis e 214 (29%) e 199 (27%) não produzem nenhuma dessas tecnologias.

Nota-se, portanto, uma diminuição na proporção de regiões que não realizaram atividades significativas nos campos tecnológicos verdes e/ou fósseis. Nota-se também a persistência de algumas dessas regiões durante todo o período de análise (1990-2016), em que não se nota produção em nenhuma das tecnologias, como é o caso do Território do Norte, na Austrália; Wallonia, na Bélgica; Castele-La Mancha, na Espanha e Gujarat, na Índia. Não se observa, portanto, um padrão de desenvolvimento entre essas regiões, dado que algumas destas são desenvolvidas e outras subdesenvolvidas.

Quanto às variáveis independentes, no caso do ano de 1990, os valores assumidos pelas variáveis PIB *per capita* e Intensidade de P&D<sub>t-1</sub> encontram-se, em sua maioria, acima das respectivas médias. Essas proporções em relação ao total de observações são, respectivamente, 93% e 97%. A variável Emprego na Indústria *per capita* mostra também concentração dos valores acima da média, respondendo por cerca de 93% do total de observações.

Considerando os anos de 2000 e 2010, nota-se que as variáveis explicativas permanecem relativamente estáveis do início para o fim da década. Os valores em questão são, respectivamente: Educação (80%; 78%); Intensidade de P&D (89%; 80%); Qualidade (46%; 42%); PIB *per capita* (58%; 55%); Emprego na Indústria *per capita* (69%; 74%) e *Spillovers* (39%; 33%).

As Tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 reportam um *ranking* das 10 regiões de maior notoriedade na produção de tecnologias verdes e fósseis, por meio da observação dos códigos *IPC* relacionados e o patenteamento dessas tecnologias nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2016. Juntas estas 10 regiões, que representam 1,5% do total de regiões, respondem por cerca de 40% a 50% do total de patentes em tecnologias verdes e fósseis.

As Tabelas 2 e 3 apontam para a relevância de Estados Unidos e Japão na produção tecnológica verde. Sendo, respectivamente, a primeira e a terceira maiores economias mundiais, contabilizam entre as 10 regiões com as maiores quantidades de códigos relacionadas à produção de tecnologias verdes, de forma conjunta, seis regiões em 1990, sete em 2000, e oito em 2010 e 2016, com destaque para a região da Califórnia, que assume o topo do *ranking* em 1990 e 2000, e para a região de Southern-Kanto, que assume tal posição em 2010 e 2016.

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 como a sétima região em 2010 e a quarta em 2016. 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 2 – 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionadas à Produção de Tecnologias Verdes (1990 e 2000)**

<b>Região/País</b>	<b>1990</b>	<b>Região/País</b>	<b>2000</b>
Califórnia, USA	122	Califórnia, USA	1496
Southern-Kanto, Japão	86	Southern-Kanto, Japão	821
Texas, USA	68	Nova York, USA	454
Nova York, USA	52	Texas, USA	436
Massachusetts, USA	51	Massachusetts, USA	353
Illinois, USA	49	New South Wales, Austrália	315
Vitória, Austrália	48	Kansai Region, Japão	307
Estocolmo, Suécia	47	Capital Region, Coreia do Sul	287
Oberbayern, Alemanha	46	Washington, USA	254
Köln, Alemanha	41	Illinois, USA	250

Fonte: Elaboração Própria

**Tabela 3 – 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionadas à Produção de Tecnologias Verdes (2010 e 2016)**

<b>Região/País</b>	<b>2010</b>	<b>Região/País</b>	<b>2016</b>
Southern-Kanto, Japão	2524	Southern-Kanto, Japão	2559
Califórnia, USA	1589	Califórnia, USA	1965
Kansai Region, Japão	899	Capital Region, Coreia do Sul	1910
Capital Region, Coreia do Sul	888	Guangdong, China	806
Toukai, Japão	820	Kansai Region, Japão	787
Washington, USA	403	Toukai, Japão	709
Guangdong, China	374	JPZZ, Japão	650
JPZZ, Japão	359	Texas, USA	540
Nova York, USA	352	Washington, USA	525
Texas, USA	342	Nova York, USA	466

Fonte: Elaboração Própria

Outro destaque positivo é a Coreia do Sul, que aparece com a Capital Region na quarta posição em 2010 e na terceira posição do *ranking* em 2016. 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 a um nível de 11% até 2030 (KIM *et al.*, 2012).

As Tabelas 4 e 5 apontam as regiões com maior o número de patentes que possuem pelo menos um código *IPC* relacionado às tecnologias verdes, como os descritos na Tabela A.2 reportada no Apêndice deste trabalho.

As Tabelas 4 e 5 corroboram o que foi exposto nas Tabelas 2 e 3, no que se refere à predominância de regiões do Japão e Estados Unidos nos campos tecnológicos verdes. Das dez regiões mais patenteadoras, sete delas estão localizadas no Japão ou nos Estados Unidos nos anos de 1990 e 2010, nove delas possuem essa localização geográfica no ano de 2000 e oito delas têm essa localização em 2016. Outro destaque continua sendo a Coreia do Sul, que apesar de não ter destaque em 1990, em 2000 aparece na sexta posição do *ranking*, em 2010 passa à terceira colocação e, em 2016, assume a terceira posição do *ranking*.

**Tabela 4 – 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

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, nos anos de 1990 e 2000. No entanto, essa diferença diminui com o tempo, visto que em 2010 e 2016 as duas regiões alternam de posição no topo do *ranking* e a diferença do número de registros de patentes entre elas diminui. Destaca-se que as regiões da Califórnia e Southern-Kanto são as únicas que aparecem e permanecem com destaque ao longo de todo o período (1990-2016).

**Tabela 5 – 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Verdes (2010 e 2016)**

<b>Região/País</b>	<b>2010</b>	<b>Região/País</b>	<b>2016</b>
Southern-Kanto, Japão	1432	Southern-Kanto, Japão	1712
Califórnia, USA	952	Califórnia, USA	1108
Capital Region, Coreia do Sul	573	Capital Region, Coreia do Sul	1019
Kansai Region, Japão	529	Guangdong, China	608
Toukai, Japão	474	Kansai Region, Japão	514
JPZZ, Japão	264	Toukai, Japão	467
Guangdong, China	241	JPZZ, Japão	410
Nova York, USA	229	Texas, USA	358
Washington, USA	202	Washington, USA	318
Île-de-France, França	193	Nova York, USA	260

Fonte: Elaboração Própria

Nota-se também uma alteração sutil ao se comparar os anos de 1990 e 2000 com os anos de 2010 e 2016. 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 aecoinovação, 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 ecoinovação, 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, 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).

As Tabelas 6 e 7 mostram a produção das tecnologias fósseis no período de observação deste trabalho, 1990-2016, destacando os anos iniciais e finais de cada década. Destaca-se a relevância de regiões dos Estados Unidos também na produção tecnológica fóssil, contabilizando um total de cinco e seis regiões em 1990 e 2000, respectivamente, com destaque, novamente, para a região da Califórnia, que assume o topo do *ranking* em 1990 e 2000. O caso do Japão, em que a região de Southern-Kanto aparece na oitava colocação em 1990, vai à terceira em 2000 e assume a liderança do *ranking* em 2010 e 2016. O destaque desses países na produção das duas tecnologias pode ocorrer, pois, a produção de tecnologias em campos de energia fóssil possibilita a geração de *know how* para inovações em outros tipos de tecnologias, proporcionadas pela estrutura de atividade inovativa já instalada (LEWIS, 2007).

Diferentemente do que foi observado para as tecnologias verdes, as regiões agora apresentam um crescimento tímido em 2000 em relação a 1990, mas isso se reverte quando observa-se o ano de 2010 em relação a 2000, em que há crescimento significativo, contrariando o que era esperado dada a ratificação do Protocolo de Kyoto na virada da década. No entanto, este panorama logo sofre uma outra reversão com uma diminuição considerável no ano de 2016.

**Tabela 6 – 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionadas a Produção de Tecnologias Fósseis (1990 e 2000)**

<b>Região/País</b>	<b>1990</b>	<b>Região/País</b>	<b>2000</b>
Califórnia, USA	77	Califórnia, USA	79
Pennsylvania, USA	27	Düsseldorf, Alemanha	79
East Middle, Suécia	26	Southern-Kanto, Japão	73
Köln, Alemanha	25	Connecticut, USA	64
Arizona, USA	24	Massachusetts, USA	54
Texas, USA	15	Ontario, Canadá	44
Estocolmo, Suécia	14	Mittelfranken, Alemanha	41
Southern-Kanto, Japão	13	Ohio, USA	37
Helsinki-Uusimaa, Finlândia	12	Pennsylvania, USA	37
Georgia, USA	12	Nova York, USA	35

Fonte: Elaboração Própria

**Tabela 7 – 10 Regiões da OECD com as Maiores Quantidades de Códigos Relacionadas a Produção de Tecnologias Fósseis (2010 e 2016)**

<b>Região/País</b>	<b>2010</b>	<b>Região/País</b>	<b>2016</b>
Southern-Kanto, Japão	247	Southern-Kanto, Japão	314
Île-de-France, França	135	Île-de-France, França	165
Mittelfranken, Alemanha	89	Capital Region, Coreia do Sul	93
Oberbayern, Alemanha	88	Düsseldorf, Alemanha	86
Düsseldorf, Alemanha	86	JPZZ, Japão	85
Capital Region, Coreia do Sul	75	Flórida, USA	70
Stuttgart, Alemanha	66	Kansai Region, Japão	70
Kansai Region, Japão	65	California, USA	69
Northwestern Switzerland, Suíça	65	Toukai, Japão	65
Nova York, USA	64	Quebec, Canadá	45

Fonte: Elaboração Própria

Ademais, nesse contexto, destacam-se agora diversas regiões alemãs, como Mittelfranken, Oberbayern, Düsseldorf e Stuttgart, diferentemente das tecnologias verdes, onde a Alemanha possui poucas regiões no *ranking* não aparecendo em alguns anos, como pôde ser constatado nas Tabelas 2 e 4.

As Tabelas 8 e 9 reforçam a predominância de Estados Unidos, Alemanha e Japão, nessa ordem, nos campos tecnológicos fósseis. Das dez regiões mais patenteadoras, sete delas estão localizadas em um destes três países no ano de 1990, todas as dez regiões no ano 2000 se localizam em uma dessas três nações e para os anos de 2010 e 2016 estes números correspondem à oito regiões.

**Tabela 8 – 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Fósseis (1990 e 2000)**

<b>Região/País</b>	<b>1990</b>	<b>Região/País</b>	<b>2000</b>
Califórnia, USA	31	Califórnia, USA	40
Pennsylvania, USA	10	Southern-Kanto, Japão	32
East Middle, Suécia	9	Düsseldorf, Alemanha	26
Köln, Alemanha	9	Connecticut, USA	22
Arizona, USA	7	Arnsberg, Alemanha	17
Southern-Kanto, Japão	7	Nova York, USA	17
Darmstadt, Alemanha	6	Stuttgart, Alemanha	16
Île-de-France, França	5	Ohio, USA	16
Southern Finland, Finlândia	5	Pennsylvania, USA	15
Texas, USA	5	Massachusetts, USA	15

Fonte: Elaboração Própria

O grande destaque nesse tipo de tecnologia, como já dito, passa a ser a Alemanha, que aparece em 1990 com apenas uma região na quarta colocação; em 2000 já aparece na terceira, quinta e sétimas posições do *ranking*; em 2010 obtém seus melhores resultados com as regiões de Düsseldorf, Oberbayern, Mittelfranken e Stuttgart ocupando da terceira à sexta posições, respectivamente; e, por fim, em 2016, Düsseldorf e Stuttgart são as duas únicas que permanecem destacadas nessa classificação. Na Alemanha, o carvão contribuiu com cerca de quase metade de toda a produção de eletricidade em 2007 e a relevância do uso de carvão, segundo Horbach (2013), tende a não diminuir até pelo menos o ano de 2030. Os Estados Unidos, por sua vez, têm tal importância devido às suas altas reservas de carvão. Essa relevância no patenteamento de tecnologias fósseis realizado por Alemanha, Estados Unidos e Japão também é favorecida pela alta renda *per capita*, que aponta para uma maior demanda energética desses países (HORBACH, 2013).

**Tabela 9 – 10 Regiões da OECD com Maior Patenteamento em Tecnologias Fósseis (2000 e 2016)**

Região/País	2010	Região/País	2016
Southern-Kanto, Japão	119	Southern-Kanto, Japão	140
Île-de-France, França	61	Île-de-France, França	83
Düsseldorf, Alemanha	51	Düsseldorf, Alemanha	44
Oberbayern, Alemanha	41	Capital Region, Coreia do Sul	36
Mittelfranken, Alemanha	34	JPZZ, Japão	35
Stuttgart, Alemanha	31	Toukai, Japão	34
Califórnia, USA	30	Flórida, USA	31
Kansai Region, Japão	29	Kansai Region, Japão	30
Capital Region, Coreia do Sul	29	Califórnia, USA	28
Nova York, USA	26	Stuttgart, Alemanha	26

Fonte: Elaboração Própria

É interessante perceber ainda que, em geral, regiões com maior número de patentes verdes, mesmo que em menor volume, são também as de maior número de fósseis, a Alemanha se destaca como importante produtora de tecnologia fóssil, mas não participa do *ranking* de patentes verdes ou de maneira bem discreta, como notado para o ano de 1990 na Tabela 2. Adicionalmente, o Japão, apesar de presente nos dois *rankings*, apresenta maior volume de patentes verdes do que fósseis. Esses resultados coincidem com aqueles obtidos por Lanzi, Hascic e Johnstone (2012) que mostram que Alemanha e os Estados Unidos têm um grande número de patentes em tecnologias fósseis, enquanto o Japão possui o maior número de patentes

em tecnologias verdes, além de destacarem que há uma variação maior na atividade de patenteamento de tecnologias fósseis do que em verdes.

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 2016. Essa característica também é válida para as tecnologias fósseis, só que considerando o nível país. 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, Japão e Alemanha. 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 10, 11, 12 e 13 mostram os resultados referente às estimações com diferentes especificações.

As Tabelas descritas apresentam quatro especificações diferentes<sup>19</sup> para a estimação da equação (1): a primeira, coluna 1, considera todas as variáveis independentes do modelo, exceto as defasadas; a segunda coluna, além das consideradas na especificação (1), inclui as defasagens temporais apenas da variável dependente Total\_Verde; a terceira especificação, coluna 3, considera as mesmas variáveis da especificação (2) e acrescenta as defasagens temporais da variável Total\_Fóssil; e a última especificação, (4), acrescenta a variável *dummy*, que considera se a região é de um país pertencente ou não ao G7. Cabe ainda ressaltar que, parcimônia na escolha do número de *lags* evita a utilização de um número excessivo de instrumentos e permite um melhor ajuste do modelo<sup>20</sup>.

A validade dos resultados obtidos via *GMM System* foi testada pelos testes de AR e Hansen. Como se pode observar ao final da Tabela 10, os testes AR indicam 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

<sup>19</sup> Nas Tabelas 10 e 11 não será considerada a variável de Educação. Isso pelo fato desses dados estarem disponíveis e completos apenas a partir do ano 2000. Essa variável, todavia, constará numa análise posterior em subperíodos.

<sup>20</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.

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 10 – Condicionantes da Produção de Tecnologias Verdes: estimações por GMM System para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (1990-2016<sup>21</sup>)**

Variáveis e Testes	Total_Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	0,149*** (0,034)	0,146*** (0,032)	-0,145*** (0,032)	-0,145*** (0,031)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,101 (0,101)	0,089 (0,100)	0,101 (0,095)	0,111 (0,095)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,344*** (0,098)	0,289*** (0,096)	0,250*** (0,090)	0,236*** (0,089)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,082** (0,035)	0,066** (0,033)	0,048 (0,034)	0,022 (0,033)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,437*** (0,032)	0,369*** (0,046)	0,302*** (0,041)	0,284*** (0,038)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,131*** (0,033)	0,114*** (0,030)	0,102*** (0,030)	0,108*** (0,031)
Total_Verde <sub>t-1</sub>		0,098** (0,047)	0,085* (0,048)	0,100** (0,046)
Total_Verde <sub>t-2</sub>		0,046 (0,039)	0,042 (0,038)	0,050 (0,038)
Total_Fóssil <sub>t</sub>	0,322*** (0,033)	0,290*** (0,033)	0,221*** (0,027)	0,216*** (0,027)
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>			0,172*** (0,028)	0,163*** (0,027)
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>			0,103*** (0,026)	0,096*** (0,026)
G7				0,180** (0,082)
Constante	-0,888* (0,502)	0,275 (0,456)	0,592 (0,488)	0,806* (0,482)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	2080	2080	2080	2080
N de nuts2_	187	187	187	187
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	2 e 3	2 e 3	2 e 3
Teste Hansen	-	0,638	0,255	0,148
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,708	0,537	0,693	0,706

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>21</sup> Como as estimações possuem pelo menos uma defasagem temporal em alguma das variáveis, assim, nelas não são considerados o primeiro ano da amostra, 1990. As estimações com duas defasagens não consideram 1990 e 1991, e assim por diante.



A variável  $Qualidade_t$  mostrou-se 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). No entanto, isso ocorre nas duas primeiras especificações. Quando se acrescentam novas variáveis como as defasagens da variável  $Fóssil_t$  e *dummy* G7, a variável se torna negativa. O sinal negativo verificado nas outras duas especificações pode ter acontecido devido a sensibilidade do método ao se acrescentam novas variáveis.

A variável de Intensidade de  $P\&D_{t-1}$  não obteve significância em nenhuma das especificações, enquanto que Intensidade de  $P\&D_{t-2}$  obteve significância de 1% em todas as especificações, confirmando que as atividades de P&D demandam um certo tempo de maturação para produzirem seus efeitos. No mesmo sentido, Johnstone, Hascic e Popp (2008) encontraram evidências de que as atividades relacionadas à P&D têm um efeito positivo e significativo para estimular as atividades inventivas em campos tecnológicos verdes.

A variável de Emprego na Indústria *per capita*, também obteve significância em duas das quatro especificações, denotando a relevância dos empregados no setor industrial para o processo inventivo em tecnologias verdes. Greenstone (2001) mostraram que melhoria nos níveis de emprego em indústrias emissoras de  $CO_2$  (gás carbônico) e  $O_3$  (gás ozônio) reflete em um declínio na emissão desses gases.

A variável de *Spillovers*<sub>t-1</sub>, afetou 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, com isso, consegue-se afetar fortemente a melhoria dos projetos de invenção verde.

A variável de PIB *per capita*, apareceu significativa a 1% em todas as especificações, indicando que regiões mais ricas, com maiores índices de PIB *per capita*, estariam mais propensas à produção e ao desenvolvimento de tecnologia em campos tecnológicos verdes. Nesse sentido, Sierzchula *et al.* (2014) mostraram, em um estudo realizado para trinta países no ano de 2012, que os países que mais investiram na adoção de veículos elétricos representavam uma maioria significativa do PIB *per capita* global.

Os coeficientes das defasagens temporais da dependente, nas especificações (2), (3) e (4), pelo menos em  $t-1$ , 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 invenção em tecnologias verdes tende a permanecer ao longo do tempo (AGHION *et al.*, 2014). As defasagens temporais da variável dependente captam os efeitos inerciais da inovação/invenção, uma vez que esses processos tendem a ser *path dependent* (MIGUÉLEZ; MORENO; MATOS, 2018).

Quanto à variável  $Total\_Fóssil_t$ , ela foi significativa e positiva em todas as especificações, assim como as defasagens  $Total\_Fóssil_{t-1}$  e  $Total\_Fóssil_{t-2}$ , indicando que a produção de tecnologia verde parece estar atrelada à produção de tecnologia fóssil passada e atual. Isso ocorre, segundo Lazkano, Nostbakken e Pelli (2016), pois um preço mais alto dos combustíveis fósseis reduz a inovação não apenas nas tecnologias convencionais, mas também nas tecnologias renováveis, havendo assim uma relação positiva entre ambas as tecnologias. Ademais, a produção de tecnologias fósseis no passado e no presente gera *know how* para inovações em outros tipos de tecnologias, proporcionadas pela estrutura de atividade inventiva 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 *dummy G7* apresentou significância na especificação em que foi inserida. A *dummy G7* revela que países mais ricos tenderiam a produzir mais tecnologias verdes quando comparado ao resto do mundo, explicação que está bastante atrelada com aquela atribuída ao caso do PIB *per capita*.

A Tabela 11, por sua vez, mostra o mesmo esquema de especificações da Tabela 10, diferindo na perspectiva da variável dependente, que agora considera as patentes depositadas na *EPO* que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia verde.

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 11, os testes AR indicam 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)).

**Tabela 11 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (1990-2016)**

Variáveis e Testes	Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	0,143*** (0,029)	0,132*** (0,025)	-0,130*** (0,024)	-0,129*** (0,024)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,130* (0,068)	0,108* (0,065)	0,102 (0,065)	0,108* (0,064)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,262*** (0,062)	0,191*** (0,061)	0,181*** (0,060)	0,167*** (0,058)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,077** (0,034)	0,058** (0,028)	0,045 (0,029)	0,024 (0,027)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,428*** (0,033)	0,334*** (0,049)	0,280*** (0,042)	0,263*** (0,038)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,124*** (0,034)	0,096*** (0,028)	0,085*** (0,029)	0,088*** (0,029)
Verde <sub>t-1</sub>		0,176*** (0,055)	0,167*** (0,056)	0,185*** (0,053)
Verde <sub>t-2</sub>		0,045 (0,042)	0,047 (0,042)	0,058 (0,040)
Fóssil <sub>t</sub>	0,409*** (0,045)	0,329*** (0,041)	0,228*** (0,025)	0,220*** (0,025)
Fóssil <sub>t-1</sub>			0,176*** (0,033)	0,163*** (0,032)
Fóssil <sub>t-2</sub>			0,137*** (0,033)	0,126*** (0,032)
G7				0,149** (0,074)
Constante	-1,202** (0,500)	-0,124 (0,410)	0,106 (0,429)	0,274 (0,414)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	2080	2080	2080	2080
N de nuts2_	187	187	187	187
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	2 e 3	2 e 3	2 e 3
Teste Hansen	-	0,879	0,223	0,132
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,405	0,963	0,888	0,810

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.

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.

Apesar das perspectivas diferentes, os resultados reportados na Tabela 11 se assemelham bastante àqueles observados na Tabela 10, no que diz respeito ao comportamento das variáveis independentes e das defasagens temporais, principalmente no que diz respeito à significância e magnitude dessas variáveis. A única diferença, ainda que sutil, dá-se com a variável Intensidade de P&D<sub>t-1</sub> nas especificações (1) e (2), fato que não comprometeu os resultados das demais variáveis.

Considerar o período de 1990-2016, no entanto, pode ocultar possíveis especificidades de algum ano ou de um determinado período. Além disso, o objetivo principal é o de verificar o comportamento e a influência da variável de Educação<sub>t-1</sub> nos subperíodos 2000-2009 e 2010-2016. Dessa forma, tenta-se captar algumas possíveis características particulares do comportamento das variáveis explicativas nesses diferentes anos.

As Tabelas 12 e 13 mostram a produção das regiões em campos tecnológicos verdes para 2000-2009 e 2010-2016, respectivamente. O patenteamento em tecnologias verdes, ao considerar as patentes que contêm pelo menos um código *IPC* verde, estão descritas nas Tabelas A.3 e A.4<sup>22</sup>. Em todas essas Tabelas descritas há a introdução da variável Educação<sub>t-1</sub>. Assim como nas especificações apresentadas nas Tabelas 10 e 11, a validade dos resultados obtidos para as especificações expostas nas tabelas 12, 13, A.3 e A.4 via *GMM System* foi testada pelos testes de Arellano-Bond e Hansen.

Como se pode observar ao final das tabelas 12 e 13, os testes Arellano-Bond indicam que as estimações realizadas 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)). Os testes Hansen, por sua vez, não rejeitam 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 esses modelos.

---

<sup>22</sup> Os resultados obtidos nas Tabelas 12 e 13 assemelham-se aos obtidos nas Tabelas A.3 e A.4. Portanto, essas duas últimas encontram-se reportadas no Apêndice.

**Tabela 12 – Condicionantes da Produção de Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 realizadas por subperíodos (2000-2009)**

Variáveis e Testes	Total_Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	-0,070*	-0,074*	-0,070*	-0,068*
	(0,038)	(0,038)	(0,038)	(0,037)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,015	0,025	0,049	0,066
	(0,127)	(0,130)	(0,119)	(0,119)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,270**	0,222*	0,221**	0,185*
	(0,115)	(0,121)	(0,104)	(0,101)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,006	-0,002	-0,020	-0,058
	(0,034)	(0,033)	(0,037)	(0,036)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,388***	0,317***	0,276***	0,261***
	(0,040)	(0,058)	(0,054)	(0,050)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,118***	0,098***	0,095***	0,103***
	(0,033)	(0,033)	(0,033)	(0,033)
Educação <sub>t-1</sub>	0,574***	0,485***	0,589***	0,629***
	(0,104)	(0,122)	(0,128)	(0,132)
Total_Verde <sub>t-1</sub>		0,137*	0,039	0,038
		(0,074)	(0,077)	(0,076)
Total_Verde <sub>t-2</sub>		0,022	-0,030	-0,025
		(0,077)	(0,072)	(0,070)
Total_Fóssil <sub>t</sub>	0,361***	0,324***	0,275***	0,263***
	(0,050)	(0,066)	(0,053)	(0,053)
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>			0,233***	0,212***
			(0,050)	(0,047)
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>			0,128**	0,118**
			(0,051)	(0,049)
G7				0,324***
				(0,109)
Constante	-0,639	-1,056*	-0,913	-0,558
	(0,709)	(0,568)	(0,601)	(0,562)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	845	845	845	845
N de nuts2_	145	145	145	145
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	2 a 3	2 a 3	2 a 3
Teste Hansen	-	0,165	0,653	0,821
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,931	0,298	0,263	0,276

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.

**Tabela 13 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 realizadas por subperíodos (2010-2016)**

Variáveis e Testes	Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	0,190*** (0,050)	0,180*** (0,049)	-0,186*** (0,047)	-0,168*** (0,044)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,002 (0,127)	-0,002 (0,123)	0,015 (0,120)	0,038 (0,117)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,214* (0,127)	0,212* (0,127)	0,170 (0,124)	0,154 (0,117)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,052 (0,043)	0,046 (0,045)	0,021 (0,042)	-0,067* (0,040)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,465*** (0,038)	0,437*** (0,068)	0,367*** (0,065)	0,347*** (0,055)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,149*** (0,041)	0,148*** (0,044)	0,123*** (0,038)	0,135*** (0,039)
Educação <sub>t-1</sub>	0,626*** (0,127)	0,599*** (0,138)	0,617*** (0,138)	0,680*** (0,126)
Total_Verde <sub>t-1</sub>		0,013 (0,077)	0,016 (0,080)	0,021 (0,063)
Total_Verde <sub>t-2</sub>		0,040 (0,064)	0,035 (0,078)	0,040 (0,072)
Total_Fóssil	0,282*** (0,034)	0,270*** (0,044)	0,196*** (0,034)	0,175*** (0,032)
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>			0,146*** (0,039)	0,121*** (0,033)
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>			0,111*** (0,039)	0,090** (0,035)
G7				0,525*** (0,107)
Constante	-1,525* (0,834)	- 2,137*** (0,758)	-1,729** (0,705)	-0,822 (0,600)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	845	845	845	845
N de nuts2_	145	145	145	145
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	2 a 3	2 a 3	2 a 3
Teste Hansen	-	0,165	0,653	0,821
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,931	0,298	0,263	0,276

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.

As Tabelas 12 e 13 mostram que a variável  $Total\_Fóssil_t$ , assim como  $Total\_Fóssil_{t-1}$  e  $Total\_Fóssil_{t-2}$ , mantêm as mesmas características observadas na Tabela 10, sendo significativa a 1%, confirmando a relevância da produção em campos tecnológicos fósseis no presente e no passado como a base tecnológica e de *know how* para se produzir em novos campos tecnológicos (verdes).

As defasagens temporais da variável dependente  $Total\_Verde_t$  perdem, em parte, a significância, mas isso não influenciou no contexto geral da estimação. Como no caso das variáveis anteriores, as características da variável  $Spillovers_{t-1}$  também se mantêm, indicando que absorção de conhecimento externo, advindo de outras regiões, pode ser fundamental para geração e desenvolvimento de novas tecnologias verdes.

A variável de Intensidade de P&D $_{t-2}$  mantém-se significativa nos dois subperíodos, assegurando que as atividades pesquisa e desenvolvimento exigem um certo tempo de maturação para produzirem os efeitos pretendidos. A variável  $Qualidade_t$  permaneceu significativa nas quatro especificações. No entanto, como houve diferenças nos sinais da variável em questão, a inclusão de novas variáveis ( $Total\_Fóssil_{t-1}$ ,  $Total\_Fóssil_{t-2}$  e G7) mostra que o resultado é inconclusivo, sendo sensível à inclusão de novas variáveis.

A variável de PIB *per capita* $_t$  permaneceu significativa a 1% em todas as especificações, ratificando a ideia de que regiões mais ricas, com maiores índices de PIB *per capita*, estariam mais propensas à produção e ao desenvolvimento de tecnologia em campos tecnológicos verdes.

Nesse mesmo sentido, no contexto de subperíodos, a *dummy* G7 é significativa a 1% em 2000-2009 e 2010-2016. Nesse caso, ratifica a ideia de que países mais ricos tenderiam a produzir mais tecnologias verdes quando comparado ao resto do mundo, dada a existência de uma consciência ambiental ainda pouco presente em países emergentes.

A variável Educação $_{t-1}$  é inserida neste contexto de subperíodos. Esta variável mostrou-se positiva e significativa nos dois períodos de dados disponíveis (2000-2009 e 2010-2016). Este resultado revela a importância do processo de qualificação da mão de obra no processo de invenção 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 invenção tecnológica regional.

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, teria influência parcial sobre o nível presente de produção nos campos tecnológicos verdes, ao proporcionar ganhos em processos de aprendizado e maturação tecnológicos. 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 CONCLUSÃO

O presente estudo pretendeu analisar os determinantes e o comportamento da produção tecnológica e do patenteamento em campos tecnológicos verdes para regiões NUTS2 em diversos países, num painel de dados englobando o período 1990-2016. Além disso, buscou-se verificar se há uma dependência de caminho (*path dependence*) na produção desses tipos de tecnologia.

Para isso, as tecnologias verdes analisadas neste trabalho foram verificadas de acordo com dados de patentes, seguindo as classes da *IPC*, fazendo distinção entre classes tecnológicas verdes e fósseis. 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 aliado 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 que políticas específicas e aparatos institucionais podem ser bem-sucedidos para influenciar nesse processo.

O presente trabalho mostrou os fatores condicionantes capazes de influenciar a produção em campos tecnológicos verdes. Desse modo, 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, visa 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* e permitir que outras regiões sejam também produtoras de tecnologias verdes.

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. (2002). Directed technical change. *Review of Economic Studies* 69, 781–809.
- 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*
- AMBEC, S.; CRAMPES, C. (2019). Decarbonizing electricity generation with intermittent sources of energy. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 6(6), 919–948.
- ANDERSEN, M. M. (2006). *Eco-innovation indicators*. Copenhagen: European Environment Agency.
- \_\_\_\_\_ (2008). Eco-innovation—towards a taxonomy and a theory. In *25th celebration DRUID conference*.
- 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.
- 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.
- BAUM, F. C. *An Introduction to Modern Econometrics Using Stata*, Texas: Stata Press, 2006.
- BAUM, C. F., SCHAFFER, M. E; STILLMAN, S. Instrumental variables and GMM: estimation and testing. *Stata Journal*, 3, n. 1, p. 1-31, 2003.
- BARROS, L. A. B. C.; CASTRO, F. H.; DI MICELI DA SILVEIRA, A.; BERGMANN, D. R. (2010). *Endogeneity in Corporate Finance Empirical Research* (In Portuguese). Available at SSRN 1593187.

BELLIS, M. "Introduction to Green Technology." ThoughtCo, Feb. 11, 2020. Disponível em [www.thoughtco.com/introduction-to-green-technology-1991836](http://www.thoughtco.com/introduction-to-green-technology-1991836).

BERCK, P.; BRÄNNLUND, R. (2010). Green regulations in California and Sweden. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 3(1), 49–61.

BLUNDELL, R.; BOND, S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, v. 87, n. 1, p. 115-143, 1998.

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.

BOONE, L.; HALL, S.; KEMBALL-COOK, D. (1996). Endogenous technical progress in fossil fuel demand: The case of France. *Journal of Policy Modeling*, 18(2), 141–155.

BOREL-SALADIN, J. M.; TUROK, I. N. (2013). The impact of the green economy on jobs in South Africa. *South African Journal of Science*, 109(9–10), p. 1–4.

BOYD, G.A.; KARLSON, S.H. (1993). The impact of energy prices on technology choice in the United States steel industry. *The Energy Journal* 14 (2), p. 47–56.

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.

CHOE, H.; LEE, D. H.; SEO, I. W.; KIM, H. D. (2013). Patent citation network analysis for the domain of organic photovoltaic cells: Country, institution, and technology field. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, p. 492–505.

CONSTANTINI, V., CRESPI, F., MARIN, G., PAGLIALUNGA, E. (2017). Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries1. *Journal of Cleaner Production*, 155, p. 141–154.

CHOE, H.; LEE, D. H.; SEO, I. W.; KIM, H. D. (2013). Patent citation network analysis for the domain of organic photovoltaic cells: Country, institution, and technology field. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 492–505.

CONSTANTINI, V., CRESPI, F., MARIN, G., PAGLIALUNGA, E. (2017). Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries1. *Journal of Cleaner Production*, 155, 141–154.

- CORSATEA, T. D. (2014). Technological capabilities for innovation activities across Europe: evidence from wind, solar and bioenergy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 469–479.
- CORSATEA, T.; DALMAZZONE, S.; (2012). *A regional analysis of renewable energy patenting in Italy*.
- CRESPI, F.; GHISSETTI, C.; QUATRARO, F. (2015). Environmental and innovation policies for the evolution of green technologies: A survey and a test. *Eurasian Business Review*, 5(2), 343–370.
- 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*.
- DENICOLO, V. (1999). Pollution-reducing innovations under taxes or permits. *Oxford Economic Papers* 51, p. 184–199.
- DERNIS, H.; GUELLEC, D.; VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE, B. (2001). *Using patent counts for cross-country comparisons of technology output*, pages 129-146.
- DOMAC, J.; RICHARDS, K.; RISOVIC, S. (2005). Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy*, 28(2), 97–106.
- 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.
- FOWLIE, M. (2007). Emissions Trading, Electricity Industry Restructuring, and Investment in Pollution Abatement. *Working Paper, University of Michigan, forthcoming in American Economic Review*.
- FRONDEL, M.; HORBACH, J.; RENNINGS, K. (2007). End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries. *Business Strategy and the Environment* 16, p. 571–584.

- GLAESER, E. L.; SAIZ, A. (2003). *The rise of the skilled city*. National Bureau of Economic Research.
- GONÇALVES, E.; MATOS, C. M.; ARAÚJO, I. F. Path-Dependent Dynamics and Technological Spillovers in the Brazilian Regions. *Applied Spatial Analysis and Policy*, p. 1-25, 2018
- GOULDER, L.H.; SCHNEIDER, S. (1999). Induced technological change and the attractiveness of CO<sub>2</sub> abatement policies. *Resource and Energy Economics* 21, p. 211–253.
- 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.
- GRILICHES, Z. The Search for R&D Spillovers, National Bureau of Economic Research, 1991, *Working Paper* No. 3768
- 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.
- HORBACH, J. (2013). *Do Lead Markets for Clean Coal Technology Follow Market Demand? A Case Study for China, Germany, Japan and the USA* Paper to be presented at the 35th DRUID Celebration Conference 2013, Barcelona, Spain, June 17-19.
- HOTTENROTT, H.; REXHÄUSER, S.; VEUGELERS, R. (2016). Organisational change and the productivity effects of green technology adoption. *Resource and Energy Economics*, 43, p. 172–194.
- JAFFE, A. B. Real Effects of Academic Research. *American Economic Review*, December 1989, 79, 957-70.
- JAFFE, A. B.; NEWELL, R. G.; STAVINS, R. N. (2003). Technological change and the environment”. In: Maler, K.-G., Vincent, J. (Eds.), *Handbook of Environmental Economics*. Handbooks in Economics Series (ARROW, K. J., INTRILIGATOR, M.D., Series Eds.), vol. 1. North-Holland/Elsevier, Amsterdam, p. 461–516.
- 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.
- KEMP, R.; ARUNDEL, A. (1998). *Survey indicators for environmental innovation*. Sub-Project 2.2, ‘Indicators on the importance of environmental goals’, of the IDEA (Indicators and Data for European Analysis) Project. IDEA is Project No. PL951005 under the Targeted Socio-Economic Research Programme.
- KEMP, R.; PEARSON, P. (2007). Final report MEI project about measuring eco-innovation. *UM Merit, Maastricht*, 10, 2.
- 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.; HAŠČIČ, I.; JOHNSTONE, N. (2012). *The determinants of invention in electricity generation technologies*.
- LANZI, E.; WING, I, S. (2011). Directed technical change in the energy sector: an empirical test of induced directed innovation. *WCERE 2010 Conference, Mimeo*.
- LAZKANO, I.; NØSTBAKKEN, L.; PELLI, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. *European Economic Review*, 99, 113–129.
- LEE, K.-H.; MIN, B. (2015). Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 108, p. 534–542.
- 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.
- LIEBOWITZ, S. J.; MARGOLIS, S. E. (1999). Path dependence. *Encyclopedia of Law and Economics*.
- 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.

- LÓPEZ, A. (1996). *Competitividad, innovación y desarrollo sustentable: una discusión conceptual*. DT 22, Buenos Aires: CENIT.
- 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.
- MADSEN, J. B. Technology spillover through trade and TFP convergence: 135 years of evidence for the OECD countries. *Journal of International Economics* 72.2 (2007): 464-480.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. (2006) Path dependence and regional economic evolution, *Journal of Economic Geography*, 6(4), pp. 395–437.
- MATOS, C. M. (2018). *Inovações Ambientais e Sistemas Nacionais de Inovação: caracterizações para o período 1990-2010*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 146p.
- MENG, K. C. (2016). *Estimating path dependence in energy transitions*. National Bureau of Economic Research.
- MIGUÉLEZ, E.; MORENO, R. (2013). Research Networks and Inventors' Mobility as Drivers of Innovation: Evidence from Europe, *Regional Studies*, 47:10, 1668-1685.
- MONTENEGRO, R. L. G. (2016). *Canais de Difusão do Conhecimento: efeito da mobilidade e da colaboração inter-regional de inventores sobre a inovação regional*. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (CEDEPLAR) da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 211p.
- MOTA, J. A.; GAZON, J. L.; REGANHA, J. M.; SILVEIRA, M. T.; GÓES, G. S. (2008). *Trajectoria da governança ambiental*.
- NAGAOKA, S.; MOTOHASHI, K.; GOTO, A. (2010). Patent statistics as an innovation indicator. In *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 1083–1127). Elsevier.
- NATIONAL SCIENCE BOARD. (2008). Science and Engineering Indicators 2008. Arlington, VA: *National Science Foundation*. Chapter 4: Research and Development: Funds and Technology Linkages.
- NICKELL, S. (1981). Biases in dynamic models with fixed effects, *Econometrica*, v.49, pp. 1417–1426.
- 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 - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (2009), *Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation Synthesis Report Framework, Practices and Measurement*, Paris, Published by OECD.

OECD, Patents Dataset, March 2018.

PETERS, M.; SCHNEIDER, M.; GRIESSHABER, T.; HOFFMANN, V. H. (2012). The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change—does the locus of policies matter? *Research Policy*, 41(8), 1296–1308.

POPP, D. (2006), “International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> 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*.

POPP, D.; NEWELL, R. G.; JAFFE, A. B. (2010). Energy, the environment, and technological change. In: *Handbook of the Economics of Innovation*. Ed. ARROW, K. J.; INTRILIGATOR, M. D. (Vol. 2, pp. 873–937). Elsevier.

QUADROS, T.; HISHAMOTO, B. H. T. Acesso em <https://www.nexojournal.com.br/grafico/2017/11/17/O-hist%C3%B3rico-dos-principais-encontros-e-acordos-clim%C3%A1ticos-mundiais>. Disponível em: 17/11/2017.

RENNINGS, K. (1998). Towards a theory and policy of eco-innovation-Neoclassical and (Co) Evolutionary Perspectives (No. 98-24). *ZEW Discussion Papers*.

\_\_\_\_\_ (2000). Redefining innovation - eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, v. 32, n.2, p. 319-332,

ROODMAN, D. (2006) How to do xtabond2: an introduction to “Difference” and “System” GMM in Stata. *Working Paper Number 103*, Central for Global Development.

ROSE, N.; JOSKOW, P. (1990). The diffusion of new technologies: Evidence from the electric utility industry. *Rand Journal of Economics* 21, 354–373.

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*.

SCHIEDERIG, T.; TIETZE, F.; HERSTATT, C. (2012). Green innovation in technology and innovation management – an exploratory literature review. *R&D Management*, v. 42, n. 2, p. 180-192.

SEZEN, B.; CANKAYA, S. Y. (2013). Effects of green manufacturing and eco-innovation on sustainability performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 99, p. 154–163.

SIERZCHULA, W.; BAKKER, S.; MAAT, K.; VAN WEE, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183–194.

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.

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.

SUE WING, I. (2006). *Induced Technological Change: Firm Innovatory Responses to Environmental Regulation*. Boston University, Boston, MA, Working Paper.

TEECE, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (Sustainable) enterprise performance. *Strateg. Manag. J.* 28, 1319–1350.

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.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; TRUFFER, B.; KALLIS, G. (2011). Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 1–23.

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.

VEUGELERS, R. (2012). Which policy instruments to induce clean innovating? *Research Policy*, 41(10), 1770–1778.

VIOLA, E. (2010). A dinâmica das potências climáticas e o acordo de Copenhague. *Mudanças Climáticas*, 16.

VROMEN, J. (1995). *Economic Evolution: An Enquiry into the Foundations of New Institutional Economics*, London: Routledge.

WAGNER, M.; LLERENA, P. (2011). Eco-innovation through integration, regulation and cooperation: comparative insights from case studies in three manufacturing sectors. *Ind. Innov.* 18 (8), 747–764.

WINDMEIJER, F. (2005). A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. *Journal of Econometrics* 126: 25–51.

WIPO (World Intellectual Property Organization). *Guide to the international patent classification*. (2018). Disponible en: [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.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press, 2010.

ZHAO, R.; ZHAO, L.; DENG, S.; ZHENG, N. (2015). Trends in patents for solar thermal utilization in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 852–862.

## APÊNDICE

**Tabela A.1 – Regionalização dos Países Membros da OECD e dos seus Principais Parceiros Econômicos**

País	Sigla	Classificação	Número de Regiões
Austrália	AU	TL 2	8
Áustria	AT	NUTS 2	9
Bélgica	BE	NUTS 2	11
Brasil	BR	TL 2	27
Bulgária	BG	TL 2	6
Canadá	CA	TL 2	13
Chile	CL	NUTS 2	15
China	CN	NUTS 2	34
Croácia	HR	NUTS 2	2
República Tcheca	CZ	NUTS 2	8
Dinamarca	DK	NUTS 2	5
Estônia	EE	NUTS 2	1
Finlândia	FI	NUTS 2	5
França	FR	NUTS 2	26
Alemanha	DE	NUTS 2	38
Grécia	GR	NUTS 2	13
Hungria	HU	NUTS 2	7
Islândia	IS	NUTS 2	2
Índia	IN	TL 2	35
Irlanda	IE	NUTS	2
Israel	IL	TL 2	6
Itália	IT	NUTS 2	21
Japão	JP	TL 2	10
Coreia	KR	TL 2	7
Letônia	LV	NUTS 2	1
Luxemburgo	LU	NUTS 1	1
Malta	MT	NUTS 2	1
México	ME	TL 2	32
Holanda	NL	NUTS 2	12
Nova Zelândia	NZ	TL 2	2
Noruega	NO	NUTS 2	7
Polônia	PL	NUTS 2	16
Portugal	PT	NUTS 2	7
Romênia	RO	NUTS 2	8
Rússia	RU	TL 2	83
Eslováquia	SK	NUTS 2	4
Eslovênia	SL	NUTS 2	2

(Continua)

**Tabela A.1 – Regionalização dos Países Membros da OECD e dos seus Principais Parceiros Econômicos**

(Conclusão)

País	Sigla	Classificação	Número de Regiões
África do Sul	ZA	TL 2	9
Espanha	ES	NUTS 2	8
Suécia	SE	NUTS 2	19
Suíça	CH	NUTS 2	7
Turquia	TR	NUTS 2	26
Reino Unido	UK	NUTS 2	37
EUA	US	TL 2	52

Fonte: Elaboração Própria

### Quadro A.1 – Grupos de Patentes Verdes

Classes Tecnológicas Verdes	IPC Relacionados
Produção de Energia Alternativa	
Biocombustíveis	C10L, C02F, C12M, C12P, C12N, A01H
Pilha de combustível	H01M, C10B
Energia aproveitada de resíduos artificiais	C10L, 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, F01N, F02G, F25B, F02C, F25B, C02F, D21F, F22B, F23G, F24F, F27D, F28D, C10J
Outra produção ou utilização de calor natural	
Utilização de calor residual	
Dispositivos para produção de energia mecânica a partir de energia muscular	F03G
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)

### Quadro A.2 – 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 – Matriz de Correlação Entre as Variáveis Independentes do Modelo**

Variáveis	Qualidade	P&D <sub>t</sub>	P&D <sub>t-1</sub>	Educ <sub>t-1</sub>	Spillovers <sub>t-1</sub>	Empind	PIB <sub>pc</sub>
Fóssil	-0,046	0,37	0,362	0,346	0,693	0,251	0,299
Qualidade		-0,021	-0,026	-0,127	-0,055	-0,054	-0,032
P&D <sub>t</sub>			0,97	0,414	0,429	0,278	0,117
P&D <sub>t-1</sub>				0,413	0,428	0,272	0,115
Educ <sub>t-1</sub>					0,569	0,387	0,184
Spillovers <sub>t-1</sub>						0,269	0,373
Empind							0,065

Fonte: Elaboração Própria

**Tabela A.3 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (2000-2009)**

Variáveis e Testes	Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	0,086*** (0,032)	-0,087** (0,035)	-0,080** (0,032)	-0,079** (0,031)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,032 (0,081)	0,032 (0,088)	0,043 (0,086)	0,057 (0,084)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,161* (0,083)	0,183* (0,095)	0,119 (0,084)	0,068 (0,080)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,024 (0,034)	0,030 (0,039)	-0,002 (0,036)	-0,044 (0,035)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,412*** (0,037)	0,464*** (0,078)	0,342*** (0,057)	0,305*** (0,048)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,104*** (0,036)	0,110*** (0,043)	0,084** (0,036)	0,091** (0,036)
Educação <sub>t-1</sub>	0,581*** (0,103)	0,665*** (0,156)	0,662*** (0,148)	0,693*** (0,149)
Total_Verde <sub>t-1</sub>		-0,001 (0,103)	0,025 (0,089)	0,048 (0,081)
Total_Verde <sub>t-2</sub>		-0,127 (0,083)	-0,074 (0,080)	-0,049 (0,075)
Total_Fóssil <sub>t</sub>	0,403*** (0,056)	0,459*** (0,090)	0,255*** (0,052)	0,232*** (0,050)
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>			0,326*** (0,064)	0,291*** (0,060)
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>			0,205*** (0,074)	0,180*** (0,070)
G7				0,351*** (0,117)
Constante	- 2,070*** (0,545)	- 2,266*** (0,752)	- -1,707** (0,685)	- -1,277** (0,577)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	845	845	845	845
N de nuts2_	145	145	145	145
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	2 a 3	2 a 3	2 a 3
Teste Hansen	-	0,578	0,291	0,231
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,830	0,124	0,506	0,610

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.



**Tabela A.4 – Condicionantes do Patenteamento em Tecnologias Verdes: estimações por *GMM System* para regiões da OECD desagregadas à NUTS2 (2000-2016)**

Variáveis e Testes	Verde			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Qualidade <sub>t</sub>	0,148*** (0,037)	0,141*** (0,036)	-0,147*** (0,035)	-0,134*** (0,032)
Intensidade de P&D <sub>t-1</sub>	0,021 (0,103)	0,016 (0,103)	0,017 (0,103)	0,031 (0,097)
Intensidade de P&D <sub>t-2</sub>	0,173* (0,096)	0,154 (0,096)	0,156* (0,094)	0,144 (0,092)
Emprego Indústria <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,044 (0,038)	0,037 (0,037)	0,018 (0,038)	-0,059* (0,036)
<i>Spillovers</i> <sub>t-1</sub>	0,437*** (0,037)	0,392*** (0,072)	0,335*** (0,061)	0,323*** (0,058)
PIB <i>per capita</i> <sub>t</sub>	0,153*** (0,037)	0,139*** (0,040)	0,127*** (0,036)	0,136*** (0,037)
Educação <sub>t-1</sub>	0,606*** (0,106)	0,543*** (0,124)	0,562*** (0,121)	0,637*** (0,118)
Total_Verde <sub>t-1</sub>		0,095 (0,089)	0,095 (0,086)	0,091 (0,087)
Total_Verde <sub>t-2</sub>		0,008 (0,069)	-0,004 (0,069)	-0,001 (0,068)
Total_Fóssil <sub>t</sub>	0,380*** (0,041)	0,346*** (0,057)	0,249*** (0,035)	0,226*** (0,033)
Total_Fóssil <sub>t-1</sub>			0,119*** (0,044)	0,091** (0,041)
Total_Fóssil <sub>t-2</sub>			0,177*** (0,041)	0,156*** (0,039)
G7				0,470*** (0,104)
Constante	- 2,388*** (0,592)	- 2,101*** (0,694)	- -1,732*** (0,666)	- -1,029* (0,571)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	882	882	882	882
N de nuts2_	163	163	163	163
<i>Lags</i> instrumentalizados	-	3 e 3	5 e 3	7 e 3
Teste Hansen	-	0,628	0,679	0,612
Teste AR (1)	0,000	0,000	0,000	0,000
Teste AR (2)	0,249	0,391	0,748	0,679

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.