

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

PAULO VITOR LEVATE

**ECOINOVAÇÃO E RISCO AMBIENTAL NAS EMPRESAS: UMA ANÁLISE DO
ÍNDICE TRUCOST E SEUS DETERMINANTES (2016-2018)**

JUIZ DE FORA
2025

PAULO VITOR LEVATE

**ECOINOVAÇÃO E RISCO AMBIENTAL NAS EMPRESAS: UMA ANÁLISE DO
ÍNDICE TRUCOST E SEUS DETERMINANTES (2016-2018)**

Tese 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 Doutor.

Orientadora: Profa. Dra. Rosa Livia Gonçalves Montenegro
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves

**JUIZ DE FORA
2025**

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.

ECOINOVAÇÃO E RISCO AMBIENTAL NAS EMPRESAS: UMA
ANÁLISE DO ÍNDICE TRUCOST E SEUS DETERMINANTES

(2016-2018) / Paulo Vitor Levate. -- 2025.

143 f. : il.

Orientadora: Rosa Livia Gonçalves Montenegro

Coorientador: Eduardo Gonçalves

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora,
Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em
Economia, 2025.

1. EcoInovação. 2. Desempenho Ambiental Empresarial. 3. Índice
Trucost. 4. Análise Multivariada. 5. GMM System. I. Montenegro,
Rosa Livia Gonçalves, orient. II. Gonçalves, Eduardo, coorient. III.
Título.

Paulo Vitor Levate

**Ecoinovação e risco ambiental nas empresas: uma análise do índice TRUCOST e seus determinantes
(2016-2018)**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-
graduação em Economia
da Universidade Federal
de Juiz de Fora como
requisito parcial à
obtenção do título de
Doutor em Economia.
Área de concentração:
Economia

Aprovada em 23 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Dr.^a Rosa Livia Gonçalves Montenegro - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Eduardo Gonçalves - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Ricardo da Silva Freguglia
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr.^a Fernanda Esperidião
Universidade Federal de Sergipe

Dr. José Ricardo de Santana
Universidade Federal de Sergipe

08/08/2025, 12:35

SEI/UFJF - 2473860 - PROPP 01.5: Termo de aprovação

Dr. Leonardo Costa Ribeiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Juiz de Fora, 30/06/2025.

Juiz de Fora, 30/06/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Rosa Livia Gonçalves Montenegro, Professor(a)**, em 23/07/2025, às 22:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Esperidião, Usuário Externo**, em 26/07/2025, às 23:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo da Silva Freguglia, Professor(a)**, em 30/07/2025, às 13:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Goncalves, Professor(a)**, em 30/07/2025, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Ativar o Windows
Para obter mais informações, vá para Configurações para ativar o Windows



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Costa Ribeiro, Usuário Externo**, em 01/08/2025, às 08:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE RICARDO DE SANTANA, Usuário Externo**, em 08/08/2025, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2473860** e o código CRC **0478EFF0**.

Dedico esta tese aos meus pais, Bete e Luiz
e aos meus sobrinhos Luiz Paulo e Vinícius

AGRADECIMENTO

Fazer um doutorado não é uma tarefa fácil. Agora, iniciar um doutorado logo na sequência de um mestrado extremamente árduo e, em meio a maior pandemia sanitária do século, tornou toda essa caminhada ainda mais desafiadora. E, como nessa vida ninguém faz nada sozinho, esta tese é o resultado final de um caminho percorrido por mais de quatro anos e que teve várias pessoas que foram fundamentais nesse processo, cada uma à sua maneira.

Agradeço primeiramente a Deus por ter mantido minha fé inabalável, mesmo quando eu ousava pensar em desistir e quando as soluções para os problemas pareciam não existir. Nesses tantos momentos difíceis e aparentemente insuperáveis, Ele sempre me mostrou que não existe o impossível para aquele que crê e é temente à Deus.

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 tudo o que sou hoje e o que um dia pretendo ser. Vocês podem dizer com orgulho que sim, vocês tem um filho DOUTOR, um DOUTOR de verdade! À toda minha família, que sempre foi meu porto seguro e me deu todo o apoio em todos os momentos, e sei que se alegram com essa minha conquista.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Rosa Montenegro, uma grata surpresa que tive neste caminho, pelas valiosas orientações, por ter sempre as palavras certas nos momentos mais oportunos, pela boa vontade, pela paciência e por sempre esperar o melhor de mim. Foi um prazer e uma honra figurar entre seus três seus primeiros orientandos de doutorado, além de poder ter acompanhado um momento tão importante da sua vida, que foi a espera e a chegada da pequena Lívia.

Ao meu coorientador e sempre orientador, Prof. Dr. Eduardo Gonçalves, agradeço por suas valiosas contribuições, pela boa vontade, pela paciência e por sempre me provocar a dar o melhor de minha parte. Sua contribuição foi muito importante para o desenvolvimento não só desta tese, mas também da construção da minha história acadêmica.

Ao Prof. Dr. Leonardo Ribeiro, agradeço imensamente por ter fornecido os dados que foram o eixo central para a realização desta tese e pela sua sempre disponibilidade de sanar minhas dúvidas. À Profa. Dra. Juliana Taveira pelas sugestões e pelas várias vezes que me auxiliou em entender o que os dados e os resultados estavam mostrando.

Agradeço aos professores da banca de qualificação Dr. Weslem Faria, Dra. Fernanda Sperotto e Dra. Janaína Ruffoni pelas importantes sugestões e comentários extremamente relevantes, que nortearam e deram um direcionamento de maior qualidade a esta pesquisa.

Agradeço imensamente aos participantes da banca de defesa, Profª. Dra. Fernanda Esperidião, Prof. Dr. José Ricardo de Santana, Prof. Dr. Leonardo Ribeiro e Prof. Dr. Ricardo Freguglia pelo aceite do convite em participar deste momento e pela disponibilidade, compreensão e valiosas contribuições dadas a esta tese.

Agradeço a Dra. Elimar Jacob, grande psiquiatra, exemplo profissional e acadêmico, além de amiga da minha família há tantos anos. Uma grande incentivadora, se não a maior de todo esse processo. Ela quem me manteve no eixo e me ajudava a não surtar em meio à tanta loucura, medos, inseguranças e cobranças.

Agradeço aos meus parceiros de longa data, Filipe Franco, Gustavo Couri e Ricardo Pedrosa, por terem contribuído de forma tão importante no equilíbrio da minha saúde. Sou muito grato pelas conversas, pelos conselhos e pela amizade durante todos esses anos. Agradeço também ao meu parceiro Victor Sabadini, que além de excelente profissional, em pouco tempo já se tornou um amigo-irmão. Nossos treinos e nossas resenhas foram fundamentais para que eu pudesse controlar minha ansiedade e me ajudaram a não pirar nesses meses finais.

Agradeço também aos amigos que, de diferentes formas, Deus colocou na minha vida nesse período e vieram para ficar: Jéssica, Ruany, Mariana, Artur, Lindomayara, João Erick, Lucas, Daiane e Vanessa. Mesmo que não tenham ideia, cada um de vocês contribuiu de alguma forma para que eu chegasse até aqui. Seja em conversas de conteúdo mais sério ou naquelas mais simples e despretensiosas, vocês sempre me proporcionaram momentos ou palavras que me davam uma injeção de ânimo para seguir em frente, nesse período marcado por tantas pressões, inseguranças e incertezas em relação ao futuro.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente e fizeram parte desse processo, o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

Os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento tecnológico vêm sendo amplamente discutidos na literatura internacional impulsionadas por marcos como a Rio-92 e o Protocolo de Kyoto. Nesse contexto, as inovações ambientais têm se consolidado como ferramentas estratégicas capazes de gerar benefícios ambientais, tanto para as empresas quanto para os consumidores, por meio da redução do consumo energético, da emissão de carbono e da geração de resíduos. Apesar do avanço das pesquisas sobre sustentabilidade em empresas, persiste a lacuna quanto à compreensão dos fatores que influenciam o comportamento empresarial diante do desafio de mitigar impactos ambientais por meio da inovação. Esta Tese tem como objetivo analisar o comportamento das empresas no processo de ecoinovação e sua efetividade na mitigação do impacto ambiental, mensurado por meio do índice de risco ambiental Trucost. A pontuação do índice Trucost consiste em uma métrica agregada de danos (expressa em dólares americanos) baseada em seis indicadores principais: emissões de gases de efeito estufa, resíduos gerais, captação de água, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e uso de recursos naturais. A investigação contempla o triênio 2016–2018, período de disponibilidade dos dados do índice e com uma abordagem metodológica em duas etapas. A primeira, em nível macro, realiza uma análise exploratória com o uso de técnicas de análise multivariada sobre uma amostra de 52 países, incluindo membros e parceiros da União Europeia, da OCDE e do G20. A segunda etapa, em nível micro, consiste na estimação de modelos econométricos para examinar como as características organizacionais estão associadas aos determinantes ambientais e tecnológicos, utilizando os métodos de Efeitos Fixos (EF) e o Método Generalizado dos Momentos (GMM). Os resultados da análise multivariada destacam países escandinavos, Estados Unidos, China, Japão e Alemanha como sistemas de inovação ambientalmente mais desenvolvidos e maduros para uma transição tecnológica verde. As estimações econométricas revelam que a ecoinovação e o grau de internacionalização empresarial exercem influência significativa na redução do índice Trucost. Além disso, verifica-se que o tamanho da empresa é determinante na relação entre patentes verdes e risco ambiental. Conclui-se que a adoção de estratégias de ecoinovação, associadas a práticas tecnológicas e à inserção internacional, contribui para a mitigação dos impactos ambientais corporativos, reforçando o papel das empresas na transição para uma economia sustentável.

Palavras-chave: Ecoinovação; Desempenho Ambiental Empresarial; Índice Trucost; Análise Multivariada; Método Generalizado dos Momentos (GMM)

ABSTRACT

The environmental impacts of technological development have been widely discussed in the international literature, driven by milestones such as Rio-92 and the Kyoto Protocol. In this context, environmental innovations have established themselves as strategic tools capable of generating environmental benefits for both companies and consumers by reducing energy consumption, carbon emissions, and waste generation. Despite advances in research on corporate sustainability, a gap remains in understanding the factors that influence corporate behavior when faced with the challenge of mitigating environmental impacts through innovation. This thesis aims to analyze the behavior of companies in the eco-innovation process and their effectiveness in mitigating environmental impacts, measured using the Trucost environmental risk index. The Trucost score consists of an aggregate damage metric (expressed in US dollars) based on six main indicators: greenhouse gas emissions, general waste, water withdrawal, heavy metals, volatile organic compounds, and natural resource use. The research covers the 2016–2018 triennium, the period in which the index data are available, and adopts a two-stage methodological approach. The first, at the macro level, conducts an exploratory analysis using multivariate analysis techniques on a sample of 52 countries, including members and partners of the European Union, the OECD, and the G20. The second stage, at the micro level, consists of proposing econometric models to examine how organizational characteristics are associated with environmental and technological determinants, using Fixed Effects (FE) and the Generalized Method of Moments (GMM) methods. The results of the multivariate analysis highlight Scandinavian countries, the United States, China, Japan, and Germany as the most environmentally developed and mature innovation systems for a green technological transition. The econometric estimates reveal that eco-innovation and the degree of corporate internationalization significantly influence the reduction of the Trucost index. Furthermore, the study examines whether company size is a determining factor in the relationship between green patents and environmental risk. It is concluded that the adoption of eco-innovation strategies, associated with technological practices and international insertion, contributes to the mitigation of corporate environmental impacts, reinforcing the role of companies in the transition to a sustainable economy.

Keywords: Eco-innovation; Corporate Environmental Performance; Trucost Index; Multivariate Analysis; Generalized Method of Moments (GMM)

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Estudos Empíricos Relacionados ao Índice de Risco AmbientalTrucost.	47
Quadro 2 – Variáveis Utilizadas nas Análises Fatorial e de Agrupamento (<i>Clusters</i>). 66/67	
Tabela 1 – Resultados da Análise Fatorial (AF).	75
Quadro 3 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Hierárquico). ..	81
Quadro 4 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Não-Hierárquico).	85
Tabela 2 – Resultados do Modelo via Estimação por MQO.	88
Tabela 3 – Resultados do Modelo via Estimação por EF e EA.	89
Tabela 4 – Resultados do Modelo Básico via Estimação <i>GMM System</i>	91
Tabela 5 – Resultados do Modelo com o Efeito Moderador do Tamanho da Empresa na Produção Tecnológica Verde via Estimação <i>GMM System</i>	96
Quadro 5 – Resumo dos Testes das Hipóteses Pesquisadas na Tese	98
Quadro A.1 – Classificação de Patentes Verdes (<i>IPC Green Inventory</i>).	128
Quadro A.2 – Definição do índice de risco ambiental Trucost.	136
Tabela A.1 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Padronizadas da Análise Multivariada.	136
Tabela A.2 – Matriz de Correlação das Variáveis Utilizadas na Análise Multivariada.	137
Quadro A.3 – Configuração dos Países pela Carga Fatorial da AF.	138/139
Quadro A.4 – Resultados dos Agrupamentos para os Métodos Hierárquicos.	140
Tabela A.3 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico (2016-2018).	142
Tabela A.4 - Matriz de Correlação das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico.	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fator Dominante por País.....	73
Figura 2 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Hierárquico).	83
Figura 3 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Não Hierárquico)	87
Figura A.1 – Análise dos Dendogramas para os Métodos Hierárquicos.	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU – Organização das Nações Unidas
OECD – *Organisation for Economic Cooperation and Development*
S&P – Standard and Poor's
PATSTAT – Patent Statistical Database
EF – Efeitos Fixos
GMM – *General Method of Moments*
SGI – Sistema Global de Inovação
SI – Sistema de Inovação
SNI – Sistema Nacional de Inovação
STI – *Science, Technology, Innovation*
DUT – *Doing, Using, Interacting*
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
GEE – Gases de Efeito Estufa
MEI – *Measuring Eco-Innovation*
QCA – Análise Comparativa Qualitativa
PIB – Produto Interno Bruto
PINTEC – Pesquisa de Inovação Tecnológica
IED – Investimento Estrangeiro Direto
AF – Análise Fatorial
AA – Análise de Agrupamento
MCP – Método de Componentes Principais
MFP – Método de Fatores Principais
MMV – Método de Máxima Verossimilhança
KMO – Kaiser-Meyer-Olkin
EPO – *European Patent Office*
IPC – *International Patent Classification*
WIPO – *World Intellectual Property Organization*
UE – União Europeia
MQO – Mínimos Quadrados Ordinários
UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*
EEIO – *Environmentally Extended Input-Output*
ROA – Retorno sobre Ativos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 ASPECTOS TEÓRICOS DO SISTEMA GLOBAL DE INOVAÇÃO (SGI).....	21
2.1 SISTEMAS GLOBAIS DE INOVAÇÃO (SGIs): ANTECEDENTES E PERSPECTIVAS	21
2.2 INOVAÇÃO RADICAL E INCREMENTAL SOB A PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE.....	26
3 ASPECTOS SISTÊMICOS DO SGI AMBIENTAL	33
3.1 AS ATIVIDADES DE P&D E AS PATENTES VERDES COMO ELEMENTOS-CHAVE PARA A TRANSIÇÃO TECNOLÓGICA AMBIENTAL	34
3.2 AS CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA NO FOMENTO À INOVAÇÃO AMBIENTAL	42
3.2.1 O Índice de Risco Ambiental Trucost	43
3.2.2 A Influência da Dimensão da Empresa no Processo de EcoInovação	46
3.3 O PAPEL DA INTERNACIONALIZAÇÃO DA EMPRESA NA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL	51
3.3.1 O Papel do Investimento Estrangeiro Direto (IED) na Expansão da Inovação Ambiental.....	54
3.3.2 A Internacionalização como Vetor de EcoInovação e Desempenho Empresarial	56
4 METODOLOGIA	59
4.1 BASE DE DADOS	59
4.2 ANÁLISE MULTIVARIADA.....	63
4.3 ABORDAGEM ECONOMETRICA	67
4.4 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA: ESTIMAÇÕES ECONOMETRICAS	70
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	74
5.1 ANÁLISE FATORIAL (AF).....	74
5.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (<i>CLUSTERS</i>)	80
5.3 MODELO ECONOMETRICO	88
6 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE.....	128

1 INTRODUÇÃO

As corporações globais são importantes emissoras de poluentes e gases estufa e produzem um montante poluição, causada pelas mudanças climáticas, que poderia se consumir cerca de 44% de seus lucros se tivessem que pagar indenizações por isso. Essa constatação decorre de um estudo realizado por economistas de quase 15.000 empresas de capital aberto (Christensen *et al.*, 2021). Os autores ainda destacam que quase 90% desses danos calculados vêm principalmente de quatro setores: energia, serviços públicos, transporte e fabricação de materiais, como o aço.

Nesse sentido, segundo relatório produzido pela *Carbon Majors Database*, 80% das emissões advindas da queima de combustíveis fósseis no mundo, desde a assinatura do Acordo de Paris¹, vêm de apenas 57 grandes empresas privadas e estatais. O aumento das emissões desde a conclusão do Acordo de Paris é mais visível na Ásia, onde as cinco principais companhias privadas e a maior parte das empresas estatais registraram emissões superiores àquelas observadas no período 2009-2015, o que se deve principalmente à expansão da produção de carvão no continente asiático (*Influence Map*, 2024). Desse modo, os novos esforços governamentais para fazer com que as empresas relatem suas emissões de gases que retêm calor, por exemplo, seriam significantes tanto para os resultados financeiros das empresas, quanto para a saúde ecológica mundial (Borestein, 2023).

Essa perspectiva ambiental sobre as atividades produtivas emerge principalmente nos anos 1990, com o estabelecimento de acordos climáticos mundiais como a Rio-92 e o Protocolo de Kyoto, cresceu a preocupação dos países em manter seu crescimento econômico de forma considerada sustentável. Nesse sentido, Stokey (1998) já destacava à época a relação contrária existente entre o processo de crescimento econômico e o meio ambiente. É oportuno ressaltar a importância e o reconhecimento de tecnologias para o crescimento econômico sustentável (Shi *et al.*, 2019; Koeller; Miranda, 2020). O 6º relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima da ONU (IPCC, 2022), por sua vez, reforça o alerta sobre os avanços do processo de mudanças climáticas que ocorrem globalmente e, assinala a urgência de soluções tecnológicas ambientais para reversão dos efeitos nocivos sobre o meio ambiente (Miranda *et*

¹ O Acordo de Paris foi concebido por 195 países signatários com o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de enviar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Assim, espera-se que os países desenvolvidos continuem a prestar apoio aos países em desenvolvimento, tanto para a redução das emissões como para a preparação para os impactos das alterações climáticas, incluindo a continuação do cumprimento da meta coletiva de 100 bilhões de dólares por ano (Delbeke *et al.*, 2019).

al., 2022). Nesse sentido, o desenvolvimento sustentável, torna-se cada vez mais imperativo desenvolver e fortalecer a pesquisa em tecnologias verdes, o que pode ocorrer sob a orientação e apoio do governo por meio de políticas de financiamento (Guo *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o conceito de ecoinovação ganha notoriedade e distingue-se do conceito de inovação tradicional² por duas características (OECD, 2010). A primeira distinção representa a ecoinovação como uma inovação que leva à redução do impacto ambiental, independentemente de tal efeito ser proposital ou não. A segunda consiste no escopo da ecoinovação em que pode ir além das fronteiras organizacionais convencionais, além de envolver de forma mais ampla as mudanças geradas dentro das normas socioculturais e estruturas institucionais existentes (Hrabytsky *et al.*, 2017). Dessa forma, a capacidade de reduzir consideravelmente as emissões de gases efeito estufa, sem comprometer o crescimento econômico futuro, está intimamente relacionada à implantação e ao desenvolvimento de tecnologias verdes (Noailly; Smeets, 2022).

Isto posto, de modo geral, os países e suas empresas vêm realizando grandes esforços para apoiar P&D e inovação ambiental com avanços significativos (Cecere *et al.*, 2017; Fabrizi *et al.*, 2018; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2018; Chaparro-Banegas *et al.*, 2023). No entanto, as informações sobre o desenvolvimento tecnológico ambiental ainda são especificadas como atividades de inovação de modo disperso (Wydra, 2020). De acordo com a teoria, diversas falhas de mercado explicam o porquê de as empresas tenderem a investir pouco no desenvolvimento de tecnologias verdes (Acemoglu *et al.*, 2012), destacando que a ausência de uma política ambiental que estabeleça um preço para as emissões de carbono, a “externalidade ambiental”, implica que as empresas têm incentivos insuficientes para desenvolver ainda mais estas tecnologias de baixo carbono, decorrente de um resultado incerto do processo de P&D, na falta de garantias e nas assimetrias de informação entre investidores e empresas inovadoras (Noailly; Smeets, 2022).

No âmbito dos países, o G-20³ vêm apresentando uma diminuição na produção nos setores de tecnologias fósseis, ao passo que setores como 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

² Com base no trabalho seminal de Schumpeter (1934), a inovação foi definida como a primeira introdução de um novo produto, processo, método ou sistema. Essa definição destaca a dupla natureza da inovação como processo (a introdução de) e como resultado (produto, processo, método, sistema) (Quintane *et al.*, 2011).

³ 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.

empresas dos países do G-20 estariam preocupadas com o desempenho ambiental o que, por sua vez, as destacaria em relação ao mercado global a longo prazo. No caso dos países em desenvolvimento, as empresas localizadas nessas nações têm importado tecnologias com o objetivo de atender a demanda externa, impulsionada por políticas climáticas e ambientais implementadas em países desenvolvidos (Peters *et al.*, 2012; Glanchant; Dechezlepretre; 2017; Marzia *et al.*, 2017).

Nesse sentido, as empresas tem se utilizado das atividades relacionadas aecoinovação para reduzir ou pelo menos mitigar o impacto ambiental, gerado por suas respectivas atividades, proporcionando também uma trajetória rumo ao desenvolvimento sustentável (Dogaru, 2020; Yurdakul; Kazan, 2020; Sumrin *et al.*, 2021). Nesse contexto, empresas tem utilizado o índice Trucost como uma forma mensurar o risco ambiental gerado por suas atividades (Faria; Andersen, 2016; Lin *et al.*, 2019; Sohn *et al.*, 2020; Fang-Klingler *et al.*, 2022).

Destarte, os dados do índice geral Trucost abrangem fatores de impacto em termos de emissões de gases de efeito estufa, atmosférica, terrestre e hídrica, geração de resíduos, bem como ao uso de água e outros recursos naturais (S&P, 2020). A pontuação de impacto ambiental direto do índice Trucost consiste, portanto, em uma métrica agregada de danos (expressa em dólares americanos) baseada em seis indicadores principais: emissões de gases de efeito estufa, resíduos gerais, captação de água, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e uso de recursos naturais. A pontuação de danos é padronizada pela receita da empresa para contabilizar a maior quantidade de produção de bens de empresas com receitas mais altas. Assim, uma pontuação mais alta de impacto ambiental significa que uma empresa teve mais danos ambientais (desempenho pior) comparando à uma empresa com uma pontuação de impacto mais baixa (desempenho melhor) (Walls; Berrone, 2017).

A partir da relevância sobre o eixo temático entre inovação ambiental e os esforços apresentados entre as empresas de diferentes países, exposto na presente seção introdutória, esta Tese pretende investigar a relação entre empresas, a sua respectiva influência no processo de ecoinovação e a consequente mitigação do impacto gerado ao meio ambiente. A investigação realizada para o triênio 2016-2018 tem como base os esforços efetuados pelas empresas globais. Para a obtenção de um resultado mais específico, a pergunta de pesquisa que norteará esta presente Tese é:

Como o desempenho financeiro, as patentes verdes (ecoinovação), o tamanho e a internacionalização das empresas influenciam a redução do risco ambiental medido pelo índice Trucost?

Do mesmo modo, serão examinadas a validade das seguintes hipóteses, indicadas pela literatura da área, com o objetivo de aprofundar a investigação sobre a relação entre empresas e os seus esforços em prol da ecoinovação:

H1: O estoque prévio de patentes verdes da empresa contribui para a redução do risco ambiental, mensurado pelo índice Trucost.

H2: O desempenho financeiro da empresa exerce influência significativa na diminuição do seu respectivo índice Trucost.

H3: O tamanho da empresa modera a relação entre o estoque de patentes verdes e o índice Trucost, potencializando a redução do risco ambiental.

H4: A internacionalização da empresa, por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, está associada a maior desempenho ecoinovador e a menores pontuações no índice Trucost.

A análise pretendida será realizada em duas etapas. A primeira, a nível macro, consiste numa análise exploratória multidimensional dos países, condicionada a uma série de variáveis correlatas, aplicando as técnicas multivariadas de Análise Fatorial (AF) e Análise de Agrupamento (*Clusters*). As variáveis em questão, que compreendem características setoriais, econômicas, tecnológicas e do meio ambiente, foram obtidas do Banco Mundial e do portal *OECD Data*. Na segunda etapa, será realizada a estimação do modelo econométrico a nível micro, i.e., revelando como as principais características das empresas estão vinculadas aos seus respectivos determinantes ambientais e tecnológicos. Nessa segunda parte, utiliza-se as bases de dados da *Orbis* e *PATSTAT*. O conjunto de dados *Orbis* fornece informações sobre códigos financeiros, de propriedade, de forma jurídica e de patentes para empresas e sociedades de responsabilidade limitada com balanços internacionais, para todos os setores de atividade (Auci *et al.*, 2021). Logo, a principal vantagem de utilizar o conjunto de dados *Orbis-PATSTAT* relaciona-se com a disponibilidade de um identificador único de empresa, que permite à empresa e dados de balanço contidos no arquivo *Orbis Europe do Bureau van Dijk* (Aiello *et al.*, 2021).

A estimação do modelo econométrico, por sua vez, será realizada com a adoção dos seguintes métodos, a saber: o estimador de Efeitos Fixos (EF) e o Método Generalizado dos Momentos (*Generalized Method of Moments – GMM*). Desta forma, será possível compreender a relação existente entre as características próprias às firmas que as projetam ao desenvolvimento tecnológico ambiental e ao processo de mitigação do impacto ambiental. O período analisado (2016-2018) permite uma visão com maior ênfase sobre o processo de ecoinovação, após os principais acordos mundiais para redução da poluição mundial, como é o caso da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992), o Protocolo de Kyoto (1997) e, principalmente, o Acordo de Paris (2015). Além disso, o recorte temporal em período trienal vem sendo amplamente utilizado na literatura (por exemplo, Rennings; Rammer, 2011; Doran; Ryan, 2012; Sanni, 2018; Santos *et al.*, 2019; Madaleno *et al.*, 2019), o que garante maior robustez à análise deste trabalho.

No primeiro momento, considerando em âmbito macro, as técnicas de análise multivariada revelaram a obtenção de três fatores, no caso da análise fatorial, a saber: Emprego e Qualificação, Capacidade Inovativa Ambiental e Estratégias Ambientais, enquanto que a análise de agrupamento mostrou a formação de 4 *clusters*. Esses resultados denotaram a relevância dos países nórdicos e das maiores economias mundiais como China, EUA, Japão e Alemanha, para realizar processos relacionados a ecoinovação e mitigação do impacto ambiental e, aliado a isso, observa-se a posterior formação de *clusters* bem comportados, mostrando grupos de países cujos membros possuem características territoriais e socioeconômicas bastante semelhantes.

No segundo momento, a análise é realizada a nível de empresa, via estimação por *GMM System* para dados em painel. A opção por esse método ocorreu pois permite controlar a presença da endogeneidade decorrente da questão de simultaneidade, utilizando as defasagens temporais das variáveis como uma forma de instrumentos exógenos. Dessa forma, as estimações via *GMM System* mostraram que características próprias a cada empresa influenciam diretamente no índice de risco ambiental Trucost. As estimações do modelo revelaram a influência das atividades patenteamento verde e da internacionalização da empresa para reduzirem a magnitude do índice Trucost, além de destacar que, o tamanho da empresa, possui um efeito moderador sob a impacto das patentes verdes em reduzir o risco ambiental gerado pelas atividades das empresas.

A partir do emprego das técnicas multivariadas e das estimações dos modelos econométricos a Tese apresenta, como um grande diferencial e avanço, posicionar a variável de risco ambiental, i.e. o índice Trucost, como variável dependente principal e analisar suas determinantes a partir de múltiplas características organizacionais e setoriais, propondo um avanço analítico relevante ainda pouco explorado na literatura de inovação ambiental.

Apesar dos avanços observados na literatura sobre inovação ambiental, ainda são escassos os estudos que tratam o índice Trucost como variável dependente principal em análises econométricas amplas. As investigações existentes tendem a concentrar-se em setores industriais específicos ou em recortes geográficos restritos, utilizando enfoques analíticos diversos que dificultam comparações mais generalizáveis (Albino *et al.*, 2012; Walls; Berrone, 2017; Ahmadova *et al.*, 2021). Essa limitação evidencia uma lacuna teórico-empírica relevante: a necessidade de compreender, sob uma perspectiva comparativa e estatisticamente robusta, quais características organizacionais e técnico-científicas influenciam a redução do risco ambiental empresarial, mensurado financeiramente.

A presente Tese propõe-se a preencher essa lacuna por meio de uma abordagem integrada que considera tanto variáveis setoriais e territoriais (nível macro) quanto características específicas das firmas (nível micro), aplicando o índice Trucost como métrica central. O diferencial da pesquisa reside, portanto, em investigar os determinantes da pontuação de risco ambiental empresarial com base em uma amostra abrangente de empresas, distribuídas entre múltiplos países e setores, o que permite expandir a análise da ecoinovação para além dos limites tradicionalmente explorados pela literatura.

Esta Tese está estruturada em cinco capítulos, além desta introdução. No Capítulo 1, apresenta-se a revisão teórica sobre Sistemas de Gestão da Inovação (SGI), com ênfase na inserção da inovação ambiental nesse contexto, distinguindo os processos radicais e incrementais. O Capítulo 2 discute os principais impulsionadores da ecoinovação, incluindo as atividades de P&D, o patenteamento verde, as características organizacionais e o papel da internacionalização empresarial. O Capítulo 3 detalha os procedimentos metodológicos adotados, as bases de dados utilizadas (*Orbis*, *PATSTAT*, Banco Mundial e *OECD Data*), bem como a definição das variáveis, com destaque para o índice Trucost como variável dependente principal. O Capítulo 4 apresenta os resultados empíricos obtidos por meio da aplicação das técnicas multivariadas no nível macro (países) e das estimações econométricas no nível micro (empresas), discutindo suas implicações. Por fim, o Capítulo 5 sintetiza as principais conclusões da pesquisa,

destacando as contribuições teóricas, metodológicas e práticas, bem como as limitações do estudo e possíveis caminhos para investigações futuras.

2 ASPECTOS TEÓRICOS DO SISTEMA GLOBAL DE INOVAÇÃO (SGI)

Neste capítulo, serão apresentadas a contextualização e o aprofundamento do conceito de Sistema Global de Inovação (SGI), enfatizando sua relevância no contexto da dinâmica contemporânea da inovação em escala internacional. Na seção subsequente, discutir-se-á a inovação tecnológica sob duas perspectivas fundamentais: inovação radical e inovação incremental, bem como a inter-relação entre ambas no processo de difusão e transição tecnológica, especialmente quando analisadas sob a ótica da sustentabilidade. Com isso, objetiva-se estabelecer um arcabouço teórico que permita compreender o SGI como um fenômeno estruturado por múltiplos atores e fluxos transnacionais, articulado às dimensões sistêmicas das ecoinovações e à crescente internacionalização do conhecimento científico e tecnológico.

2.1 SISTEMAS GLOBAIS DE INOVAÇÃO (SGIs): ANTECEDENTES E PERSPECTIVAS

Um sistema de inovação (SI) é constituído por elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimento novo e economicamente útil. O sistema nacional de inovação (SNI), por exemplo, compreende elementos e relacionamentos localizados ou enraizados dentro das fronteiras de um Estado-nação (Lundvall; Dosi, 1988). Ao longo das últimas décadas, distintas variantes do conceito de SI foram formuladas e operacionalizadas empiricamente, entre as quais se destacam as abordagens nacional (Lundvall, 1988), regional (Cooke *et al.*, 1997), setorial (Malerba, 2002) e tecnológica (Carlsson; Stankiewicz, 1991). A principal distinção entre essas abordagens reside na forma como os limites do sistema são definidos, isto é, na identificação dos elementos que contribuem para a geração de externalidades positivas associadas à inovação (Bergek *et al.*, 2015; Binz; Truffer, 2017).

Ao contrário do período da década de 1990, em que os estudos estavam fortemente ancorados na perspectiva dos sistemas nacionais de inovação, observa-se, a partir da década de 2010, um deslocamento progressivo do foco analítico para abordagens de caráter transnacional. Nesse novo contexto, a perspectiva dos Sistemas Globais de Inovação (SGIs) adquire centralidade como eixo estruturante dos debates acadêmicos sobre inovação em escala internacional. Binz e Truffer (2017), por exemplo, identificaram limitações nas abordagens tradicionais de SI diante das interações dinâmicas e transfronteiriças da inovação contemporânea, argumentando que a perspectiva de SGI oferece maior capacidade explicativa para tais fenômenos. Com base nessa crítica, os autores propuseram uma estrutura conceitual que inclui uma tipologia composta por quatro configurações genéricas dos SGIs, delineando a atuação de diferentes atores do sistema

de inovação a partir de uma abordagem sensível ao contexto industrial. Em trabalho mais recente, os mesmos autores aprofundaram a discussão, refinando as implicações de sua proposta para os mecanismos de governança associados à crescente globalização dos sistemas de inovação (Binz; Truffer, 2020).

Binz e Truffer (2017) argumentam que, para a adequada conceituação dos SGIs, duas premissas fundamentais devem ser consideradas. A primeira sustenta que sinergias sistêmicas na acumulação de recursos podem emergir da interação entre atores, a partir da cooperação em redes ou da atuação em instituições que, por sua vez, constituem subsistemas parciais — sejam eles urbanos, regionais ou delimitados nacionalmente. A segunda premissa estabelece que, para o funcionamento eficaz de um SGI, é necessário que esses processos localizados de formação de recursos estejam estruturalmente acoplados. Ou seja, atores, redes ou instituições específicas devem viabilizar o acesso a esses recursos nos diferentes subsistemas (Binz; Truffer, 2017).

Os processos de inovação que ocorrem dentro ou entre tais subsistemas são considerados essenciais para a geração de quatro recursos críticos, a saber: conhecimento, legitimidade, estruturas de mercado e capital financeiro, conforme identificado pelos autores. Para fins analíticos, os SGIs foram concebidos como compostos por subsistemas aninhados, nos quais o funcionamento geral do sistema depende da interação bem-sucedida entre esses subsistemas e da capacidade dos atores de acessar recursos que extrapolam suas fronteiras territoriais imediatas (Binz *et al.*, 2014; Bergek *et al.*, 2015).

Tais subsistemas podem ser organizados com base em critérios territoriais ou funcionais (relacionados aos recursos). Nesse sentido, conforme Rohe (2020), distingue-se entre acoplamentos verticais, que conectam subsistemas territoriais (por exemplo, nacional e transnacional), e acoplamentos horizontais, que interligam subsistemas articulados em torno de funções específicas (como geração de conhecimento ou formação de mercado). Os acoplamentos estruturais, por sua vez, são estabelecidos quando um mesmo ator opera simultaneamente em dois ou mais subsistemas de recursos no SGI, quando redes interconectam subsistemas distintos ou ainda quando um ator — como uma corporação multinacional — está presente em múltiplos subsistemas territoriais (Bergek *et al.*, 2015).

A estrutura dos SGIs busca captar como os recursos sistêmicos são gerados e distribuídos entre diferentes localidades e escalas, destacando, ainda, como características tecnológicas específicas moldam essas configurações espaciais (Binz; Truffer, 2017; Rohe, 2020). Em

contraste com as abordagens tradicionais dos Sistemas de Inovação (SIs), que se concentram em delimitações espaciais ou setoriais, a perspectiva dos SGIs reconhece a fluidez dos fluxos de conhecimento e da geração de inovações no contexto global. A globalização dos ambientes social e econômico, assim como a expansão das comunidades científicas e tecnológicas, impulsionou a necessidade de se reinterpretar a perspectiva dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) em termos mais amplos e interdependentes (Cho; Park, 2022).

Esse reposicionamento evidencia que o êxito dos processos de inovação raramente depende exclusivamente das capacidades, estratégias e recursos internos de um único ator. Ao contrário, a inovação emerge da interação estratégica entre uma ampla gama de atores, incluindo empresas, universidades, instituições de pesquisa, associações industriais, órgãos governamentais, usuários e organizações da sociedade civil (Heiberg; Truffer, 2022).

No que tange à mensuração da presença e eficácia de um SGI, Lee *et al.* (2020) propuseram uma abordagem empírica por meio do estudo de um projeto de colaboração científico-tecnológica entre Coreia do Sul e Reino Unido. Valendo-se do conceito de inovação aberta, os autores desenvolveram uma estrutura analítica para diagnosticar o grau de cooperação internacional, argumentando que tais arranjos colaborativos estratégicos em nível nacional podem expandir o arcabouço dos SNIs em direção à lógica dos SGIs.

Importa notar que o desempenho de um SGI não depende apenas da qualidade dos processos de formação de recursos em cada subsistema, mas também da capacidade dos principais atores de acoplar essas atividades dispersas em uma trajetória coerente de inovação em escala global. O SGI revela-se funcional quando os subsistemas estão devidamente estabelecidos, interconectados e, assim, capazes de mobilizar e recombina recursos para sustentar a inovação (Binz; Truffer, 2017).

A estrutura conceitual dos SGIs postula que, além dos estoques, fluxos e processos típicos de um sistema de inovação, é necessário distinguir subsistemas nos quais determinados recursos serão desenvolvidos e disponibilizados. Para que a inovação possa evoluir e alcançar maturidade, esses subsistemas devem ser conectados por meio de acoplamentos estruturais — isto é, por meio de atores, redes e instituições capazes de articular escalas espaciais distintas e facilitar o fluxo de recursos entre regiões relevantes (Bergek *et al.*, 2015). Uma empresa multinacional ou uma ONG, por exemplo, pode funcionar como acoplamento estrutural ao estabelecer conexões ativas entre os processos de formação de recursos em diferentes

territórios. Da mesma forma, instituições podem exercer esse papel quando padrões industriais globais ou culturas profissionais permitem o compartilhamento de conhecimento e capacidades entre localidades diversas (Binz; Truffer, 2017; Fuenfschilling; Binz, 2018).

De modo geral, um SGI plenamente funcional será composto por múltiplas iniciativas localizadas de formação de recursos, bem como por um conjunto de acoplamentos estruturais que integram esses recursos dispersos para garantir o desenvolvimento e a difusão da inovação. A caracterização de um SGI como tal, em oposição a meras conexões translocais entre atores isolados, depende, em grande medida, da capacidade do sistema de se autocoodenar e de sustentar suas atividades em uma escala transnacional (Heiberg; Truffer, 2022).

Dois fatores tecnológicos moldam diretamente a distribuição espacial dos recursos dentro dos SGIs. O primeiro refere-se ao modo de inovação predominante em determinada tecnologia, que pode seguir o modelo *STI* (*Science, Technology, Innovation*) ou *DUI* (*Doing, Using, Interacting*), conforme Jensen *et al.* (2007). O modo *STI* baseia-se em conhecimento codificado, oriundo sobretudo da pesquisa científica formal, enquanto o modo *DUI* valoriza o conhecimento tácito e emerge de interações práticas entre produtores e usuários. Embora distintos, esses modos de inovação frequentemente se combinam em configurações tecnológicas reais. No que diz respeito à espacialidade, tecnologias baseadas em *STI* tendem a favorecer a circulação global do conhecimento por meio de redes multiescalares, enquanto tecnologias baseadas em *DUI* permanecem fortemente enraizadas em contextos institucionais locais (Binz; Truffer, 2017; Rohe, 2020).

Os padrões de criação e difusão do conhecimento não são determinados apenas pela distância geográfica, mas também por proximidades cognitivas, organizacionais, institucionais e sociais (Boschma, 2005; Mattes, 2012; Rohe, 2020). Em uma perspectiva internacionalizada, os sistemas de inovação passam a ser compreendidos como redes de atores distribuídos em múltiplas escalas e inseridos em contextos institucionais que, simultaneamente, promovem ou limitam o surgimento e a disseminação de inovações. Em alguns casos, tais redes podem ser reduzidas a contextos territoriais específicos, mas frequentemente dependem de estratégias e dinâmicas institucionais que coevoluem entre distintas regiões do mundo. Assim, a combinação de atores, redes e instituições nos SGIs é altamente variada, e diferentes configurações podem gerar resultados de desempenho semelhantes (Edquist, 1997; Bergek *et al.*, 2008; Binz; Truffer, 2017).

A partir dessa abordagem, os SGIs tornam-se uma lente analítica robusta para investigar o desenvolvimento de novas tecnologias e setores industriais, com foco em quatro recursos críticos: criação de conhecimento, formação de mercado, mobilização de investimentos e legitimação da tecnologia (Binz; Truffer, 2017; Tsouri *et al.*, 2021). Para acessar esses recursos, as empresas devem estabelecer acoplamentos extraterritoriais, de modo a obter aquilo que não está disponível em seus contextos locais (Binz; Truffer, 2017). Para fins de desenvolvimento industrial nacional, pode ser estratégico construir internamente alguns desses recursos, desde que haja acesso complementar a outros recursos dispersos no SGI (Gosens *et al.*, 2015; Binz *et al.*, 2016). Por exemplo, atores em regiões sem mercados consumidores podem viabilizar a comercialização de seus produtos em subsistemas territoriais externos (Binz *et al.*, 2014). Assim, o acesso a recursos globais pode compensar deficiências estruturais nos níveis regional ou nacional (Tsouri *et al.*, 2021).

Dessa forma, os processos de construção de competências e de inovação assumem papel central na análise dos sistemas de inovação. O foco recai sobre como as relações duradouras entre atores são constituídas, transformadas e dissolvidas ao longo do tempo, resultando na criação de novas competências e na obsolescência de outras (Lundvall, 1988). A inovação emerge, assim, como elemento central para a sustentabilidade, conforme já discutido por Johnson (1998). No contexto das empresas, suas capacidades tecnológicas evoluem por meio de processos de aprendizagem específicos e por meio de interações, cooperativas ou competitivas, com outras organizações. Sistemas de inovação robustos e diversificados, apoiados por uma infraestrutura institucional adequada, tendem a evoluir e consolidar-se com o tempo (Lundvall, 2005).

As tecnologias ambientais integradas, voltadas à promoção de trajetórias tecnológicas sustentáveis, representam uma direção promissora para a qual as políticas regionais podem atuar como facilitadoras, incentivando a cooperação territorial orientada à sustentabilidade. Nesse sentido, a abordagem dos sistemas de inovação oferece um referencial teórico abrangente e adequado para examinar a influência de fatores internos e externos sobre a ecoinovação, bem como as interações entre eles. A abordagem enfatiza a importância das interdependências entre atores, redes, instituições, processos de aprendizagem e aspectos espaciais e tecnológicos, e compreende a difusão da inovação como um processo sistêmico de interação institucional, envolvendo setores público e privado (Edquist, 2005; Freeman, 1987; Keshminder; del Río, 2019).

Isto posto, a seção 2.2 abordará como os diferentes tipos de inovação se inserem neste contexto contemporâneo de crescente relevância da sustentabilidade.

2.2 INOVAÇÃO RADICAL E INCREMENTAL SOB A PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE

Inovações radicais refletem um alto grau de novidade, enquanto que inovações incrementais exibem um menor grau de novidade (Souto, 2015; Lennerts *et al.*, 2020; Freixanet; Rialp, 2022). A inovação incremental envolve pequenas melhorias em tecnologias, produtos e serviços existentes que podem aumentar a participação de mercado de uma empresa, melhorar a competitividade e fortalecer sua posição de mercado (Chen *et al.*, 2024). A inovação radical envolve o desenvolvimento de novas tecnologias, produtos ou serviços e tornar os existentes obsoletos, mudando completamente o cenário competitivo e criando novas perspectivas de negócios, enquanto a inovação incremental aumenta a vantagem competitiva de uma empresa ao tornar seu produto mais novo, valioso e confiável, ao mesmo tempo em que atende melhor às demandas do mercado e promove a lealdade do consumidor e a credibilidade da marca (Zhou; Li, 2012; Norman; Verganti, 2014; Chen *et al.*, 2024).

Enquanto a inovação incremental confere vantagem competitiva ao aprimorar atributos como valor percebido, confiabilidade e alinhamento às demandas do mercado, favorecendo a fidelização dos consumidores e a consolidação da marca, a inovação radical opera em outro plano, uma vez que redefine parâmetros tecnológicos e institucionais e exige capacidades dinâmicas mais complexas por parte das organizações. A natureza transformadora da inovação radical está frequentemente associada à introdução de paradigmas tecnológicos disruptivos, o que implica em elevados graus de incerteza, risco financeiro e prazos estendidos para a sua maturação e difusão. Desse modo, o desenvolvimento de inovações radicais tende a ser mais arriscado do que o de inovações incrementais, tanto pela incerteza tecnológica quanto pela imprevisibilidade dos retornos. É comum que muitos conceitos tecnológicos emergentes precisem ser financiados ainda nas fases iniciais do ciclo de inovação, com o intuito de identificar soluções promissoras que possam ser escaladas futuramente. Além disso, os impactos socioeconômicos e ambientais de inovações radicais muitas vezes só se tornam perceptíveis após longos intervalos de tempo, o que amplia os desafios de coordenação e financiamento no contexto da sustentabilidade (Kerr *et al.*, 2021).

Ao contrário da ideia de inovações radicais e disruptivas, a inovação incremental é uma forma comum e dominante de inovação baseada em pequenos refinamentos de sistema e extensões de

processos e *designs* estabelecidos (Dosi, 1982). Mudanças incrementais não são apenas a forma mais comum de inovação caracterizada por períodos longos e estáveis de inovações incrementais, mas o efeito cumulativo de inúmeras inovações incrementais também é responsável pela maioria do progresso técnico na indústria (Sevil *et al.*, 2022). Durante períodos de inovação incremental, as empresas usam o *know how* existente como uma plataforma para adotar pequenas mudanças. Em contraste com os processos de adaptação observados em inovações radicais, as empresas não precisam abandonar o *know how* existente e adquirir um conjunto inteiramente novo de capacidades. Assim, na presença de mudança incremental, não há dilema em escolher a tecnologia mais antiga ou a nova, pois os avanços sempre aumentam a inovação e a eficiência da ordem tecnológica existente (Sevil *et al.*, 2022).

Destaca-se que existem diversos fatores que influenciam a inovação incremental e a inovação radical, como as características do mercado, o desenvolvimento institucional, o comportamento de consumo (González *et al.*, 2016), a capacidade de cooperação e absorção de P&D (Ritala; Hurmelinna-Laukkanen, 2013), a capacidade de acumulação de conhecimento (Forés; Camisón, 2016; Rupietta; Backes-Gellner, 2019) e a entrada no mercado (Davis; Tomoda, 2018).

No que diz respeito ao aspecto ambiental da atividade inovativa, Fussler e James (1996) foram um dos precursores em dissertar sobre o conceito de inovação verde, que se refere à melhoria do desempenho ambiental, incluindo inovação de produtos, inovação de processos e inovação de projetos, por meio do desenvolvimento e utilização de novos produtos, novos processos e novos serviços. A inovação verde é mais complexa e exigente do que a inovação geral (Rennings, 2000; De Marchi, 2012). Nessa visão, atingir a inovação verde requer capacidades corporativas, como aprendizado interorganizacional (Bossle *et al.*, 2016; Jakobsen; Clausen, 2016), que é realizado por meio de organizações com diferentes capacidades e recursos técnicos. Particularmente, em países em desenvolvimento, é mais difícil para as empresas atingirem a inovação verde com base em suas próprias capacidades (Guo *et al.*, 2020).

Borghesi *et al.* (2015) apontaram que a inovação verde pode reduzir o impacto negativo das atividades econômicas no meio ambiente e no uso de recursos por meio da inovação em produtos, processos, sociedade, instituições ou organizações. A inovação verde é considerada a chave para abordar questões de sustentabilidade e aumentar a vantagem competitiva organizacional (Tamayo-Orbegozo *et al.*, 2017). De acordo com diferentes níveis de tecnologia, a inovação verde pode ser dividida em inovação radical verde ou inovação incremental verde

(Chen *et al.*, 2014; Dai *et al.*, 2015; Guo *et al.*, 2020). Uma inovação incremental de produto verde se refere à pequena melhoria de versões anteriores de produtos usando tecnologias existentes ou de baixa qualidade e habilidade de funcionários. Esse tipo de inovação é direta, pois as mudanças são baseadas na produção e rede semelhantes, enquanto nenhuma pesquisa de *marketing* avalia as novas necessidades do cliente. Por outro lado, a inovação radical verde exige a transformação em elementos suaves, como social e habilidade, enquanto elementos duros em termos de alta tecnologia e maquinário (Rennings *et al.*, 2013; Rashid *et al.*, 2014; Cui *et al.*, 2022; Mazzei *et al.*, 2022).

No caso da inovação radical verde, ela pode ser descrita como a criação artística nova ou única de produtos, processos ou serviços verdes de uma empresa, desenvolvendo ou introduzindo radicalmente uma nova tecnologia ambiental (Chen *et al.*, 2014). Esse tipo de inovação radical também pode ser referida como o desenvolvimento de um novo produto com base na abordagem de eficiência que reage como substituto do produto existente, mas avança na tecnologia, por exemplo, a introdução de alternativas híbridas e de hidrogênio para veículos com eficiência energética em termos de redução do consumo de combustível e emissão de carbono (Rashid *et al.*, 2014).

Ainda nesse sentido, Dawar (2014) e Voegtlin e Scherer (2017) definem inovação radical verde como alterações profundas ou revolucionárias em produtos, serviços ou processos verdes existentes, alcançadas por meio de tecnologia ambiental que se desvia do conhecimento ambiental predominante. Deve-se ressaltar que a inovação bem-sucedida requer a integração de conhecimento externo e capacidade interna que pode fornecer conhecimento, tecnologias e ideias importantes (Cancela *et al.*, 2022) e já há algum tempo está estabelecido que a introdução de inovação radical é essencial para uma empresa renovar sua posição competitiva (McDermott; O'Connor, 2002; Liao; Zhang, 2020), além de ser um impulsionador fundamental do crescimento, lucratividade e sobrevivência a longo prazo da empresa (Liao; Zhang, 2020; Bai *et al.*, 2023).

Dawar (2014) e Hao *et al.* (2019), por sua vez, definem inovação incremental verde como pequenas melhorias ou ajustes modestos em produtos, serviços ou processos verdes existentes, facilitados pela tecnologia ambiental que reforça, altera ou estende o conhecimento ambiental predominante. Inovação incremental significa que, por meio de pequenas inovações contínuas, graduais e permanentes, o objetivo da inovação de gestão é finalmente alcançado (Cillo *et al.*, 2019; Liao; Zhang, 2020). Por exemplo, fazer pequenas alterações nos componentes de

produtos existentes, fortalecer e suplementar as funções dos *designs* de produtos existentes, sem alterar a estrutura do produto e a conexão dos componentes (Afsar *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020).

Huang e Li (2017) descobriram que a inovação incremental verde acontece quando um redesenho dos processos de produção leva os esforços da indústria a aumentar as possibilidades de reciclagem. Os avanços tecnológicos tendem a ser o foco principal dos esforços atuais de inovação verde, que são tipicamente associados a produtos ou processos direcionados para a inovação verde (Huang; Li, 2017; Bai *et al.*, 2023). Bai *et al.* (2023), por sua vez, definem a inovação verde incremental como uma pequena melhoria ou expansão de uma empresa em produtos, processos ou serviços verdes existentes, ajustando, reforçando ou aprimorando a tecnologia ambiental atual. Ressalta-se ainda que a maior diferença, entre inovação verde e inovação tradicional, pode ser descrita na dupla externalidade, a saber, o efeito de transbordamento da inovação no estágio de P&D e inovação e o efeito de transbordamento ambiental no estágio de adoção e difusão (Rennings, 2000).

O produto oriundo de inovação radical verde é muito significativo na substituição de componentes críticos que resultaram em alto impacto no meio ambiente, na criação de um novo produto valioso a partir de componentes reciclados ou na criação de um novo produto superior em tecnologia e novo no mercado (Rashid *et al.*, 2014). Logo, inovações radicais são de fundamental importância do ponto de vista econômico, pois têm o potencial de desencadear o surgimento de tendências tecnológicas inteiramente novas, causar mudanças estruturais de longo alcance e alimentar a prosperidade econômica. A capacidade das empresas de criar novidades em termos de inovação é considerada um pré-requisito necessário para obter uma vantagem competitiva sustentável e acompanhar os concorrentes. As empresas geralmente seguem estratégias de inovação exclusivas para lidar com altos níveis de ambiguidade e complexidade, particularmente prevalentes em campos tecnológicos intensivos em conhecimento (Shkolnykova; Kudic, 2022)

A transição para um sistema de inovação que considere questões relacionadas à sustentabilidade não é apenas, contudo, uma questão de desenvolvimento de novas tecnologias, mas também compreende uma nova direção, trajetória, além de metas específicas para inovar e aprender em um sistema ainda mais complexo (Lundvall, 2016; Schlaile *et al.*, 2017; Fagerberg, 2018). Dessa forma, a ecoinovação pode ser entendida além de um rótulo em que considera a tecnologia como verde. Entretanto, a ecoinovação possui as características necessárias para

promover estrategicamente as transformações por toda a cadeia de valor de produtos e processos (Jesus; Mendonça, 2018). Logo, as ecoinovações, já estão há algum tempo definidas como um processo, equipamento, produto, técnica ou sistema de gestão novo ou melhorado que evita ou reduz o impacto ambiental (Horbach, 2008; Galliano; Nadel, 2015), de forma intencional ou não.

Dentro desse contexto, o conceito de ecoinovação ou inovação ambiental mais utilizado na literatura é aquele definido pelo relatório *Measuring Eco-innovation* (MEI, 2008):

“a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou gestão ou método de negócio que seja novo para a organização (desenvolvê-lo ou adotá-lo) e que resulte, ao longo do seu ciclo de vida, na redução do risco ambiental, poluição e outros impactos negativos do uso de recursos (incluindo o uso de energia) em comparação com alternativas relevantes” (Kemp; Pearson, 2007, p. 7).

As atividades ecoinovativas, em suma, podem envolver tanto a inovação na redução da poluição (*end of pipe*) quanto a implementação de novas tecnologias que reduzam a produção de poluentes (*cleaner technologies*) (Lanjouw; Mody, 1996). No primeiro caso, *end of pipe*, estão tecnologias que não fazem parte do processo produtivo, mas que são acrescentadas ao seu final 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” (Frondel *et al.*, 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.*, 2020).

No segundo caso, *cleaner technologies*, estão as tecnologias com foco na prevenção de danos ao meio ambiente (López, 1996; Rennings, 1998; 2000). 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.

Em geral, pode haver a escolha por uma dessas estratégias para cumprir regulamentos ambientais. A opção pelas tecnologias *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 (Mantovani *et al.*, 2017).

Ainda é oportuno ressaltar que, a relação entre os sistemas de inovação e a sustentabilidade ambiental, foi por muito tempo negligenciada pelos agentes econômicos (Metcalf; Ramlogan, 2008; Truffer; Coenen, 2011; Schot; Steinmueller, 2018). Foxon e Andersen (2009) argumentam que ações direcionadas à promoção das ecoinovações são importantes para alcançar uma transição de longo prazo em prol de uma economia de baixo carbono sustentável. Do mesmo modo, a transição tecnológica limpa passou a ser o objetivo da estratégia industrial de qualquer nação. Nesse caso, o SI surge, portanto, como uma estrutura que apoia e estimula mudanças em direção a um futuro mais sustentável (Mansouri, 2013).

Kemp e Andersen (2004), por sua vez, já defendiam a integração da ecoinovação e dos SIs. Segundo esses autores, isso ocorreria por meio do reforço à investigação em tecnologias ambientais, apoiando a demonstração e replicação de técnicas promissoras; pela disponibilização de fundos para investimentos ambientais garantindo acesso suficiente ao capital; eliminação gradual de subsídios, práticas e medidas políticas prejudiciais ao meio ambiente e o incentivo à aquisição de produtos ecoinovadores para alavancar um mercado ou expandir um existente, identificando oportunidades para tecnologias ambientais quando as plantas industriais são substituídas e criando um sistema coerente de inovação ambiental.

Por fim, o desenvolvimento, a coordenação e a gestão dos Sistemas Globais de Inovação (SGIs), orientados para uma gestão mais sustentável e o fomento às ecoinovações, podem e devem estar condicionados a diversos impulsionadores (*drivers*). Como exemplo, destacam-se os programas de apoio à pesquisa e desenvolvimento (P&D) que privilegiam medidas políticas focadas no lado da oferta. Em síntese, as empresas não inovam de forma isolada; a inovação é um processo interativo envolvendo múltiplos atores e instituições integrantes do sistema de inovação. Dessa forma, os SIs emergem como pontos nodais para a inovação e a tecnologia, bem como para facilitar o relacionamento e a interação entre empresas privadas e atores institucionais (Lundvall, 2007; Wicki; Hansen, 2017).

Todavia, o atual sistema de inovação ainda se encontra mal alinhado com as metas ambientais. A política ambiental carece de objetivos explícitos voltados para a inovação, enquanto as

políticas de inovação privilegiam predominantemente a competitividade econômica, desconsiderando amplamente os objetivos sociais e ambientais. Dessa maneira, evidencia-se a necessidade premente de um sistema de inovação dotado de competências ambientais amplas no âmbito dos negócios, sustentado por instituições de conhecimento robustas em competências ambientais e por ambientes dinâmicos, tais como incubadoras especializadas. Ademais, ressalta-se a importância de maior coesão e articulação, tanto no âmbito nacional quanto internacional, bem como a necessidade de uma coordenação mais eficaz dos sistemas de inovação ambiental. Tal coordenação deve concentrar-se na remoção de gargalos, promovendo o aprendizado interativo e a cooperação entre os diversos atores e agentes envolvidos, fortalecendo assim o sistema de inovação ambiental.

No item subsequente, serão apresentados alguns fatores considerados *drivers* das atividades de ecoinovação, destacando-se, ainda, o papel central das empresas na implementação dessas práticas, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais decorrentes de suas respectivas atividades produtivas.

3 ASPECTOS SISTÊMICOS DO SGI AMBIENTAL

Desde a década de 1970, observa-se uma crescente preocupação com as implicações negativas associadas à relação entre crescimento econômico e aumento da poluição industrial sobre o meio ambiente. Embora a inovação desempenhe papel central na promoção do crescimento econômico e do progresso social, as recentes emergências ambientais têm ampliado o escopo de atenção para além do desempenho econômico, envolvendo um número crescente de setores industriais (Llorca-Ponce *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2021; Sperotto; Tartaruga, 2021). Nesse contexto, a relevância da inovação ambiental reside não apenas em sua capacidade de impulsionar o desempenho competitivo, mas também na sua contribuição para a melhoria das condições de vida, bem como para o atendimento de demandas sociais e ambientais mais amplas, elementos essenciais para o estímulo e consolidação da ecoinovação (Long *et al.*, 2020).

Por sua vez, as ecoinovações têm sido consideradas importantes *drivers* de competitividade das empresas (Del Rio *et al.*, 2016; Hojnik; Ruzzier, 2016; Lopes *et al.*, 2022; Mady *et al.*, 2022; Passaro *et al.*, 2023). Para Mercado-Caruso *et al.* (2023) a ecoinovação pode ser compreendida como o desenvolvimento de produtos e processos que contribuem para a busca de soluções para diferenciar e posicionar empresas ou negócios no mercado de forma sustentável. Trata-se, portanto, de um processo que exige coordenação sistêmica, aprendizado organizacional e articulação entre múltiplos atores, aspectos importantes para o funcionamento eficaz de um Sistema Global de Inovação (SGI) ambientalmente orientado (Arranz *et al.*, 2019).

Sobre o papel governamental, nota-se que esse agente desempenha uma função estratégica na capacitação e suporte dos SIs, com intuito de gerar tecnologias limpas e promover ecoinovações. Em fases iniciais, o governo pode atuar como catalisador, facilitando novas parcerias e acelerando a transição para uma economia verde. Em etapas posteriores, sua atuação se torna essencial no provimento de recursos, na criação de condições estruturais, na formulação de políticas públicas voltadas à criação de mercados e ao incentivo à adoção e difusão de inovações ambientais (Chaminade *et al.*, 2018). Além disso, a compreensão sobre as competências e habilidades dos diversos atores do sistema, incluindo fornecedores, consumidores e colaboradores internos das empresas, é um fator chave para viabilizar a transição verde dentro de um Sistema Global de Inovação (SGI) (Østergaard *et al.*, 2021).

Nesse sentido, Acemoglu *et al.* (2016) destacam que o mercado proporciona incentivos demasiadamente fracos para o desenvolvimento de ecoinovações, porque o custo da poluição

para as empresas e as famílias é inferior ao custo social. Desse modo, os *drivers* da ecoinovação normalmente podem ser classificados em três categorias: *technology push* (P&D, capital humano, restrições financeiras e sistemas de gestão da qualidade), *market pull* (responsabilidade social corporativa, rótulos de origem dos produtos, mudanças na demanda do mercado e diferenciação do produto) e *push-pull* (existência de políticas públicas) (Aloise *et al.*, 2016; Arfaoui, 2018; Sperotto; Tartaruga, 2021).

Destaca-se ainda que a relevância das atividades de P&D se manifesta independentemente de sua origem, sejam internas à firma ou adquiridas externamente. Em estudo sobre os determinantes da ecoinovação na estrutura industrial brasileira, Ervilha *et al.* (2019), utilizando um modelo logit multinível ordenado, evidenciaram que empresas com maior intensidade em atividades de P&D realizam mais investimentos em ecoinovação do que aquelas com menor envolvimento nessas atividades.

Entre os *drivers*, a demanda do cliente também figura como um importante vetor. Consumidores mais conscientes ambientalmente tendem a exercer maior pressão por bens e serviços que atendam a padrões de sustentabilidade, o que leva as empresas a adotarem práticas de ecoinovação. Evidências empíricas corroboram esse papel da demanda do consumidor não apenas na implementação de ecoinovações, mas também na radicalidade e novidade das soluções desenvolvidas (Demirel; Kesidou, 2019; Costantini *et al.*, 2020; Parrilli *et al.*, 2023). Feita essa contextualização inicial, a seção seguinte abordará de forma mais aprofundada o papel das atividades de P&D e a contribuição das patentes verdes no processo de inovação ambiental.

3.1 AS ATIVIDADES DE P&D E AS PATENTES VERDES COMO ELEMENTOS-CHAVE PARA A TRANSIÇÃO TECNOLÓGICA AMBIENTAL

A literatura aponta as atividades de P&D como um determinante notório no desenvolvimento de ecoinovações (Chen *et al.* 2016; Costa-Campi *et al.*, 2017; Ullah; Nasim, 2021; Haggmark; Elofsson, 2022; Lopes *et al.*, 2022). De maneira geral, verifica-se que os incentivos diretos à inovação, como os subsídios, exercem um impacto mais expressivo sobre os investimentos empresariais em P&D do que os instrumentos regulatórios. Costa-Campi *et al.* (2017) comprovam essa afirmação com os resultados de uma pesquisa com 22 setores industriais espanhóis, entre 2008 e 2013, demonstrou que os subsídios públicos destinados à P&D tiveram impacto significativo na promoção de iniciativas voltadas à inovação ambiental.

A partir de uma abordagem qualitativa com base em estudos de caso, Lopes *et al.* (2022) analisaram as estratégias de inovação sustentável adotadas por nove empresas e concluíram que existe um grau crescente de preocupação com questões ambientais, o que se traduz na implementação de práticas sustentáveis integradas aos modelos de negócio. Os autores destacam que políticas públicas que incentivam a P&D empresarial, como o financiamento governamental, a formação de capital humano qualificado e o apoio a projetos-piloto, desempenham papel central no estímulo à ecoinovação, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução de custos e riscos empresariais.

No contexto de economias emergentes, examinando os determinantes da inovação verde nos países do grupo dos BRICS, a inovação verde enfrenta barreiras adicionais, como longos ciclos de desenvolvimento, alto risco de fracasso e retornos financeiros reduzidos. Qi e Yang (2023) apontam que, na China, essas características dificultam o avanço da P&D ambiental, sendo os incentivos financeiros públicos e privados condições essenciais para viabilizar a inovação verde em um ambiente de mercado competitivo.

Em nível nacional, Chaparro-Banegas *et al.* (2023), por meio de uma Análise Comparativa Qualitativa (QCA) com dados de países europeus para o ano de 2021, evidenciaram que a ausência de investimentos em P&D, seja público ou privado, constitui uma condição necessária para explicar a ausência de ecoinovação em determinado país. Assim, se as empresas ou organismos públicos de um país não conseguirem atribuir recursos financeiros à P&D, o nível de ecoinovação será baixo ou praticamente nulo. Notavelmente, ter qualquer tipo de investimento não é uma condição necessária para a presença da ecoinovação de um país. Contudo, a ausência de investimento público ou privado em P&D é uma configuração necessária para explicar a ausência de ecoinovação (Chaparro-Banegas *et al.*, 2023)

Dessa forma, observa-se que a combinação entre políticas públicas ambientais e de inovação, incluindo políticas energéticas, fiscais e regulatórias, é relevante para fomentar investimentos em P&D ambientalmente orientados (Costa-Campi *et al.*, 2017). Esses investimentos não apenas promovem o desenvolvimento de produtos e serviços ecologicamente corretos, mas também ampliam o potencial de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e geram vantagens competitivas tecnológicas duradouras, contribuindo para reduzir as incertezas associadas ao progresso técnico em direção à sustentabilidade (Lin; Shi, 2023).

Cabe, no entanto, destacar o estudo de Fernández *et al.* (2021), que apresenta resultados dissonantes em relação ao mainstream da literatura sobre os efeitos da P&D na ecoinovação. Analisando o caso do Chile entre 2009 e 2016, os autores constataram que os investimentos em atividades de P&D não se mostraram determinantes para o desenvolvimento de ecoinovações nas empresas analisadas. Em outras palavras, maiores dispêndios em P&D não se traduziram em uma maior propensão à inovação ambiental, o que contraria boa parte da evidência empírica predominante. Apesar disso, os resultados encontrados alinham-se parcialmente com estudos anteriores conduzidos em países desenvolvidos (Horbach *et al.*, 2012; Cainelli *et al.*, 2015; Horbach *et al.*, 2016), os quais também identificaram limitações no papel direto da P&D como vetor de ecoinovação, sobretudo quando desacompanhada de outros fatores complementares, como políticas públicas, regulação ambiental ou pressões de mercado.

Ainda que existam tais exceções, a literatura majoritária reafirma o papel essencial da P&D para a construção de capacidades tecnológicas internas, imprescindíveis tanto para o desenvolvimento de inovações quanto para a absorção eficiente de conhecimentos provenientes de fontes externas. Destaca-se, nesse sentido, a importância não apenas dos investimentos genéricos em P&D (Ghisetti *et al.*, 2015; Horbach, 2016; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2018), mas também daqueles direcionados especificamente ao desenvolvimento de tecnologias ambientais (Lee; Min, 2015; Costa-Campi *et al.*, 2017), os quais se mostram fortemente correlacionados à capacidade de introduzir e consolidar práticas de ecoinovação.

Nesse contexto, empresas que realizam maiores despesas em P&D interno tendem a apresentar maior probabilidade de desenvolver ecoinovações (Horbach, 2016; Hojnik; Ruzzier, 2016; Muscio *et al.*, 2017; Rodríguez-Rebés *et al.*, 2021). Esses resultados sugerem que o conhecimento tecnológico acumulado internamente, aliado ao acesso e à integração de conhecimento externo, atua de forma isolada ou sinérgica para promover a inovação ambiental. Como destacado por diversos autores (Del Río *et al.*, 2016; Marzucchi; Montresor, 2017; Arfi *et al.*, 2018; Chistov *et al.*, 2023), essa combinação cruzada de fontes de conhecimento permite às empresas lidar com a natureza multidimensional e sistêmica das ecoinovações, ampliando sua capacidade de resposta a desafios ambientais complexos.

Assim, países ou empresas que alocam mais recursos em atividades de P&D tendem a apresentar maior disposição para adotar estratégias de ecoinovação, uma vez que tais investimentos reduzem o nível de incerteza e a probabilidade de fracasso no processo de inovação ambiental. Ressalta-se, ainda, que o setor privado tem se configurado como ator

central tanto no desenvolvimento quanto no financiamento de projetos de ecoinovação (Jiménez-Parra *et al.*, 2018). Evidência empírica recente aponta que os investimentos privados em P&D podem, inclusive, reduzir impactos ambientais sem comprometer o desempenho econômico das empresas (Hojnik *et al.*, 2022). Exemplo disso é o estudo de Jové-Llopis e Segarra-Blasco (2018), que mostra que empresas orientadas para a ecoinovação realizam gastos internos em P&D superiores às aquelas que não adotam tal orientação, o que indica que as exigências tecnológicas para a ecoinovação são mais intensivas. Tal constatação reforça a ideia de que a escassez de recursos financeiros pode atuar como uma barreira crítica para o avanço da ecoinovação, limitando o desenvolvimento tecnológico necessário para sustentar esse tipo específico de inovação (Chaparro-Banegas *et al.*, 2023).

Logo, os governos se configuram como importantes agentes econômicos na promoção da ecoinovação, por meio do incentivo a iniciativas empresariais de P&D, financiamento público direto, aumento da capacidade de transferência de conhecimento, apoio à educação e formação técnica, bem como ao custeio de projetos-piloto e de demonstração (Juntunen *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2022). Essas ações, ancoradas em políticas públicas que buscam impulsionar os avanços tecnológicos, têm o potencial de reduzir custos para as empresas e mitigar riscos associados à inovação ambiental. A ajuda governamental, portanto, mostra-se significativa na promoção da ecoinovação, reforçando o papel estratégico das instituições públicas na indução de práticas sustentáveis dentro dos setores produtivos (Rabêlo; Melo, 2019).

As atividades de P&D consistem no passo inicial que visa a obtenção de novas tecnologias que poderão ser patenteadas posteriormente. As patentes relacionadas a tecnologias verdes têm aumentado ao longo do tempo. O número de patentes verdes foi baixo por cerca de uma década até 1992, depois começou a aumentar, particularmente após 1995. Enquanto o número de patentes verdes representava apenas 10% do número de patentes de tecnologias fósseis registradas anualmente durante toda a década de 1980, essa proporção muda consideravelmente com o passar dos anos e atinge a marca de 60% no ano de 2005 (Aghion *et al.*, 2012). Em termos geográficos, o Japão tem liderado consistentemente o número de patentes verdes desde meados da década de 1980, seguido pelo crescimento acentuado de Coreia do Sul e China, que têm investido fortemente em inovação para redução da poluição (Jovanović *et al.*, 2022).

Ainda assim, a maior parte das patentes verdes permanece concentrada em um pequeno grupo de países industrializados: Alemanha, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e China (Ruggi *et al.*, 2017; Urbaniec *et al.*, 2021; Moghadam; Karami, 2024). De fato, os estudos sobre patentes

ambientais geralmente focam nesses países, dada sua elevada capacidade de gerar, proteger e comercializar tecnologias verdes em escala global.

O número de patentes verdes é frequentemente usado como uma proxy de intensidade deecoinovação. Patentes verdes, portanto, têm um impacto positivo no desenvolvimento de tecnologias limpas (OECD, 2009; Jovanović *et al.*, 2022). As patentes verdes têm um impacto positivo no desenvolvimento de tecnologias limpas e o maior aumento está no número de patentes verdes relacionadas a inovações em tecnologias relacionadas à mitigação das mudanças climáticas e energia solar. Costantini *et al.* (2017) examinaram vários setores industriais europeus e relataram que patentes ambientais, bem como transbordamentos de tecnologia ambiental nacionais e estrangeiras de setores verticalmente relacionados, reduziram a intensidade de emissão setorial. Da mesma forma, Ghisetti e Quatraro (2017), Jiao *et al.* (2018) e Jiao *et al.* (2020) descobriram que os transbordamentos de tecnologia ambiental influenciam a produtividade ambiental e de carbono entre setores verticalmente relacionados na Itália e na China (Alola; Rahko, 2024).

É importante destacar que a literatura recente sobre ecoinovação baseada em dados de patentes (Hašćic; Migotto, 2015; Karvonen *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019) evidencia uma distinção entre os enfoques adotados por países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto os primeiros tendem a enfatizar o potencial de mercado e as oportunidades associadas às tecnologias verdes, os segundos concentram-se mais nas necessidades práticas de mercado e em soluções adaptativas (Kumar, 2015; Burzyńska *et al.*, 2019; Ullah; Nasim, 2021; Qi; Yang, 2023). Dessa forma, a utilização de patentes verdes como indicador tem se consolidado como ferramenta útil para estudos empíricos em ecoinovação, tanto no plano setorial quanto no empresarial, permitindo captar a intensidade e a direção dos esforços inovadores voltados à sustentabilidade ambiental.

Num dos trabalhos seminais sobre esse assunto, Lanjouw e Mody (1996) utilizaram 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. Fez-se a distinção entre a inovação em tecnologias verdes de redução da poluição (*end of pipe*) e aquela relacionada a implementação de novas tecnologias que reduzam a produção de poluentes (*cleaner technologies*)⁴. Os autores constatam que a produção de tecnologias verdes aumenta à

⁴ Ver seção 2.2

medida que os gastos com redução de poluição no país aumentam. Para as economias desenvolvidas (EUA, Japão e Alemanha), a maioria das patentes verdes é de origem doméstica. Em contraste, nos países em desenvolvimento, a maior parte dessas patentes tem origem estrangeira, o que evidencia a importância da difusão tecnológica, especialmente em áreas de maior complexidade técnica, como o controle da poluição do ar. Por outro lado, no que se refere ao controle da poluição da água, as inovações tendem a ser mais locais, refletindo as especificidades contextuais e ambientais desses países.

Por sua vez, Scarpellini *et al.* (2019) analisaram o impacto da ecoinovação no desempenho financeiro de empresas atuantes na Espanha, utilizando como medidas o número de patentes verdes e a intensidade das atividades de P&D. A amostra é composta por 2.218 empresas com perfil proativo em ecoinovação, das quais 249 possuíam patentes verdes. Os autores encontraram uma relação positiva entre a intensidade em P&D, a inovação em geral e as atividades de ecoinovação, reforçando a ideia de que o esforço inovativo direcionado à sustentabilidade ambiental tende a estar articulado com estratégias empresariais mais robustas em termos de inovação tecnológica.

No contexto norte-americano, Apergis e Aydin (2023) investigaram os efeitos da inovação tecnológica verde na sustentabilidade ambiental entre 1980 e 2015. Os resultados indicam que um aumento de 10% nas patentes verdes está associado a um crescimento entre 0,1% e 0,3% na sustentabilidade ambiental, no curto e no longo prazo, respectivamente. Este achado é relevante para formuladores de políticas públicas, pois aponta as patentes verdes como vetor essencial para o avanço de tecnologias sustentáveis.

Sob uma perspectiva crítica, Radulescu *et al.* (2024) avaliam a transição energética nos países do grupo BRICS e concluem que ela ainda é insuficiente para atender às metas de sustentabilidade ambiental de longo prazo. Apesar disso, os autores observam que as patentes verdes possuem influência significativa e positiva, ao mesmo tempo que revelam uma baixa prioridade atribuída à sustentabilidade ambiental nas estratégias inovadoras desses países. Os resultados sugerem a necessidade de reforço nas políticas públicas para ampliar os investimentos e incentivos voltados à ecoinovação.

Em linha semelhante, Barbieri *et al.* (2020) analisaram uma extensa amostra de patentes registradas entre 1980 e 2012 e empregaram indicadores de complexidade, novidade e impacto para diferenciar as tecnologias verdes das não verdes. Os autores chegaram a quatro

constatações principais: As patentes verdes tendem a ser mais complexas do que as não verdes; As tecnologias verdes apresentam maior grau de novidade; As tecnologias verdes têm impacto mais abrangente no desenvolvimento de tecnologias subsequentes; A direção rumo à sustentabilidade de uma invenção é um fator determinante para maiores transbordamentos tecnológicos (*spillovers*), sendo que a complexidade e a novidade explicam apenas parcialmente essas externalidades. Esses resultados reforçam a ideia de que as inovações ambientais têm não apenas relevância tecnológica e econômica, mas também alto potencial de difusão e contribuição para o progresso tecnológico sustentável.

De acordo com Oyebanji *et al.* (2022), as patentes de inovação ambiental oferecem incentivos econômicos substanciais aos inovadores e contribuem para a redução da vulnerabilidade ambiental. Os resultados do estudo indicam que um aumento de 1% nas patentes de tecnologia ambiental está associado a uma redução de 11% nas emissões de carbono, sinalizando o papel transformador dessas tecnologias na industrialização verde, especialmente nos países nórdicos. Da mesma forma, Kirikkaleli *et al.* (2023) ressaltam que as patentes ambientais são um componente estratégico para combater as emissões de CO₂ e, conseqüentemente, alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU para 2030.

No contexto do Oriente Médio, Abedi e Moeenian (2021) analisaram o impacto das patentes ambientais sobre o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável entre 2010 e 2016. Os resultados indicam que patentes associadas à gestão ambiental e à mitigação das mudanças climáticas exercem efeitos positivos e significativos sobre o desenvolvimento econômico nos países da região, destacando o papel estratégico da ecoinovação no fortalecimento da sustentabilidade em economias emergentes.

Sob a ótica do financiamento interno, Noailly e Smeets (2022), ao examinarem 1.300 empresas europeias no período de 1995 a 2009, demonstram uma relação positiva entre fluxo de caixa e patenteamento de tecnologias verdes, sugerindo que a liquidez financeira influencia diretamente os esforços inovativos voltados à sustentabilidade. Em consonância, Zhang *et al.* (2019) identificam uma relação positiva entre patentes verdes e desempenho empresarial em empresas públicas chinesas de manufatura, especialmente a partir de 2006, ano em que o governo chinês passou a apoiar formalmente a indústria verde. Essa evidência destaca a influência direta das políticas públicas no estímulo à inovação ambiental e reforça a recomendação de incluir o setor privado como elemento-chave na transição verde, conforme argumentado por Jovanović *et al.* (2022).

A influência de características estruturais das empresas também é abordada por Portillo-Tarragona *et al.* (2019), que, por meio de um modelo logit binomial, identificaram que o registro de patentes verdes está positivamente associado ao tamanho e à idade das empresas, bem como ao seu desempenho financeiro. De forma similar, Wurlod e Noailly (2016), analisando 14 setores industriais em 17 países da OCDE entre 1975 e 2005, verificaram que um aumento de 1% nas atividades de patentes verdes está relacionado a uma redução de 0,03% na intensidade energética, principalmente em setores com elevado consumo de energia.

No entanto, nem todos os estudos encontram uma relação direta entre patentes verdes e desempenho financeiro. Marín-Vinuesa *et al.* (2018), ao investigarem 87 empresas espanholas, não identificaram suporte empírico para essa associação, sugerindo que o efeito positivo da ecoinovação sobre o desempenho pode estar mais relacionado a variáveis estruturais e contextuais da empresa do que à posse de patentes verdes em si. Adicionalmente, Sirin (2024) apresenta uma reflexão crítica: à medida que os investimentos em tecnologia verde aumentam, fatores como a pressão concorrencial ou alterações no sentimento dos investidores podem mitigar o impacto positivo das patentes verdes sobre o retorno das ações em empresas de tecnologia. Isso pode ocorrer devido ao redirecionamento de recursos para o desenvolvimento de tecnologias verdes, em detrimento de outras áreas estratégicas, levando a potenciais desequilíbrios e subinvestimentos.

Em síntese, os estudos empíricos destacam o papel estratégico das atividades de P&D e das patentes verdes como indicadores robustos da intensidade da ecoinovação, com diversas métricas sendo utilizadas, como o número absoluto de patentes, a razão P&D/PIB e o número de pesquisadores por país ou setor (Fabrizi *et al.*, 2018). Patentes verdes, nesse sentido, não apenas funcionam como proxy objetiva da capacidade inovadora ambiental das empresas, mas também como um instrumento para redução do risco ambiental associado às atividades produtivas (Ferreira *et al.*, 2020; Marín-Vinuesa *et al.*, 2018; Jovanović *et al.*, 2022).

Diante do exposto, propõe-se a seguinte hipótese de pesquisa:

H1: O estoque prévio de patentes verdes da empresa contribui para a redução do risco ambiental, mensurado pelo índice Trucost.

Feitas essas considerações acerca das características tecnológicas, na próxima seção destaca-se o papel relevante desempenhado pela empresa no processo de ecoinovação.

3.2 AS CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA NO FOMENTO À INOVAÇÃO AMBIENTAL

Empresas que adotam tecnologias verdes buscam atender às necessidades de seus clientes ao mesmo tempo em que reduzem a pegada de carbono, por meio da mitigação das emissões de GEE e da diminuição dos custos de produção. Nesse contexto, a perspectiva ambiental emerge como um dos pilares da sustentabilidade corporativa, contribuindo não apenas para a preservação ambiental, mas também para o alcance de um desempenho empresarial sustentável, especialmente em setores intensivos em tecnologia verde (Fernando; Wah, 2017). Dessa forma, a atividade produtiva, diante das crescentes demandas sociais e regulatórias, tem se reconfigurado para incorporar práticas inovadoras com menor impacto ambiental. Esse processo de transformação produtiva é impulsionado por um sistema de inovação que integra a tríade composta por Governo, Empresas e Universidades. Dentre esses atores, as empresas têm papel central ao impulsionarem a competitividade, promoverem a geração de empregos e dinamizarem a economia (Sperotto; Tartaruga, 2021).

As motivações para a introdução adoção de inovações ambientais podem ser divididas entre fatores internos e externos. Entre os fatores internos destacam-se: o porte da empresa, o setor de atuação, a cultura organizacional, a existência de políticas ambientais corporativas, o nível de conscientização ambiental e as aspirações gerenciais. Já os fatores externos incluem a política ambiental vigente, o aumento dos custos de insumos e energia, a pressão social por sustentabilidade, o apoio institucional e os relacionamentos com clientes e demais stakeholders (Vujatović *et al.*, 2022). Nesse cenário, a ecoinovação tem sido amplamente reconhecida como um vetor de melhoria do desempenho ambiental e da eficiência produtiva, além de facilitar a transição para modelos de negócios mais sustentáveis. A adoção de inovações ambientais contribui para a redução de custos, aumento da receita e criação de vantagens competitivas, impactando positivamente o desempenho financeiro das empresas (Rabadán *et al.*, 2019).

Estudos internacionais reforçam esses achados. Trigueiro *et al.* (2013), ao analisarem empresas europeias, identificaram três elementos fundamentais para a ecoinovação: capacidade tecnológica interna, pressões do mercado e influência de regulamentações ambientais. De maneira similar, Cuerva *et al.* (2014), em uma pesquisa voltada ao setor de alimentos e bebidas na Espanha, destacaram a adoção de tecnologias como principal fator promotor da ecoinovação nas empresas analisadas.

Ainda nesse campo, Bıçakcıoğlu *et al.* (2023) mostram que empresas ambientalmente orientadas apresentam melhor desempenho competitivo em mercados internacionais. Duque-Grisales *et al.* (2020) acrescentam que a implementação de estratégias ambientais proativas fortalece a presença internacional das empresas, além de se refletir positivamente em seus resultados financeiros. Nessa perspectiva, Brulhart *et al.* (2019) argumentam que uma política ambiental proativa pode servir como alicerce para a lucratividade empresarial.

Além disso, inovações ambientais que promovem eficiência energética e de recursos tendem a ser economicamente mais vantajosas em relação àquelas voltadas apenas para a redução de externalidades negativas, como poluição ou uso de materiais tóxicos. As chamadas inovações onde todos ganham ("*win-win*") geram benefícios simultâneos: reduzem o impacto ambiental e melhoram a performance econômica, conforme apontam diversos estudos (Ghisetti; Rennings, 2014; Doran; Ryan, 2016; Ekins; Zenghelis, 2021; Udeagha; Ngepah, 2023). Em síntese, estudos empíricos reforçam a premissa de que a adoção de práticas deecoinovação pode resultar em ganhos econômicos diretos para as empresas.

3.2.1 O Índice de Risco Ambiental Trucost

A base de dados do índice Trucost reúne informações quantitativas sobre o desempenho ambiental de mais de 15.000 das maiores empresas de capital aberto do mundo, representando 95% da capitalização de mercado global. Cobrindo aproximadamente 500 setores industriais, o banco de dados oferece mais de 100 indicadores-chave de desempenho ambiental (KPIs), abrangendo questões como emissões de carbono e outros poluentes, dependência de recursos hídricos, eficiência no uso de insumos naturais e geração de resíduos (S&P, 2020).

O índice Trucost é composto por perfis ambientais corporativos detalhados, desenvolvidos a partir de quatro etapas metodológicas principais. A primeira etapa identifica as atividades específicas das corporações, atribuindo receitas e custos a cada segmento. Em seguida, elaborase um perfil ambiental que contempla tanto os impactos diretos quanto os relacionados à cadeia de suprimentos. A terceira etapa incorpora informações públicas adicionais, como relatórios anuais e dados divulgados nos sites das empresas, que também são convidadas a validar os perfis construídos. Por fim, é gerado um relatório consolidado com sugestões de melhorias para mitigar os impactos ambientais identificados (S&P, 2020).

Nos casos em que as empresas não divulgam suas emissões anuais de carbono, o índice utiliza estimativas baseadas em um Modelo de Insumo-Produto Ambientalmente Estendido (EEIO).

Esse modelo integra dados setoriais de impacto ambiental e informações macroeconômicas sobre o fluxo de bens e serviços entre setores, possibilitando a estimativa dos impactos tanto nas operações diretas da empresa quanto ao longo de sua cadeia global de fornecimento. A cobertura do modelo abrange cerca de 500 setores industriais e mais de 100 KPIs (S&P, 2020). As intensidades ambientais são expressas em unidades por milhão de dólares em receita, refletindo a quantidade de emissões ou recursos utilizados por unidade de valor econômico gerado. Tais intensidades são calibradas com base em informações específicas de cada país sempre que possível, ajustando os valores globais médios conforme o volume da produção (S&P, 2020).

A métrica central do índice Trucost, a pontuação de impacto ambiental, é uma medida agregada de danos ambientais, expressa em dólares americanos. Essa métrica abrange seis dimensões principais: emissões de gases de efeito estufa, geração de resíduos, captação de água, uso de metais pesados, compostos orgânicos voláteis e consumo de recursos naturais. Os valores são normalizados pelas receitas das empresas, o que permite comparações padronizadas entre firmas de diferentes portes e setores. Assim, uma pontuação mais elevada representa maior dano ambiental (Walls; Berrone, 2017).

Nos últimos anos, o índice Trucost tem sido amplamente adotado em estudos empíricos voltados à análise do risco ambiental corporativo e sua relação com o desempenho financeiro. Baelen (2018), por exemplo, ao analisar uma amostra de 8.581 observações empresa/ano entre 2011 e 2015, identificou que reduções nos danos ambientais totais, medidos pelo Trucost, estão associadas a aumentos significativos no retorno sobre ativos (ROA) e no q de Tobin. Esses resultados indicam que empresas mais eficientes ambientalmente tendem a alcançar melhores indicadores financeiros.

De forma semelhante, Delmas et al. (2015) constataram, com base em dados longitudinais de empresas norte-americanas entre 2004 e 2008, que reduções nas emissões de GEE impactam negativamente o ROA no curto prazo, mas contribuem positivamente para o q de Tobin no longo prazo. Tal achado foi corroborado por Busch *et al.* (2022), que analisaram um extenso painel de 5.663 empresas europeias, confirmando que elevados níveis de emissão de carbono prejudicam significativamente tanto o ROA quanto o q de Tobin. Outros estudos utilizaram o índice Trucost para avaliar impactos na cadeia de suprimentos ou em setores específicos. Sohn *et al.* (2020), ao empregar modelos de efeitos aleatórios em um painel de empresas norte-americanas, identificaram que a pegada de carbono da cadeia de abastecimento está

negativamente associada ao desempenho financeiro. Jo *et al.* (2015), por sua vez, apontaram que a redução dos custos ambientais leva de um a dois anos para produzir efeitos positivos sobre o ROA, destacando a existência de um intervalo de maturação desses impactos.

Manikas e Kroes (2018) reforçam esse argumento ao verificarem, por meio de modelos de painel, que a medida monetária de dano ambiental, derivada do Trucost, se correlaciona negativamente com o ROA em empresas do setor manufatureiro. Já Azar *et al.* (2021), ao investigarem o papel das maiores gestoras de ativos do mundo ("Três Grandes"), mostraram que a participação acionária dessas instituições está associada à redução das emissões corporativas, sugerindo um efeito disciplinador da governança ambiental exercida por investidores institucionais.

A literatura também aponta para relações entre risco ambiental e práticas de gestão e governança corporativa. Lamboglia *et al.* (2018), ao estudarem 72 empresas italianas, verificaram que maiores pontuações no índice Trucost estão positivamente associadas à adoção de Indicadores de Risco Ambiental (ERIs). Já Arouri *et al.* (2021) demonstraram que a competição de mercado limita o greenwashing em empresas com altos custos ambientais, indicando um papel disciplinador do ambiente competitivo. Por fim, Aswani *et al.* (2023) mostraram que, ao controlar pelo tamanho da empresa, há uma associação positiva e estatisticamente significativa entre emissões e retornos das ações, destacando a relevância de variáveis de controle nos modelos analíticos. Diante dessas evidências, observa-se que a literatura especializada tende a utilizar o índice Trucost como variável explicativa ou de controle para analisar o desempenho financeiro, especialmente com foco no ROA e no q de Tobin. Esta abordagem representa, cada vez mais, a vertente dominante da literatura ambiental-financeira.

No entanto, esta Tese propõe um avanço analítico ao posicionar a variável Trucost como variável dependente principal, com o objetivo de examinar seus determinantes a partir de múltiplas características organizacionais e setoriais. Embora existam estudos sobre risco ambiental, muitos se restringem a setores industriais ou geografias específicas e adotam abordagens metodológicas distintas (Albino *et al.*, 2012; Walls; Berrone, 2017; Ahmadova *et al.*, 2021). Ao expandir a análise para uma amostra ampla de empresas de distintos setores e países, esta pesquisa busca oferecer uma contribuição original, mais abrangente e robusta. Tal abordagem permite não apenas explorar fatores determinantes do risco ambiental de forma comparativa, mas também esclarecer padrões comuns e divergentes no nível microeconômico

e setorial. O Quadro 1 resume os principais estudos discutidos, os quais embasam e contextualizam a estratégia analítica adotada. Em suma, a presente abordagem visa identificar com maior precisão os fatores que influenciam o desempenho ambiental empresarial, contribuindo para o debate sobre inovação e sustentabilidade nas práticas corporativas.

3.2.2 A Influência da Dimensão da Empresa no Processo de Eco inovação

Baelen (2018), ao analisar dados de vários países no período de 2011 a 2015, identificou que a inovação voltada para o enfrentamento das mudanças climáticas apresenta impacto positivo e estatisticamente significativo sobre o retorno sobre ativos (ROA) das empresas. Assim, empresas que investem em soluções ambientais podem também obter vantagens financeiras decorrentes dessas práticas (Colombelli *et al.*, 2019). Nesse sentido, Lee e Min (2015), utilizando dados de empresas manufatureiras japonesas (2001–2010), constataram que os investimentos em P&D voltados para tecnologias verdes se correlacionam positivamente com o desempenho financeiro das empresas. Os autores sugerem que empresas que mitigam seus impactos ambientais tendem a ser mais valorizadas, evidenciando que o engajamento em práticas ambientais não apenas cumpre um papel social, mas também constitui uma estratégia de geração de valor econômico.

Ademais, Lin e Shi (2023), em uma ampla análise com dados de 15.000 empresas globais entre 2000 e 2021, demonstram que investimentos em P&D ambiental contribuem significativamente para a redução das emissões corporativas de GEE, sendo esse efeito ampliado em horizontes de tempo mais longos. Tal evidência reforça que, diante das incertezas climáticas, o investimento endógeno em inovação verde torna-se um mecanismo estratégico central para sustentar o crescimento empresarial (Li, 2024; Asgharinajib *et al.*, 2025).

Portanto, as empresas surgem como os principais agentes de implementação da eco inovação, especialmente aquelas atuantes no setor de proteção ambiental, cujas estratégias estão alicerçadas no desenvolvimento de produtos e processos sustentáveis (Li *et al.*, 2023). A capacidade inovadora das empresas torna-se, assim, um recurso estratégico que visa não apenas a diferenciação no mercado, mas também a criação de valor sustentável por meio da melhoria contínua de serviços, processos e tecnologias (Oliveira, 2019).

Por sua vez, essa tendência também é confirmada em contextos empresariais específicos. Um inquérito conduzido com 380 empresas industriais na Bulgária, entre abril de 2019 e dezembro de 2021, evidenciou que, em termos proporcionais, as grandes empresas lideram os

Quadro 1 - Estudos Empíricos Relacionados ao Índice de Risco Ambiental Trucost

Referência	Abrangência geográfica e/ou Setorização	Período	Principais resultados
Delmas <i>et al.</i> (2015)	1.095 empresas dos EUA	2004-2008	Diminuição de emissões tem efeito nulo ou negativo sob o desempenho financeiro no curto prazo, no entanto, esse efeito se reverte no longo prazo com percepções positivas dos investidores sobre o desempenho futuro do mercado.
Jo <i>et al.</i> (2015)	Empresas de 29 países	2002-2011	A redução dos custos ambientais leva pelo menos 1 ou 2 anos antes de ter repercussões no aumento do ROA, ou seja, existe algum lapso de tempo na melhoria desse desempenho da empresa após a redução dos custos ambientais.
Walls e Berrone (2017)	265 empresas dos EUA	2001-2007	O poder informal do especialista ambiental foi associado negativamente com o impacto ambiental e um efeito moderador significativo e negativo do poder de especialista ambiental informal para o ativismo dos acionistas e impacto ambiental.
Baelen (2018)	8.581 empresas em diversos países	2011-2015	Os danos ambientais totais têm um efeito negativo no ROA e q de Tobin. Uma empresa que mitigue os seus danos ambientais se beneficia de um valor financeiro mais elevado e sinaliza sobre o bom desempenho da gestão ambiental da empresa.
Lamboglia <i>et al.</i> (2018)	72 empresas industriais italianas	2015	Verifica-se que quanto maior o nível de dano ambiental, maior o nível de risco ambiental gerado pela empresa.
Manikas e Kroes (2018)	406 empresas de manufatura dos EUA	2002-2013	Os autores constataam, tanto pelo modelo de painel quanto pelo OLS, que o dano ambiental total está negativamente correlacionado com o desempenho financeiro (ROA).
Sohn <i>et al.</i> (2020)	714 empresas em 19 setores industriais dos EUA	2003-2010	Os danos ambientais totais têm um efeito negativo no ROA e q de Tobin. Uma empresa que mitigue os seus danos ambientais se beneficia de um valor financeiro mais elevado e sinaliza sobre o bom desempenho da gestão ambiental da empresa.
Ahmadova <i>et al.</i> (2021)	Empresas europeias de produção de alimentos	2011-2019	As empresas muito grandes refletem um risco ambiental mais elevado do que as pequenas. Quanto ao impacto ambiental dos subsectores, as empresas de sementes oleaginosas enfrentam maiores riscos ambientais, quanto a utilização de água, ar, terra e água.
Arouri <i>et al.</i> (2021)	324 empresas dos EUA	2005-2015	Os gestores de empresas mais poluentes praticam mais greenwashing em indústrias menos competitivas, onde o efeito disciplinar é mais fraco e os incentivos para os gestores procurarem benefícios privados através do greenwashing são provavelmente mais fortes.
Busch <i>et al.</i> (2022)	37.253 empresas na Europa e EUA	2005-2014	Os resultados do modelo de efeitos fixos denotam que, altos níveis em termos de emissões de carbono, deterioram o ROA e o q de Tobin.
Aswani <i>et al.</i> (2023)	2.669 empresas norte-americanas	2005-2019	Controlando pelo tamanho da empresa, o resultado obtido mostra relação positiva e significativa entre emissões e retornos das ações.

Fonte: Elaboração própria.

investimentos em P&D, seguidas pelas médias, pequenas e microempresas. Contudo, os dados também apontam que o ambiente empresarial búlgaro ainda carece de uma cultura organizacional voltada à inovação tecnológica, o que compromete sua capacidade de ecoinnovar com eficiência (Nikolova *et al.*, 2022).

De fato, a literatura recente tem demonstrado que características específicas das empresas, como porte, setor de atuação e estrutura de governança, exercem influência direta na capacidade de adoção de práticas de ecoinovação (Lo-Iacono-Ferreira *et al.*, 2018; Keshminder; Del Río, 2019; Grigorescu *et al.*, 2019; Rabêlo; Melo, 2019; Boutry; Nadel, 2021; Oladinrin; Ojo, 2021). Em particular, fatores internos à empresa, como disponibilidade de recursos, competências técnicas e capacidades dinâmicas têm sido destacados como os principais impulsionadores da performance inovadora ambiental das empresas.

É provável que a empresa tenha maiores capacidades de inovação quando faz parte de um grupo maior porque tem acesso aos recursos e conhecimentos da empresa matriz (Gonthier; Chirita, 2019; Hansen *et al.*, 2020; Ghorbani *et al.*, 2023; Amendolagine *et al.*, 2023). Nessa lógica, multinacionais e empresas maiores são mais visíveis, tanto pela escala de suas operações quanto porque têm mais recursos para implementar práticas sustentáveis. Embora empresas de menor porte frequentemente possuam uma pegada ambiental reduzida e enfrentem menores pressões externas, seu papel no processo de transição ecológica não deve ser subestimado (Tsukanova, 2022). A capacidade de inovação dessas empresas pode ser limitada, mas ainda assim representa um componente relevante no ecossistema de inovação sustentável.

Ghorbani *et al.* (2023) ilustram essas dinâmicas ao compararem duas abordagens organizacionais distintas: a da estatal Beijing Automotive Industries Holding Co. e a da empresa privada Geely. Enquanto a primeira apresenta um foco mais doméstico, a segunda, inserida em uma estrutura multinacional, atua na cadeia global de suprimentos, o que fortalece não apenas sua capacidade de inovação interna, mas também sua atuação e competitividade nos mercados internacionais. Tal comparação evidencia que empresas privadas inseridas em grupos multinacionais são mais bem posicionadas para adquirir e aplicar conhecimento tecnológico avançado com vistas ao aprimoramento inovador.

Um ponto ainda a ser salientado aqui é o debate sobre o papel do tamanho das empresas na inovação rumo à sustentabilidade, uma vez que as grandes empresas são também grandes poluidoras e têm um impacto significativo no ambiente. A dimensão é um indicador tanto dos

impactos negativos no ambiente, como também da sustentabilidade financeira e dos lucros das empresas e da sua abordagem estratégica à gestão da mudança (Triguero *et al.*, 2015; Zhang; Walton, 2017; Aboelmaged, 2018).

Empresas maiores e mais consolidadas também demonstram maior propensão a adotar práticas deecoinovação, sendo mais frequente sua atuação em iniciativas com benefícios ambientais agregados. Além disso, o fato de pertencerem a grupos empresariais amplia significativamente essa probabilidade (Triguero *et al.*, 2017). Com base em uma amostra de cerca de 6.000 empresas inovadoras dos setores de manufatura e serviços na Espanha, os autores identificam uma relação positiva entre o nível de ecoinovação realizado pelas empresas e seu desempenho financeiro. Os resultados, de uma amostra de cerca de 6000 empresas inovadoras de manufatura e serviços espanholas, sugerem que há uma relação positiva entre o nível de ecoinovação realizado pelas empresas e seu desempenho financeiro.

Przychodzen e Przychodzen (2015) evidenciam que empresas com níveis mais elevados de ecoinovação tendem a apresentar maior lucratividade. Complementarmente, Bıçakcıoglu-Peynirci (2023) ressalta a necessidade de considerar variáveis como o tamanho da empresa, o setor industrial, o ambiente regulatório e as condições econômicas locais para compreender a relação entre internacionalização e desempenho financeiro. Tais fatores exercem influência sobre a forma como as empresas gerenciam suas operações internacionais e, consequentemente, sobre seu desempenho econômico global (Carchano *et al.*, 2024).

Nesse contexto, observa-se que a limitação dos recursos financeiros representa um entrave relevante ao processo de ecoinovação (Demirel *et al.*, 2019), em virtude do maior grau de risco inerente a investimentos que incorporam a dimensão ambiental, quando comparados a inovações convencionais (Scarpellini *et al.*, 2016; Ghisetti *et al.*, 2017). Em contrapartida, grandes empresas vêm intensificando seu compromisso com tecnologias limpas, impulsionadas pela busca por novas fontes de receita, pelo aumento da sustentabilidade e pela produção de bens mais ecológicos (Yao *et al.*, 2019). A adoção crescente de materiais recicláveis e de tecnologias ambientais também responde à demanda social por práticas sustentáveis, gerando impactos positivos na percepção da marca e na reputação das empresas voltadas para a ecoinovação (Domaracká *et al.*, 2023; Tereshchenko *et al.*, 2023).

Ademais, estudos indicam que empresas de maior porte apresentam maior probabilidade de aplicar práticas de ecoinovação em comparação às menores (Sáez-Martínez *et al.*, 2016;

Demirel; Danisman, 2019; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2020; Mansour *et al.*, 2024). Essa evidência corrobora a proposição defendida por Kammerer (2009), que atribui às empresas maiores melhores oportunidades e capacidades para mitigar seus impactos ambientais, em razão da maior disponibilidade de capital financeiro e humano, além de sua maior visibilidade institucional. Adicionalmente, Jové-Llopis e Segarra-Blasco (2018), ao analisar dados de painel de 3.201 empresas industriais espanholas entre 2008 e 2014, confirmam que as grandes empresas industriais são mais inclinadas a adotar estratégias orientadas para uma economia ecológica, integrando a sustentabilidade em seus processos inovativos (Costa-Campi *et al.*, 2015; del Río *et al.*, 2016; Song; Yu, 2018).

Nessa perspectiva, Cecere *et al.* (2017) destacam que, enquanto as grandes empresas tendem a investir mais em P&D verde para aprimorar sua eficiência ambiental e contribuir para a sustentabilidade, as pequenas e médias empresas (PMEs) enfrentam maiores dificuldades para alocar seus recursos limitados no desenvolvimento de inovações verdes. No contexto brasileiro, a Pesquisa de Inovação 2015-2017 (Pintec, 2017) revelou evidências relevantes a esse respeito. Entre as empresas cujas inovações apresentaram impacto ambiental, o principal fator motivador da ecoinovação foi a reputação corporativa, seguido da adoção de códigos de boas práticas ambientais e da busca pela redução dos custos de produção (Koeller; Miranda, 2021).

No âmbito europeu, Madaleno *et al.* (2019) investigaram o efeito das ações de ecoeficiência no desempenho de 63.303 empresas de 13 países da União Europeia, considerando indicadores como volume de negócios e crescimento do emprego. Por meio de modelos de mínimos quadrados ordinários e de equações simultâneas, os autores observaram que as ecoinovações podem, por vezes, impactar negativamente esses indicadores, independentemente do porte da empresa. Contudo, tanto o capital humano quanto o número de estratégias de ecoinovação adotadas mostraram influência positiva no desempenho empresarial, sendo esta relação mais sensível à dimensão da empresa.

Além disso, Portillo-Tarragone *et al.* (2019), a partir da análise de dados de patentes verdes em empresas de três regiões da Espanha, identificaram que variáveis como idade, tamanho e desempenho financeiro são determinantes significativos para a ecoinovação. A adoção de práticas ecoinovadoras também variou conforme o estatuto jurídico das empresas, a classificação da atividade econômica e a região autônoma de atuação.

No que tange aos aspectos financeiros, os *drivers* econômicos têm sido importantes instrumentos para fomentar a inovação nas empresas (Silva *et al.*, 2017; Choi *et al.*, 2016). O desenvolvimento inovador requer a disponibilidade de recursos financeiros adequados, motivo pelo qual diversas instituições, em níveis local, nacional e internacional, oferecem linhas de financiamento específicas para inovações e ecoinovações, incentivando a incorporação de objetivos ambientais nas estratégias empresariais (Doran; Ryan, 2016; Arranz *et al.*, 2019).

Com base nas discussões desta seção, formula-se a seguinte hipótese:

H2: O desempenho financeiro da empresa exerce influência significativa na diminuição do seu respectivo índice Trucost.

Além disso, considerando os argumentos desenvolvidos nesta seção e na seção 3.1, formula-se também a hipótese seguinte:

H3: O tamanho da empresa modera a relação entre o estoque de patentes verdes e o índice Trucost, potencializando a redução do risco ambiental.

Ainda considerando as características relacionadas à empresa, a próxima seção descreve como o processo de internacionalização pode interferir na magnitude do índice de risco ambiental gerado pela empresa.

3.3 O PAPEL DA INTERNACIONALIZAÇÃO DA EMPRESA NA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO AMBIENTAL

O crescimento econômico global pode ser estimulado por transferências internacionais de conhecimento (Romer, 1990). As empresas multinacionais e suas subsidiárias figuram como os principais canais para esses fluxos de conhecimento (Demeter; Losonci, 2019; Gaur *et al.*, 2019; Faems *et al.*, 2020). De fato, as multinacionais tendem a ampliar o bem-estar global ao funcionarem como um mecanismo pelo qual o país anfitrião obtém acesso a recursos relativamente abundantes no país de origem, conforme argumentado inicialmente por Rodríguez-Clare (1996).

A internacionalização das atividades de inovação não é um fenômeno recente. Desde a década de 1960, as empresas vêm realizando P&D fora de seus países de origem, motivadas por diferentes razões. Cantwell e Iammarino (2000) já evidenciava que, mesmo na década de 1930, as maiores empresas europeias e americanas realizavam cerca de sete por cento de sua P&D

total em locais estrangeiros, embora a escala e o alcance dessas atividades fossem limitados naquela época.

De acordo com Bell (1990), a tecnologia pode ser transferida por meio de três tipos de fluxos de tecnologia transferível entre fornecedores de tecnologia e importadores de tecnologia. O primeiro fluxo refere-se a bens de capital, projetos de equipamentos e outros artefatos tangíveis que incorporam conhecimento aplicado a processos e produtos. O segundo fluxo compreende as habilidades e o know-how necessários para a operação e manutenção desses sistemas, constituindo um capital humano intangível e conhecimento operacional. Por fim, o terceiro fluxo corresponde ao conhecimento e à experiência relacionados à mudança tecnológica, incluindo não apenas capital humano, mas também ativos organizacionais, que permitem adaptações e inovações mais profundas.

Esses fluxos tecnológicos podem ser viabilizados via Investimento Estrangeiro Direto (IED), pelo qual uma empresa multinacional estabelece uma subsidiária em um país anfitrião, utilizando tecnologia avançada nesse contexto local (Salim *et al.*, 2017; Meyer *et al.*, 2020; Pandey *et al.*, 2021). Os beneficiários da transferência de tecnologia via IED podem variar: enquanto a multinacional pode obter ganhos diretos em produtividade e lucro, as empresas locais também podem absorver conhecimento tecnológico por meio da mobilidade de trabalhadores que deixam as subsidiárias para atuar em empresas nacionais. Esse fenômeno, conhecido como transbordamento tecnológico (*spillover*), contribui para o aprimoramento da base tecnológica dos países em desenvolvimento (Popp, 2011). Ademais, subsidiárias de multinacionais apresentam maior acesso a conhecimentos internacionais em comparação com empresas exclusivamente nacionais (Faria; Sofka, 2010), o que reforça o papel da internacionalização na difusão e na ampliação da inovação ambiental.

De forma conceitual, o IED consiste na criação de vínculos duradouros e controle parcial ou total de uma empresa em um país anfitrião por parte de uma organização ou investidor estrangeiro (Sachs *et al.*, 2022). Esse mecanismo é relevante não apenas para fomentar o crescimento econômico, mas também como instrumento de transição para uma economia de baixo carbono, ao possibilitar o financiamento de projetos inovadores em energias renováveis, tecnologias limpas e práticas produtivas sustentáveis (Amendolagine *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2023).

O IED tem desempenhado um papel central na difusão internacional de tecnologias voltadas para a sustentabilidade. Ele configura-se como um importante mecanismo de compartilhamento de conhecimento e inovação, sobretudo em setores de energia, onde os fluxos de capital têm se direcionado para países com mercados domésticos relativamente desenvolvidos. Entre 2003 e 2018, Índia, Brasil, México, África do Sul e China destacaram-se como os maiores receptores globais de IED em energias renováveis (Pandey *et al.*, 2021). A esse respeito, estudos indicam que o acesso ao conhecimento externo, viabilizado pelo IED, aumenta a eficácia informacional e tecnológica dos países em desenvolvimento, sendo um vetor estratégico para impulsionar a ecoinovação (Sanni, 2018).

A literatura corrobora que a internacionalização das empresas, ao ampliar sua inserção em redes globais de produção e conhecimento, tem um impacto significativo e positivo na propensão à ecoinovação. Empresas mais internacionalizadas demonstram maior probabilidade de adotar práticas sustentáveis, sendo que a combinação entre internacionalização e ecoinovação reflete positivamente no desempenho financeiro das organizações, ainda que a internacionalização, isoladamente, não garanta esse retorno (Carchano *et al.*, 2024).

A compreensão do IED como mecanismo de transferência tecnológica é amplamente discutida por Pan *et al.* (2020), que evidenciam sua influência positiva sobre a produtividade de carbono em províncias chinesas. Apesar disso, Zhou *et al.* (2019) observam que os efeitos de transbordamentos tecnológicos sobre a produtividade total de fatores verdes são limitados. Por sua vez, Guo *et al.* (2020) reforçam que a transferência sustentável de tecnologia deve ser elemento central nas estratégias de alcance das metas de desenvolvimento sustentável, tanto em escala global quanto local, sendo essencial para mitigar os impactos negativos do modelo econômico tradicional (Fernandes *et al.*, 2021).

Os fluxos de IED exercem impacto significativo sobre o consumo energético, tornando-se elemento central no processo de transição energética. Isso ocorre tanto por sua capacidade de atender à crescente demanda global por energia quanto por promover uma substituição estrutural de fontes fósseis por alternativas renováveis e nucleares, com o benefício adicional de redução nas emissões de CO₂ (Azam, 2024). No entanto, é preciso considerar estratégias empresariais que, muitas vezes, envolvem a realocação de riscos ambientais. Bose *et al.* (2021) demonstram que empresas com elevado risco de emissão, especialmente em países desenvolvidos, tendem a buscar aquisições em mercados com padrões regulatórios ambientais mais brandos, como forma de reduzir sua exposição ao risco de carbono.

Este padrão evidencia um dilema frequente em países em desenvolvimento, que, apesar de apresentarem menor rigor regulatório ambiental, buscam atrair IED voltado a tecnologias verdes como meio de promover ganhos econômicos e garantir sustentabilidade ambiental. Brohil e Suzuki (2023) argumentam que as tecnologias de produção empregadas por corporações multinacionais são geralmente mais seguras e ambientalmente adequadas do que aquelas disponíveis domesticamente nos países emergentes. Nesse contexto, a inovação verde torna-se uma estratégia fundamental para esses países enfrentarem os desafios ambientais contemporâneos.

Estudo recente focado em economias recém-industrializadas confirma que o IED representa o principal motor da transição energética tanto no curto quanto no longo prazo. O aumento desses fluxos eleva os investimentos no mercado doméstico e promove a adoção de tecnologias energeticamente mais eficientes, contribuindo diretamente para a ampliação do uso de energia limpa (Azam, 2024).

3.3.1 O Papel do Investimento Estrangeiro Direto (IED) na Expansão da Inovação Ambiental

O Investimento Estrangeiro Direto (IED) tem se mostrado um vetor estratégico relevante para o avanço da economia verde, particularmente em países emergentes, onde o acesso a conhecimento e tecnologias avançadas é um diferencial competitivo. Estudo conduzido por Xiao *et al.* (2023) revelou que, entre 2004 e 2019, o IED exerceu influência significativa sobre a expansão da economia verde em 30 províncias e cidades chinesas, promovendo melhorias na qualidade ambiental e no crescimento econômico, ao mesmo tempo em que reduziu as emissões de CO₂. De forma semelhante, Yue *et al.* (2016), ao analisarem uma amostra de 104 cidades chinesas, identificaram que o IED contribuiu para o desenvolvimento urbano verde ao proporcionar vantagens tanto ambientais quanto econômicas.

Dentro desse contexto, destaca-se o papel das fusões e aquisições como forma específica de IED voltada à transição verde. Cui *et al.* (2022), em um estudo abrangente sobre empresas chinesas entre 2005 e 2020, demonstraram que firmas altamente emissoras de carbono adotam fusões e aquisições como estratégia de descarbonização. O efeito positivo dessa abordagem foi mais pronunciado em províncias com arcabouço legal ambiental mais rigoroso, especialmente na presença de tribunais ambientais. O estudo aponta que um aumento de um desvio padrão nas emissões da empresa adquirente eleva de 81% a 96% a probabilidade de aquisição de ativos verdes. Tais achados são reforçados por Li *et al.* (2020), que evidenciam o uso estratégico das

aquisições como forma de absorver tecnologias e recursos ambientais externos voltados à redução de emissões e da poluição.

Nota-se que o IED tende a induzir fluxos de conhecimento mais intensos do que o comércio internacional de bens, dado que as multinacionais frequentemente transferem tecnologias específicas da matriz para suas afiliadas no exterior. Nesse sentido, empresas de países emergentes têm importado tecnologias para atender à crescente demanda internacional por produtos sustentáveis, impulsionada por políticas ambientais mais rigorosas nos países desenvolvidos. Um exemplo emblemático reside nas empresas chinesas do setor fotovoltaico, que inicialmente adquiriram tecnologias no exterior para, em seguida, exportar painéis solares e células fotovoltaicas a mercados como Alemanha, Espanha e Estados Unidos, beneficiando-se de tarifas e metas de portfólio renovável que fomentaram o crescimento da energia solar nesses países (Glachant; Dechezleprêtre, 2017).

Desse modo, a lógica aponta para um movimento em que empresas multinacionais optam por estabelecer centros de P&D em regiões estratégicas, buscando se beneficiar de transbordamentos de tecnologia (*spillovers*) locais. Instalar unidades de pesquisa em polos globais de excelência tecnológica permite não apenas a internalização de conhecimento crítico, mas também o fortalecimento de suas competências em inovação (Holmes Jr *et al.*, 2015; Rojec; Knell, 2018; Du *et al.*, 2022). De fato, evidências sugerem que a realização de P&D própria, em vez de outras formas de aprendizado, como licenciamento, contratação de profissionais concorrentes ou engenharia reversa, é o meio mais eficaz para captar conhecimento sobre produtos e processos avançados.

O objetivo da empresa ao internacionalizar suas atividades de P&D pode envolver tanto o aprimoramento de suas capacidades tecnológicas internas quanto a busca por conhecimento complementar à sua base doméstica. Conforme argumentam Noailly e Ryfisch (2015), essa estratégia visa ampliar o repertório tecnológico da empresa, ajustando-se às exigências do mercado global e à crescente demanda por práticas sustentáveis. Contudo, a estrutura de propriedade das empresas parece influenciar essas decisões. Kwon e Park (2018), ao investigarem empresas japonesas, constataram que subsidiárias de empresas estrangeiras, especialmente aquelas cuja matriz não pertence ao G7, são mais propensas a engajar-se em atividades de P&D do que empresas independentes ou controladas por empresas do G7. Adicionalmente, Athukorala e Kohpaiboon (2010) demonstram que a intensidade de P&D da operação de afiliadas de empresas multinacionais dos EUA é determinada principalmente pelo

tamanho do mercado doméstico, capacidade geral de P&D e custo de contratação de pessoal de P&D. Esses resultados ratificam que o ambiente institucional e econômico local é determinante para a efetividade da transferência de tecnologia, condicionando o potencial do IED em contribuir para a inovação ambiental e para os objetivos de desenvolvimento sustentável.

3.3.2 A Internacionalização como Vetor de Eco inovação e Desempenho Empresarial

A orientação da produção para o mercado doméstico é considerada um determinante positivo significativo de P&D apenas em países de baixa renda, presumivelmente refletindo a necessidade de adaptação do produto para atender às condições especiais de demanda associadas aos baixos níveis de renda e ao menor grau de integração global desses países (Athukorala; Kohpaiboon, 2010). Entretanto, o potencial de inovação das empresas nesses contextos está intrinsecamente associado à presença de capital estrangeiro e à inserção setorial das firmas. Evidências apontam que empresas com maior participação de capital estrangeiro exibem maior potencial inovador, especialmente aquelas parcialmente detidas por investidores internacionais, em comparação com empresas integralmente nacionais (Abdurazzakov *et al.*, 2021).

Dados consolidados reforçam que a capacidade de inovação no setor privado global está altamente concentrada. As 2500 maiores empresas de P&D do mundo foram responsáveis por mais de 90% dos investimentos empresariais globais em P&D em 2015, sinalizando o papel estratégico dessas corporações na criação e difusão de conhecimento e tecnologia (Guevara *et al.*, 2015). A integração dessas empresas na economia mais ampla é, portanto, um fator chave para a promoção de *spillovers* tecnológicos, como a mobilidade de profissionais especializados entre organizações (Holm *et al.*, 2020).

Nesse cenário, a internacionalização também passa a ser reconhecida por ser o novo *driver* da eco inovação, dando um impulso às empresas para aprender e executar avanços tecnológicos, havendo um interesse crescente em todo o mundo por habilidades técnicas, bens e procedimentos de desenvolvimento sustentável ecologicamente sustentáveis (Galbreath, 2019; Juniati *et al.*, 2019; Tsukanova, 2022). As empresas multinacionais, além de serem importantes geradoras de tecnologias ambientais, desempenham um papel fundamental na difusão dessas inovações tanto em seus países de origem quanto nos países anfitriões (Noailly; Ryfisch, 2015; Contreras *et al.*, 2018; Ebrahim, 2020; Marino; Quatraro, 2023).

A ecoinovação, por sua vez, é reconhecida como fator estratégico para alcançar sustentabilidade empresarial, construir vantagens competitivas e gerar lucros sustentáveis (Liu *et al.*, 2015; Adomako *et al.*, 2017; Sellitto *et al.*, 2020). Essa associação se intensifica no contexto internacional, onde empresas expostas a mercados globais e dotadas de maior acesso a conhecimento técnico e informação qualificada são mais propensas a desenvolver soluções ambientais inovadoras (Gómez-Bolaños *et al.*, 2022; Barbosa *et al.*, 2022; Carchano *et al.*, 2024). Estudos empíricos reforçam essa relação, evidenciando que níveis mais elevados de internacionalização estão correlacionados com maior intensidade na adoção de ecoinovações (Maçaneiro *et al.*, 2019; Jové-Llopis; Segarra-Blasco, 2020; Kurniadi; Mohamed, 2021). Nesse processo, o IED desempenha um papel-chave ao estimular a criação de vínculos transnacionais e fomentar spillovers tecnológicos voltados à eficiência ambiental, contribuindo para o desenvolvimento coordenado dos sistemas regionais de inovação verde (Liu *et al.*, 2016; Demena; Murshed, 2018; Long *et al.*, 2020; Zamani; Tayebi, 2022).

A literatura também destaca a importância da exposição à concorrência internacional e às exportações como catalisadores da ecoinovação. Torrecillas e Fernández (2022) apontam que o conhecimento adquirido em mercados externos tem impacto positivo sobre a adoção de inovações ambientais. García-Quevedo *et al.* (2020) sustentam que setores com maior exposição à concorrência global tendem a implementar mais frequentemente práticas sustentáveis. No entanto, estudos como os de Chiarvesio *et al.* (2015), Cainelli *et al.* (2012), Triguero e Córcoles (2013) e Borsatto e Amui (2019) apresentam resultados divergentes, ao indicarem que a internacionalização por meio de exportações, isoladamente, não promove necessariamente o desenvolvimento de ecoinovações.

Apesar das divergências empíricas, o consenso sobre o papel estruturante do IED permanece robusto. O investimento externo permite que empresas locais tenham acesso a novos conhecimentos e recursos, ao mesmo tempo em que são expostas a pressões institucionais mais intensas por sustentabilidade, o que pode se reverter em ganhos reputacionais (Chen, 2016; Wehnert *et al.*, 2018; Rabêlo; Melo, 2019; Grigorescu *et al.*, 2019).

Do ponto de vista financeiro, a internacionalização também apresenta efeitos positivos sobre o desempenho das empresas. A revisão sistemática conduzida por Bıçakcıoğlu-Peynirci (2023) mostra que a expansão internacional está associada a ganhos de eficiência, diversificação de receitas e aumento da lucratividade. Estudos complementares, como os de Wang *et al.* (2020), reforçam essa associação positiva, sobretudo em contextos de economias emergentes como a

China. Além disso, a relação entre internacionalização, ecoinovação e desempenho financeiro tem se mostrado significativa. Marco-Lajara *et al.* (2023), sugerem que a experiência internacional favorece o desenvolvimento de ecoinovações que impactam positivamente o desempenho corporativo. Essa mesma lógica é corroborada por Juniati *et al.* (2019), Boermans e Roelfsema (2016) e Bagheri *et al.* (2019), que apontam para um efeito mediador da inovação na relação entre internacionalização e desempenho organizacional.

Por fim, diante do que foi discutido, evidencia-se que empresas com vínculos externos — incluindo acesso ao IED, tendem a estar mais orientadas tanto para práticas inovadoras quanto para objetivos sustentáveis (Grigorescu *et al.*, 2019; Rabêlo; Melo, 2019; Kraus *et al.*, 2020; Almeida; Wasim, 2022). O IED, além de representar uma fonte de capital, atua como catalisador de incentivos e oportunidades para a adoção de tecnologias verdes, contribuindo significativamente para o fortalecimento da consciência ambiental e para o avanço da ecoinovação (Luo *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2023). Nesse contexto, torna-se plausível admitir que o IED pode contribuir para a redução das emissões de CO₂ por meio da inovação ambiental, promovendo simultaneamente o crescimento econômico e a mitigação das mudanças climáticas (Caetano *et al.*, 2022). Ainda que a extensão precisa do impacto do IED sobre a proteção ambiental e a inovação verde permaneça uma questão em aberto (Wang *et al.*, 2020), os elementos apresentados oferecem suporte à formulação da seguinte hipótese de pesquisa:

H4: A internacionalização da empresa, por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, está associada a maior desempenho ecoinovador e a menores pontuações no índice Trucost.

Com isso, conclui-se que o processo de internacionalização pode atuar como um vetor estratégico para o desenvolvimento de ecoinovações, contribuindo para a redução dos riscos ambientais associados às operações empresariais. Em síntese, esta seção buscou evidenciar os determinantes externos que podem impulsionar as práticas de inovação ambiental nas empresas, favorecendo, assim, a mitigação dos impactos ecológicos decorrentes de suas atividades produtivas. A seguir, apresenta-se o detalhamento das bases de dados a serem utilizadas, *PATSTAT* e *Orbis*, juntamente com os procedimentos metodológicos que nortearão a análise empírica desta Tese.

4 METODOLOGIA

A partir do levantamento teórico e empírico apresentado nas seções anteriores, este capítulo tem por objetivo investigar com maior profundidade as características estruturais das economias incluídas na amostra. Ademais, busca-se examinar os determinantes que impulsionam o desenvolvimento tecnológico ambiental entre empresas localizadas em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Pretende-se, nesse contexto, analisar a relação entre empresas e seus respectivos setores de atuação, observando sua influência no processo de ecoinovação. A investigação se concentra no comportamento e nos efeitos observados no período de 2016 a 2018, com base nos esforços empreendidos por empresas globais.

A análise será conduzida em duas etapas. A primeira consiste numa análise exploratória multidimensional, considerando um conjunto de 52 países — membros e parceiros da União Europeia, *OECD* e G20, com base em variáveis correlatas de natureza ambiental, setorial, econômica e tecnológica. Na segunda etapa, realiza-se a estimação de modelos econométricos em nível empresarial, com o intuito de revelar como as principais características das firmas estão relacionadas a determinantes ambientais e tecnológicos, conforme indicado na literatura, por meio de um painel desbalanceado de empresas de diversos setores produtivos, oriundas de aproximadamente 200 países.

4.1 BASE DE DADOS

Os indicadores utilizados na análise multivariada foram obtidos a partir da base de dados disponibilizada pelo Banco Mundial (2024). As informações referem-se a 52 países⁵ nos anos de 2016, 2017 e 2018. As variáveis utilizadas na análise econométrica, por sua vez, advêm de duas bases de dados principais: a *PATSTAT* e a *Orbis*.

Vale ressaltar que os dados sobre as patentes ambientais a serem utilizados consistem em um universo de diversas empresas ao redor do mundo, com patenteamento ambiental, depositado no Escritório de Patentes Europeu (*EPO*). A *PATSTAT* é o maior banco de dados internacional de patentes disponível para a comunidade de pesquisa, com quase 70 milhões de documentos de patentes incluídos (Glachant; Dechezleprêtre, 2017). Os documentos de patentes são categorizados utilizando-se do sistema de Classificação Internacional de Patentes (*IPC*), estando as tecnologias verdes em questão de acordo com a classificação do *IPC Green*

⁵ Esse número total de países ocorre pela disponibilidade dos dados acerca das variáveis consideradas no emprego das técnicas de análise multivariada

Inventory da *World Intellectual Property Organization (WIPO)*. A classificação de acordo com a *IPC Green Inventory* é realizada neste trabalho assim como em Ayari *et al.* (2009) e Lazkano *et al.* (2016), no entanto, considerando a versão mais recente disponível dessa classificação, reportada no Quadro A.1 no Apêndice.

A classificação *IPC Green Inventory* foi desenvolvida por especialistas da Comissão *IPC* com o objetivo de facilitar as buscas por informações de patentes relacionadas a tecnologias ambientais, apresentadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) (Constantini *et al.*, 2013). Uma das grandes vantagens da utilização das patentes depositados no *EPO*, utilizando a classificação do *IPC Green Inventory* refere-se às múltiplas possibilidades de análise dos resultados. Além disso, a construção da base de dados por grupos distintos de tecnologias permitirá analisar tecnologias específicas e distingui-las em relação ao seu uso por empresas de diferentes setores países desenvolvidos e em desenvolvimento e de (Johnstone *et al.*, 2008; Montenegro *et al.*, 2022).

O conjunto de dados *Orbis*, no que lhe diz respeito, fornece informações sobre códigos financeiros, de propriedade, de forma jurídica e de patentes para médias e grandes empresas e sociedades de responsabilidade limitada com balanços internacionais, para todos os setores de atividade (Auci *et al.*, 2021). Com base na respectiva fonte de dados, é possível avaliar as variáveis referentes à P&D, ao faturamento, ao lucro e ao número de empregados das empresas. Entre os dados disponíveis, verifica-se também a questão de internacionalização, ao considerar a presença de subsidiárias e destacar o país-sede onde se encontra a empresa matriz. Logo, a principal vantagem de utilizar o conjunto de dados *Orbis-PATSTAT* relaciona-se com a disponibilidade de um identificador único de empresa, que permite a correspondência entre patentes a nível de empresa e dados de balanço contidos no arquivo *Orbis Europe do Bureau van Dijk* (Aiello *et al.*, 2021).

Com base na descrição das variáveis do modelo, destaca-se a variável dependente do modelo, descrita como $\text{Trucost}_{i,j,t}$. O índice *Trucost* combina um rigoroso processo de pesquisa com sua modelagem econômica proprietária para responder à crescente demanda por maior transparência sobre o desempenho ambiental corporativo, maior consistência nos relatórios ambientais corporativos e relatórios ambientais corporativos padronizados, facilitando aos participantes do mercado a comparação dos passivos de diferentes empresas (S&P, 2020). Os impactos ambientais atribuíveis a um negócio são calculados usando intensidades ambientais expressas como poluente ou utilização de recursos por unidade de receita. Estes são calculados

através da obtenção de dados sobre emissões ou recursos por setor e da utilização destes dados em conjunto com dados financeiros para criar intensidades ambientais. As intensidades são aplicadas às informações financeiras fornecidas pelo *Bureau of Economic Analysis* dos Estados Unidos para permitir o cálculo dos impactos ambientais da cadeia de abastecimento de uma empresa (S&P, 2020).

As intensidades ambientais são calculadas em termos de toneladas métricas ou metros cúbicos por unidade de receita. Essas intensidades denominam uma quantidade de impacto ambiental, como emissões de gases com efeito de estufa ou água, com outro ponto de dados: um fator de normalização. As métricas de intensidade padrão Trucost denominam os impactos ambientais pelas receitas anuais consolidadas de uma empresa em milhões de dólares americanos, por exemplo, a intensidade de carbono estaria nas unidades: tCO₂e/US\$ milhões de receitas. As intensidades ambientais são úteis na comparação de empresas dentro e entre diferentes setores. Essas métricas podem controlar diferentes características da empresa, como o tamanho, possibilitando avaliar a eficiência ambiental de uma empresa (S&P, 2020).

Esses dados são utilizados por uma ampla gama de organismos supranacionais, internacionais, nacionais e industriais em uma ampla variedade de setores e geografias. Os impactos são calculados em seis categorias diferente, mas correlatas, a saber: Emissões de gases de efeito estufa, Poluentes atmosféricos, Poluentes da terra e da água, Produção de resíduos, Consumo de água e Uso de recursos naturais. O valor do índice geral Trucost consiste na soma dos valores obtidos nessas seis categorias mencionadas⁶.

No que diz respeito às demais variáveis do modelo, a variável $TecnologiaVerde_{i,t-1}$, assume duas variantes no modelo. Primeiro, considera-se o número de patentes depositadas pela empresa i no anos $t-1$ e $t-2$ na *EPO*, que contenham pelo menos um código *IPC* relacionado à tecnologia verde, como os descritos no Quadro A.1, com base nos códigos *IPC Green Inventory* da *WIPO*.⁷ A relevância da questão do patenteamento envolve o fato de que, por exemplo, as patentes energéticas com tecnologias isentas de carbono podem contribuir para a redução das emissões de CO₂ corporativas. (Wang *et al.*, 2012). Num segundo momento, a variante assume como $IntVerde_{i,t-n}$ e é definida como $IntVerde_{it} = \frac{PatentesVerdes_{it}}{Patentes_{it}}$. O uso dessa variável permite verificar o quanto do esforço tecnológico da empresa é dedicado às inovações

⁶ Ver Quadro A.2 no Apêndice para descrição dos índices das intensidades ambientais

⁷ *World Intellectual Property Organization*, em português, Organização Mundial de Propriedade Intelectual

ambientais. Quanto mais a empresa se dedica a esse tipo de inovação, menor tende a ser a tendência do impacto ambiental gerado pelas suas atividades produtivas (Hojnik; Ruzzier, 2016).

A variável $\text{Lucro}_{i,t-n}$ denota o lucro contábil da empresa i nos anos $t-1$ e $t-2$. Existe uma relação positiva entre a prevenção da poluição e o desempenho financeiro, bem como uma trajetória crescente de lucro permite um investimento maior em ações que atenuem o impacto ambiental gerado pelas atividades produtivas (Jansson, 2022). Essa relação de causalidade reversa observada, atribui, assim um caráter endógeno à variável de Lucro em relação ao índice Trucost.

A variável $\text{Tamanho}_{i,t-1}$ representa o número de empregados empresa i no ano t . O uso dessa variável permite verificar se o tamanho da empresa interfere no seu comportamento ecoinovador, visando a redução do impacto ambiental causado pelas suas respectivas atividades. Logo, o tamanho da empresa teria um efeito positivo no seu desempenho ambiental (Dong *et al.*, 2014).

A variável $\text{Qualidade}_{i,t-1}$ é definida como $Q_{it-1} = \frac{\text{CitaçõesVerdes}_{it-1}}{\text{PatentesVerdes}_{it-1}}$. Utiliza-se o número de citações, por esta refletir a importância tecnológica de uma patente. 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 (Ponchek, 2015). Quanto maior o número de citações recebidas por uma patente, maior a qualidade e, com isso, maior a relevância do conhecimento ali realizado. Com isso, a qualidade do conhecimento gerado pela empresa, via patentes, permitiria efeitos positivos na sustentabilidade empresarial.

A variável *dummy* Internacionalização $_{i,t}$ almeja verificar se a presença de filiais da empresa no exterior interfere nas decisões da empresa matriz sobre o papel da sustentabilidade nas suas respectivas atividades. A inserção internacional de uma determinada empresa tende a gerar repercussões positivas no desempenho ambiental, mitigando o impacto gerado pelas atividades produtivas (Brohil; Suzuki, 2023).

Por fim, controla-se as diferenças entre os setores, visto que eles diferem significativamente em termos do grau de ecoinovação (Del Río *et al.*, 2016), incluindo um total de 20 *dummies*

setoriais⁸ no modelo. E também, devido à heterogeneidade da base e a fim de captar efeitos invariantes no tempo, serão incluídas *dummies* de tempo.

Cabe ainda ressaltar que as defasagens das variáveis em $t-1$ e $t-2$, no caso de Tecnologia Verde, mostram-se necessárias, pois visa captar características que levam um certo tempo de aprendizado e maturação para produzirem seus efeitos plenos. Ademais, no caso da variável Lucro, as defasagens vão até $t-2$ pois os lucros de períodos anteriores e o planejamento da utilização desse lucro podem interferir em como a empresa pode tornar sua produção mais sustentável/menos poluente.

Em resumo, as variáveis selecionadas refletem diretamente os elementos teóricos presentes na Tese. A variável Trucost representa o impacto ambiental das atividades produtivas. As variáveis TecnologiaVerde e IntVerde capturam o esforço de inovação ambiental, aspecto central da investigação. As demais variáveis (Lucro, Tamanho, Qualidade, Internacionalização) representam dimensões organizacionais internas que, segundo a literatura, podem atuar como *drivers* ou barreiras à sustentabilidade ambiental. A inclusão de *dummies* setoriais e temporais permite controlar a heterogeneidade estrutural entre setores e efeitos comuns a todos os anos.

4.2 ANÁLISE MULTIVARIADA

Com o objetivo de caracterizar o conjunto de dados relativos aos países da amostra, realiza-se inicialmente uma análise exploratória a partir de duas técnicas multivariadas: Análise Fatorial (AF) e Análise de Agrupamento (AA), também conhecida como análise de *Clusters*.⁹

A Análise Fatorial busca descrever as relações de covariância entre diversas variáveis por meio de um número reduzido de fatores latentes, não observáveis diretamente (Johnson; Wichern, 2002). Parte-se da suposição de que um conjunto de variáveis pode ser agrupado em função de suas correlações internas, ou seja, variáveis fortemente correlacionadas entre si tendem a pertencer ao mesmo fator, com correlações mais fracas em relação às demais. Cada fator representa, assim, um constructo subjacente responsável pelas correlações observadas.

Segundo Johnson e Wichern (2002), o vetor aleatório observável $\mathbf{X}$, com p componentes, tem média $\boldsymbol{\mu}$ e matriz de covariância $\boldsymbol{\Sigma}$. O modelo fatorial postula que $\mathbf{X}$ é linearmente dependente de algumas variáveis aleatórias não observáveis $F_1, F_2, \dots, F_m$, chamadas fatores comuns, e

⁸ Agrupamento das empresas por setores NACE

⁹ Essa seção é desenvolvida com base em Johnson e Wichern (2002) e Mingotti (2007)

p fontes adicionais de variação $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$, chamadas erros ou, às vezes, fatores específicos. Em particular, o modelo de análise fatorial pode ser descrito por:

$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ X_p - \mu_p &= l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pm}F_m + \varepsilon_p \end{aligned}$$

O coeficiente l_{ij} é chamado de carregamento da i -ésima variável no j -ésimo fator, então a matriz $\mathbf{L}$ é a matriz de carregamentos fatoriais. Nota-se que o i -ésimo fator específico ε_i está associado somente à i -ésima resposta X_i . Dessa forma, a estimação pode ser realizada de três formas principais: o método de componentes principais (MCP), o método de fatores principais (MFP) e o método de máxima verossimilhança (MMV). Normalmente, há preferência pelo primeiro, devido a não exigência de suposição de distribuição normal das variáveis (Johnson; Wichern, 2002).

Pretende-se, com essa técnica, reduzir a redundância entre as variáveis por meio da extração de fatores latentes que sintetizem três dimensões principais: Meio Ambiente, Econômico-Setorial e Científico-Tecnológica. Tais fatores permitirão identificar como as condições estruturais dos países se relacionam com o desempenho ambiental e a mitigação dos impactos ecológicos de suas atividades produtivas. A adequação da aplicação da análise fatorial será verificada por meio do índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do teste de esfericidade de Bartlett. O primeiro avalia a qualidade da correlação entre as variáveis, enquanto o segundo testa a hipótese nula de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, condição na qual a análise fatorial não seria apropriada (Rastogi *et al.*, 2017).

Logo, os resultados apresentados na análise fatorial, com base na verificação dos respectivos testes, permitirão investigar como os países selecionados da amostra podem melhorar, ou pelo menos atenuar, o risco ambiental das suas atividades produtivas. Tal fato será possível mediante aos fatores obtidos no emprego da técnica e, com base na variância compartilhada por cada fator, surgirão os indícios do nível de importância de cada um deles e suas respectivas contribuições no processo de mitigação do impacto ambiental.

Quanto à Análise de Clusters, o objetivo é identificar grupos de países com características semelhantes nos eixos ambiental, econômico, setorial e científico-tecnológico. Essa técnica

permite sintetizar informações complexas e indicar padrões de semelhança entre observações, mesmo quando a estrutura de agrupamento é desconhecida *a priori*.

De acordo com Mingoti (2007), a técnica baseia-se na análise da dissimilaridade entre vetores de medidas multivariadas. A distância euclidiana é comumente adotada como medida de similaridade, sendo calculada da seguinte forma: $\mathbf{X}'_j = [X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp}]$ composto por p variáveis para cada elemento j das n observações da amostra. Para que se possa proceder ao agrupamento de elementos, é necessário que se decida *a priori* a medida de similaridade ou dissimilaridade que será utilizada. Existem várias medidas diferentes e cada uma delas produz um determinado tipo de agrupamento. O critério de agrupamento dos países configura-se com base na sua proximidade, indicada geralmente por distâncias euclidianas, como a seguir:

$$d(X_l, X_k) = \sqrt{[(X_l - X_k)'(X_l - X_k)]} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (X_{il} - X_{ik})^2} \quad (1)$$

na qual dois elementos X_l e X_k são comparados em cada variável pertencente ao vetor de duas observações. Quanto menor essa distância, maior a similaridade entre os países comparados. A técnica possibilita a classificação dos países em grupos mutuamente exclusivos, revelando padrões estruturais de atuação em ecoinovação. Duas abordagens serão utilizadas: hierárquica e não hierárquica. A abordagem hierárquica, do tipo aglomerativa, parte de elementos individuais e realiza sucessivas fusões com base na similaridade, representadas graficamente por meio de dendogramas. Já a abordagem não hierárquica (como o algoritmo *k-means*) permite agrupar diretamente as observações em um número pré-definido de clusters k , otimizando a homogeneidade interna e a separação entre grupos. O uso combinado dessas técnicas proporcionará uma visão abrangente e estruturada das economias selecionadas, permitindo identificar padrões relevantes de ecoinovação em nível nacional que fundamentam a análise posterior em nível empresarial.

As técnicas de agrupamento hierárquicas são implementadas por uma série de fusões sucessivas ou uma série de sucessivas divisões. Os métodos hierárquicos aglomerativos começam com objetos individuais. Em seguida, os objetos mais similares são agrupados primeiramente e esses grupos iniciais são fundidos de acordo com suas similaridades. Eventualmente, como a similaridade diminui, todos os subgrupos são fundidos em um único *cluster*. O dendograma é o mecanismo utilizado para ilustrar as fusões e divisões que foram feitas em níveis sucessivos, configurando-se como um importante instrumento de análise das técnicas aglomerativas.

As técnicas de agrupamento não hierárquicas, por sua vez, são projetadas para agrupar as observações, ao invés das variáveis, dentro do conjunto dos k *clusters*. O número de *clusters* (k) pode tanto ser especificado previamente ou determinado como parte do procedimento de agrupamento. As técnicas têm por objetivo encontrar diretamente uma partição de n elementos em k *clusters*, atendendo a dois requisitos: i) semelhança interna e ii) isolamento dos *clusters* formados. A cada passo, os casos são agrupados ao *cluster* de centro mais próximo e novamente as médias são recalculadas. Este processo continua até que não haja mais alterações nas médias ou que um número pré-determinado de iterações aconteça, encerrando-se o processo. Cabe destacar ainda as principais diferenças das técnicas não hierárquicas em relação às hierárquicas são: i) definição prévia do número de *clusters*; ii) em cada etapa, novos *clusters* podem ser formados por divisão ou junção de *clusters* inicialmente definidos e iii) os algoritmos são iterativos e possuem grande capacidade de análise do conjunto de dados.

Com base na descrição das duas técnicas de análise multivariada, o Quadro 2 descreve as variáveis utilizadas no emprego das técnicas de análise em questão, a fim de verificar a relação entre os grupos de países e suas distintas dimensões multidisciplinares. As estatísticas descritivas e a matriz de correlação das variáveis em questão encontram-se reportadas no Apêndice nas Tabelas A.1 e A.2, respectivamente.

Quadro 2 – Variáveis Utilizadas nas Análises Fatorial e de Agrupamento (*Clusters*)

Variáveis	Dimensões	Descrição das variáveis	Fonte
Agricultura, Silvicultura e Pesca	Setorial-Econômico	Valor adicionado (% do PIB)	Banco Mundial
Indústria	Setorial-Econômico	Valor adicionado (% do PIB)	Banco Mundial
Receita dos Recursos Naturais	Setorial-Econômico	Soma das rendas de petróleo, gás natural, carvão, minerais e rendas florestais (% do PIB)	Banco Mundial
Emprego na Indústria	Setorial-Econômico	Trabalhadores assalariados, total (% do emprego total)	Banco Mundial
Área Florestal	Meio Ambiente	% de área terrestre do país coberta por floresta	Banco Mundial
Emissões de GEE	Meio Ambiente	Total de CO ₂ , incluindo incêndios florestais, decomposição pós-queima e de turfeiras drenadas, todas as fontes antropogênicas de CH ₄ , fontes de N ₂ O e gases F (HFCs, PFCs e SF ₆)	Banco Mundial
Precificação de Carbono	Meio Ambiente	Pontuação oriunda da utilização de combustíveis fósseis e biocombustíveis (a preços do ano-base de 2018)	OECD Data
Ensino Superior	Científico-Tecnológico	Matrícula no ensino superior (% da matrícula total, independentemente da idade, e a população da faixa etária que corresponde oficialmente ao nível de ensino)	Banco Mundial

Patentes Verdes	Científico-Tecnológico	Desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao meio ambiente (% das invenções)	OECD Data
P&D	Científico-Tecnológico	Despesa em pesquisa e desenvolvimento (% do PIB)	Banco Mundial
Pesquisadores	Científico-Tecnológico	Pesquisadores em P&D (por milhão de pessoas)	Banco Mundial
Colaboração Internacional	Científico-Tecnológico	Colaboração internacional entre países no desenvolvimento de tecnologia para mitigação das mudanças climáticas	OECD Data

Fonte: Elaboração própria.

4.3 ABORDAGEM ECONOMETRICA

Desde o clássico trabalho de Cobb e Douglas (1928), a função de produção Cobb-Douglas tem sido amplamente utilizada para mensurar o crescimento econômico, incorporando fatores como capital e trabalho (Chen; Yao, 2024; Nunes-Pereira; Moura, 2024). A função básica pode ser representada como:

$$Y = f(L, K) = AL^{\alpha}K^{1-\alpha} \tag{2}$$

onde Y, L e K representam a produção, trabalho e capital, respectivamente, e A e α são a produtividade total dos fatores produtores e o fator de distribuição de riqueza, respectivamente. A versatilidade do modelo permite adaptações para incorporar dimensões ambientais e sociais, essenciais diante dos desafios contemporâneos de sustentabilidade (Kronenberg, 2010; Dzhumashev, 2024). Por exemplo, Tang *et al.* (2018) e Mougenot e Doussoulin (2022) demonstram a adequação da função Cobb-Douglas para análise da sustentabilidade no crescimento econômico.

No entanto, a relevância atual sobre o tema das inovações e seu impacto sobre o meio ambiente amplia a urgência de incorporar dimensões e restrições ecológicas, físicas e sociais em modelos econômicos (Kronenberg, 2010; Dzhumashev, 2024). Estudos contemporâneos têm destacado cada vez mais a utilidade dessa modalidade de função de produção na exploração da sustentabilidade e da economia ambiental. Essa mudança em direção à integração da função de produção Cobb-Douglas, na análise de questões de sustentabilidade, reflete um reconhecimento mais amplo da necessidade de modelos econômicos capazes de abordar os desafios climáticos (Göpel, 2016; Colther; Doussoulin, 2024).

Na sequência, apresenta-se a versão estendida da função, adaptada para analisar o impacto de inovações tecnológicas e financeiras sobre as emissões de CO2, conforme Chishti e Sinha (2022):

$$CO_{2e_{it}} = a_0 + a_1y_{it} + a_2y_{it}^2 + a_3FFC_{it} + a_4fi_{it}^+ + a_5fi_{it}''' + a_6ti_{it}^+ + a_7ti_{it}''' + a_8FDI_{it} + a_9URBN_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Onde as variáveis incluem emissões de CO₂ *per capita* como dependente e as demais como PIB *per capita*, população urbana total (URBN) (um *proxy* para urbanização), patentes (INN) (um *proxy* para inovação), investimento estrangeiro direto (FDI) e energia oriunda de combustíveis fósseis (FFC).

García-Pozo *et al.* (2016) introduziram a ecoinovação na função de produção para estudar a produtividade em setores específicos, como a indústria hoteleira espanhola durante a crise econômica (2008-2012). Na função de produção, descrita pela equação (4), Ln(Y/L) representa o valor adicionado bruto, K o estoque de capital físico, L o número total de empregos em tempo integral preenchidos e *ei* o indicador da implementação de práticas ecoinovadoras. Ainda se tem α como a elasticidade do capital, ou seja, elasticidade da produção em termos de capital físico e γ a semielasticidade do produto em relação ao indicador de prática ecoinovadora *ei*.

$$Ln\left(\frac{Y}{L}\right) = LnA + \alpha Ln\left(\frac{K}{L}\right) + \gamma ei \quad (4)$$

Ainda nessa perspectiva, visando avaliar as atividades de produção mais limpa de empresas taiwanesas, realiza-se uma análise de 4.949 empresas de manufatura e serviços de Taiwan, baseando no banco de dados da *Third Taiwanese Technological Innovation Survey* (TTIS3)¹⁰. Como se trata de um conceito amplo, este referido estudo utiliza de uma medida *proxy* com base nos níveis de ecoinovação empregados no nível da empresa, que inclui materiais (uso reduzido de material por unidade de produção), energia (uso reduzido de energia por unidade de produção), emissões de carbono (redução da pegada de CO₂), substâncias perigosas (substituição de materiais por substitutos menos poluentes ou menos perigosos), outro controle de poluição (redução da poluição do solo, água, ruído ou ar) e reciclagem (Galbreath *et al.*, 2021). O modelo contém as variáveis de controle *dummy* da indústria (INDUSTRY), regulamentações ou impostos existentes (RTP_{NOW}) e futuros (RTP_{FUTURE}) sobre poluição e tamanho da empresa (FIRM_{SIZE}), além das variáveis moderadoras necessárias, como subsídios governamentais para ecoinovação (SUBSIDY), demanda (DEMAND), estratégia ambiental corporativa proativa (PCES) e capacidade de absorção (AC).

¹⁰ Esse questionário é obtido por meio da tradução e modificação a partir da Pesquisa de Inovação Comunitária (CIS), conduzida pela União Europeia (Galbreath *et al.*, 2021).

Inspirado nesses estudos (García-Pozo *et al.* (2016) e Galbreath *et al.* (2021)), o presente trabalho propõe analisar o impacto das características empresariais sobre o risco ambiental, medido pelo índice Trucost, por meio do seguinte modelo econométrico:

$$Trucost_{i,t} = \beta_0 + \beta_1TecnologiaVerde_{i,t-1} + \beta_2TecnologiaVerde_{i,t-2} + \beta_3Lucro_{i,t-1} + \beta_4Lucro_{i,t-2} + \beta_5Tamanho_{i,t-1} + \beta_6Qualidade_{i,t-1} + \beta_7Internacionalização_{i,t} + \delta_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

$$Trucost_{i,t} = \beta_0 + \beta_1TecnologiaVerde_{i,t-1} + \beta_2TecnologiaVerde_{i,t-2} + \beta_3Lucro_{i,t-1} + \beta_4Lucro_{i,t-2} + \beta_5Tamanho_{i,t-1} + \beta_6Qualidade_{i,t-1} + \beta_7TecnologiaVerde * Tamanho_{i,t-1} + \beta_8Internacionalização_{i,t} + \delta_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (6) \quad (6)$$

Onde:

$Trucost_{i,t}$: índice de risco ambiental Trucost da empresa i no ano t ;

$TecnologiaVerde_{i,t-1}$: proxy de ecoinovação da empresa i no ano $t-1$, com duas variantes:

$PatentesVerdes_{i,t-1}$: total de patentes verdes depositadas no *EPO* (*PATSTAT*) pela empresa i , no ano $t-1$. A definição dessa categoria de patentes está de acordo com a classificação *IPC Green Inventory* da *WIPO*;

$IntVerde_{i,t-1}$: intensidade da pesquisa verde, calculado pela razão entre o número de patentes verdes e o respectivo número total de patentes empresa i , no ano $t-1$;

$Lucro_{i,t-1}$: logaritmo do lucro da empresa i no ano $t-1$;

$Tamanho_{i,t-1}$: logaritmo do número de empregados da empresa i no ano $t-1$;

$Qualidade_{i,t-1}$: índice de qualidade das patentes verdes da empresa i no ano $t-1$, denotado pela razão entre citações e patentes verdes;

$TecnologiaVerde * Tamanho_{i,t-1}$: interação que capta efeito moderador do tamanho da empresa i sobre a ecoinovação;

Internacionalização_{i,t}: variável *dummy* que indica presença de filiais internacionais

$\delta_{i,t}$: efeitos fixos de tempo e setor

$\varepsilon_{i,t}$: termo de erro idiossincrático

Cabe destacar que as variáveis dependentes e independentes principais são logaritmizadas para evitar vieses relacionados à escala. Além disso, a justificativa para a utilização das variáveis do modelo, descrito pelas equações (5) e (6), será explicitada mais adiante, na seção 4.4.

4.4 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA: ESTIMAÇÕES ECONOMETRICAS

A estratégia metodológica adotada neste estudo contempla a aplicação de dois métodos econométricos distintos: o modelo de efeitos fixos (EF) e o Método Generalizado dos Momentos (GMM). Essa dupla abordagem permite uma análise robusta dos determinantes das tecnologias ambientais desenvolvidas pelas firmas, considerando tanto as características específicas dos países quanto os atributos internos das empresas.

Na primeira etapa da análise, será utilizada a estimação da equação (5) por meio de painel desbalanceado com efeitos fixos, conforme modelo populacional linear descrito por Wooldridge (2010):

$$y_{it} = \beta_{0i} + \beta_1 \mathbf{x}'_{it} + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

Em que $\mathbf{x}_{it}$ são regressores, β_{0i} são os efeitos aleatórios específicos de indivíduo e ε_{it} representa o erro idiossincrático. Com o termo do erro sendo $\mu_{it} = \beta_{0i} + \varepsilon_{it}$ e $\mathbf{x}'_{it}$ correlacionado com o termo de erro invariante no tempo (β_{0i}), assume-se que $\mathbf{x}'_{it}$ não é correlacionado com o erro idiossincrático ε_{it} . O modelo de efeitos fixos implica que $E(y_{it}|\beta_{0i}, \mathbf{x}_{it}) = \beta_{0i} + \mathbf{x}'_{it}\beta_1$, assumindo-se que $E(y_{it}|\beta_{0i}, \mathbf{x}_{it}) = 0$, de modo que $\beta_j = \partial E(y_{it}|\beta_{0i}, \mathbf{x}_{it})/\partial x_{j,it}$. A principal vantagem do estimador de EF é sua consistência diante da presença de heterogeneidade não observada constante no tempo, que pode estar correlacionada com os regressores.

Para verificar a adequação do modelo de efeitos fixos em relação ao modelo de efeitos aleatórios, foi aplicado o Teste de Hausman, cujo resultado confirmou a presença de correlação entre os efeitos específicos e os regressores, justificando a adoção do modelo EF. Além do modelo EF, será estimado também um modelo via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para fins comparativos, conforme prática comum em estudos similares (Ghisetti e Quatraro, 2017).

A implementação do painel de EF tem por base Ghisetti e Quatraro (2017), em que os autores analisam os efeitos das inovações ambientais no desempenho ambiental, representado pela medida de produtividade ambiental setorial das regiões italianas, para o ano de 2005, considerando os dados das demais variáveis do período 2002-2004. A justificativa para uma primeira análise econométrica anual, concentra-se no fato de que a estimação poder estar sujeita ao problema de endogeneidade causada pelos regressores. Em outras palavras, a endogeneidade ocorre quando a correlação entre alguma variável explicativa x_j do modelo e o termo de erro ε_{it} é diferente de zero, $\text{Cov}(x_j, \varepsilon_{it}) \neq 0$, fato que inviabiliza essa primeira fase da estimação, ao gerar estimativas viesadas e inconsistentes. De acordo com Wooldridge (2010), a endogeneidade geralmente pode surgir por três motivos principais:

- 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, como atributos não observáveis das firmas (ex.: qualificação dos pesquisadores);
- b) 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) 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, o lucro da empresa pode ser simultaneamente causa e consequência do risco ambiental (variável dependente).

No caso desta tese, a endogeneidade pode advir principalmente do problema da simultaneidade, relatado no item c), entre a variável dependente *Trucost* e a variável relacionada ao lucro da empresa. Sendo assim, é necessário fazer o controle da endogeneidade das estimações anuais. A solução genérica para este problema poderia ser a utilização de variáveis instrumentais (IV). Considerando um modelo genérico inicial $y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$, a variável x será endógena se for correlacionada com ε . No entanto, é extremamente difícil encontrar instrumentos fortes que sejam altamente correlacionados com a variável endógena e não correlacionados com a dependente. Com instrumentos fracos, os estimadores de IV de efeitos fixos provavelmente serão tendenciosos. Barros *et al.* (2010) destacam que alguns métodos foram desenvolvidos tendo como foco a estimação de modelos dinâmicos, como o *GMM*. Portanto, o uso de um estimador *GMM*, em vez de instrumentos exógenos fracos, ele usa níveis defasados como regressores endógenos. Isso torna as variáveis endógenas pré-determinadas e, portanto, não correlacionadas com o termo de erro.

Com isso, a segunda etapa da estratégia metodológica adotada consistirá na utilização do método *GMM System*.

Para mitigar os efeitos da endogeneidade, em especial, a decorrente da simultaneidade — a segunda etapa metodológica utilizará o *GMM System* (Arellano-Bover/Blundell-Bond), conforme Hansen (1982) e Baum *et al.* (2003). Esse método é especialmente indicado em painéis com grande N (número de empresas) e pequeno T (horizonte temporal), como no caso deste estudo (Roodman, 2006). Dessa forma, o modelo *GMM* oferece uma técnica de estimativa superior em comparação ao modelo OLS (Ullah *et al.*, 2018). Segundo os autores, como o modelo *GMM* controla a endogeneidade e inclui valores defasados, além de aplicar o processo de transformação interna, os resultados relatados sob o *GMM* podem ser significativamente diferentes daqueles relatados na coluna OLS.

A equação diferenciada do *GMM System* remove o problema de efeitos fixos. A aplicação da primeira diferença remove o efeito fixo específico do país, porque ele não varia com o tempo. O *GMM System* tem a vantagem de permitir que outros regressores invariantes no tempo sejam incluídos na equação de nível, como dummies de tempo, que são variáveis de controle importantes nos modelos.

Sendo realizada estimação por *GMM System*, faz-se necessário aplicar dois testes de pós-estimativa para determinar se um modelo econométrico apropriado é aplicado. Esses testes são:

(i) o teste de Hansen e (ii) o teste de Arellano-Bond para correlação de primeira AR (1) e segunda ordem AR (2). Para verificar se o número de instrumentos é adequado e não produz verificação do modelo, o teste de Hansen é aplicado. O teste de Hansen avalia a validade dos instrumentos utilizados. A hipótese nula (instrumentos válidos) não deve ser rejeitada ($p\text{-valor} \geq 0,05$ e $\leq 0,80$), evitando problemas de sobreidentificação (Roodman, 2009). Se a probabilidade de Hansen estiver fora do intervalo entre 0,05 e 0,8, o modelo pode ser sobreidentificado e pode precisar restringir a geração de instrumentos (Labra; Torrecilas, 2018).

O teste Arellano-Bond, por sua vez, supõe, sob a hipótese nula, de que os termos de erro de dois períodos de tempo diferentes não são correlacionados. Em outras palavras, significa que as variáveis defasadas não são correlacionadas com o termo de erro. Quando o teste de Arellano e Bond indica a presença de correlação serial em ambos os níveis, provavelmente estamos diante de um modelo de raiz unitária, o que não é o caso neste estudo. Espera-se que AR(1): significativa ($p < 0,05$) e AR(2): não significativa ($p > 0,05$), o que indica ausência de autocorrelação nos resíduos em segunda ordem (Labra; Torrecilas, 2018).

A combinação dos métodos EF e *GMM* garante maior rigor na inferência estatística dos efeitos das variáveis explicativas sobre o índice de risco ambiental empresarial (Trucost), controlando tanto para heterogeneidade não observada quanto para problemas de endogeneidade. A abordagem segue precedentes metodológicos consolidados na literatura em estudos sobre inovação e sustentabilidade empresarial (Ghisetti; Quatraro, 2017; Ullah *et al.*, 2018; Galbreath *et al.*, 2021).

Portanto, a estratégia metodológica foi desenhada especificamente para lidar com os desafios empíricos envolvidos na pesquisa. O uso do modelo de efeitos fixos permite isolar as influências inobservadas e invariantes no tempo que poderiam enviesar a relação entre as variáveis relacionadas à empresa (como lucro, tamanho, qualidade das patentes) e o desempenho ambiental. Já a aplicação do modelo *GMM* é importante para tratar potenciais problemas de endogeneidade, especialmente a simultaneidade entre desempenho ambiental e lucro ou intensidade tecnológica, que poderiam comprometer a validade causal das estimativas. Assim, ambos os modelos permitem estimar de forma robusta os determinantes do desempenho ambiental das empresas e capturar o efeito dinâmico das inovações verdes sobre os impactos ambientais delas.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise das principais características que mais influenciam a capacidade tecnológica ambiental dos países em estudo, no período de 2016 a 2018. Com base na técnica de AF, busca-se reduzir o número de variáveis e detectar a estrutura das relações entre elas, isto é, classificar os indicadores em fatores. Ressalta-se que as variáveis agrupadas em um mesmo subconjunto são correlacionadas entre si, sendo a força dessa correlação expressa pelas cargas fatoriais geradas pela análise.

Na sequência, aplica-se a análise de *Clusters* com a finalidade de determinar e identificar grupos similares dentro da amostra, no caso, composta por 52 países, desenvolvidos e em desenvolvimento (Quadro 3). Utilizam-se, para isso, métodos hierárquicos e não hierárquicos (Hair *et al.*, 2010), de modo a investigar a composição dos grupos de países com base em características comuns que possam influenciar seu desenvolvimento tecnológico ambiental. Para a análise hierárquica, adota-se o método de Ward; posteriormente, a técnica não hierárquica K-means é utilizada para comparar e validar as diferenças entre os agrupamentos identificados.

De modo geral, a análise de *Clusters* tem por finalidade classificar os países em grupos mutuamente exclusivos, com base nas similaridades entre as observações. Essa técnica permite identificar quais países compartilham características estruturais similares, além de determinar quantos agrupamentos efetivamente existem na amostra (Montenegro *et al.*, 2022). Tanto na AF quanto na análise de *Clusters*, utiliza-se a média dos dados referentes ao triênio 2016-2018, o que possibilita uma análise estática das similaridades entre as nações — ou seja, uma espécie de "fotografia" representativa do período.

Após a aplicação das técnicas multivariadas, procedem-se as estimações referentes às equações (5) e (6), com o intuito de verificar de que maneira determinadas características empresariais influenciam o índice de risco ambiental Trucost.

5.1 ANÁLISE FATORIAL (AF)

A implementação da Análise Fatorial pode ocorrer sob diferentes formas, conforme explicitado no Capítulo 4. Na Tese, optou-se pelo MCP, o qual é amplamente utilizado por não exigir a suposição de normalidade na distribuição das variáveis. A técnica utiliza a decomposição espectral para fatoração da matriz de correlações, permitindo a estimação dos autovalores associados a cada fator. O principal objetivo consiste em verificar quantos componentes devem

ser mantidos na análise, de forma a garantir uma representação adequada da variabilidade dos dados. Como o conjunto inicial contém doze variáveis, o número máximo possível de fatores também é doze.

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes às doze variáveis que compõem os mecanismos associados às características multidimensionais dos países. Para uma análise precisa, foram realizados os principais testes de acurácia do método, com o intuito de identificar quantos fatores devem ser retidos. Inicialmente, com base no critério de Kaiser, foram selecionados os fatores cujos autovalores são maiores ou iguais a 1 ($\lambda_i > 1$). Dessa forma, observou-se que os 3 (três) primeiros fatores atendem ao critério estabelecido, apresentando os seguintes autovalores: **3,95** para o primeiro fator, **2,98** para o segundo e **1,67** para o terceiro.

Tabela 1 – Resultados da Análise Fatorial (AF)

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Agricultura	-0,8626		
Indústria	-0,3678	0,4491	-0,3328
Receita dos Recursos Naturais	-0,2092		0,8032
Emprego na Indústria	0,8890		
Ensino Superior	0,5610		
Patentes Verdes		0,9121	
P&D	0,5935	0,6321	
Pesquisadores	0,8037	0,2456	-0,2519
Colaboração Internacional		0,9378	
Área Florestal		0,2182	0,8713
Emissões de GEE	-0,3242	0,7198	0,2928
Precificação de Carbono	0,6276		-0,5918
Autovalores	3.95	2.98	1.67
Proporção da Variância Individual (%)	32.99	24.89	13.92
Proporção da Variância Acumulada (%)	32.99	57.87	71.79

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados.

Em seguida, implementou-se o teste de Pearson, considerando que a seleção dos fatores deve explicar, no mínimo, 70% da variabilidade da variância total. De acordo com esse critério, os três fatores previamente selecionados explicam conjuntamente cerca de 72% da variância total. Especificamente, o primeiro fator isoladamente responde por aproximadamente 33% da variância da matriz de correlação.

Em seguida, foram aplicados testes adicionais para verificar a adequação dos fatores obtidos. Dentre esses, destacam-se os testes de normalidade, correlação, independência e o índice KMO¹¹. As matrizes de correlação¹² e de identidade não se mostraram idênticas, o que foi confirmado pelo teste de independência, cujo resultado foi estatisticamente significativo ($p = 0,000$). Já o teste de esfericidade de Bartlett apresentou valor de qui-quadrado igual a 414,545 com $p = 0,000$, indicando a existência de correlações significativas entre as variáveis e, portanto, a viabilidade da aplicação da análise fatorial.

O teste de esfericidade de Bartlett, por sua vez, mostrou um valor estatisticamente significativo (qui-quadrado = 414,545; $p = 0,000$), o que denota que a matriz de correlação tem correlações importantes, representando um resultado desejável. No que se refere ao teste KMO, obteve-se um valor de 0,7105, considerado adequado pela literatura, evidenciando boa qualidade da amostragem. Além disso, procedeu-se à verificação da confiabilidade interna dos dados, por meio do Alpha de Cronbach, cujo resultado foi 0,76, valor que, segundo a literatura de análise multivariada, denota boa consistência interna (Johnson; Wichern, 2002; Mingotti, 2007).

Reiterando a aplicação da regra de retenção de fatores com autovalores maiores que 1, confirmou-se a manutenção dos três fatores. A construção destes foi realizada com base na análise de componentes principais e aplicação da rotação varimax. Cabe ressaltar que as cargas fatoriais representam coeficientes de correlação entre as variáveis originais e os fatores, enquanto suas cargas fatoriais quadradas expressam a porcentagem da variância de cada variável explicada por um dado fator. A análise das cargas fatoriais, portanto, permite interpretar o conteúdo de cada fator (Rozkrut, 2014).

Concluída a etapa de validação dos fatores, procedeu-se à análise das variáveis que mais contribuíram para a composição de cada um dos três primeiros fatores principais, conforme apresentado na Tabela 1. Em consonância com a literatura especializada, pontuações fatoriais rotacionadas inferiores a 0,20 não foram consideradas na interpretação, por não apresentarem relevância significativa (Segarra-Oña; Ángel Peiró-Signes, 2013).

A partir dos fatores identificados, elaborou-se um ranking dos países, com base nas cargas fatoriais atribuídas a cada um dos três componentes principais da AF. Esse ranking está descrito no Quadro A.3, reportado no Apêndice. Para facilitar a visualização, apresenta-se a Figura 1,

¹¹ O KMO deve possuir um valor ideal de pelo menos 0,70.

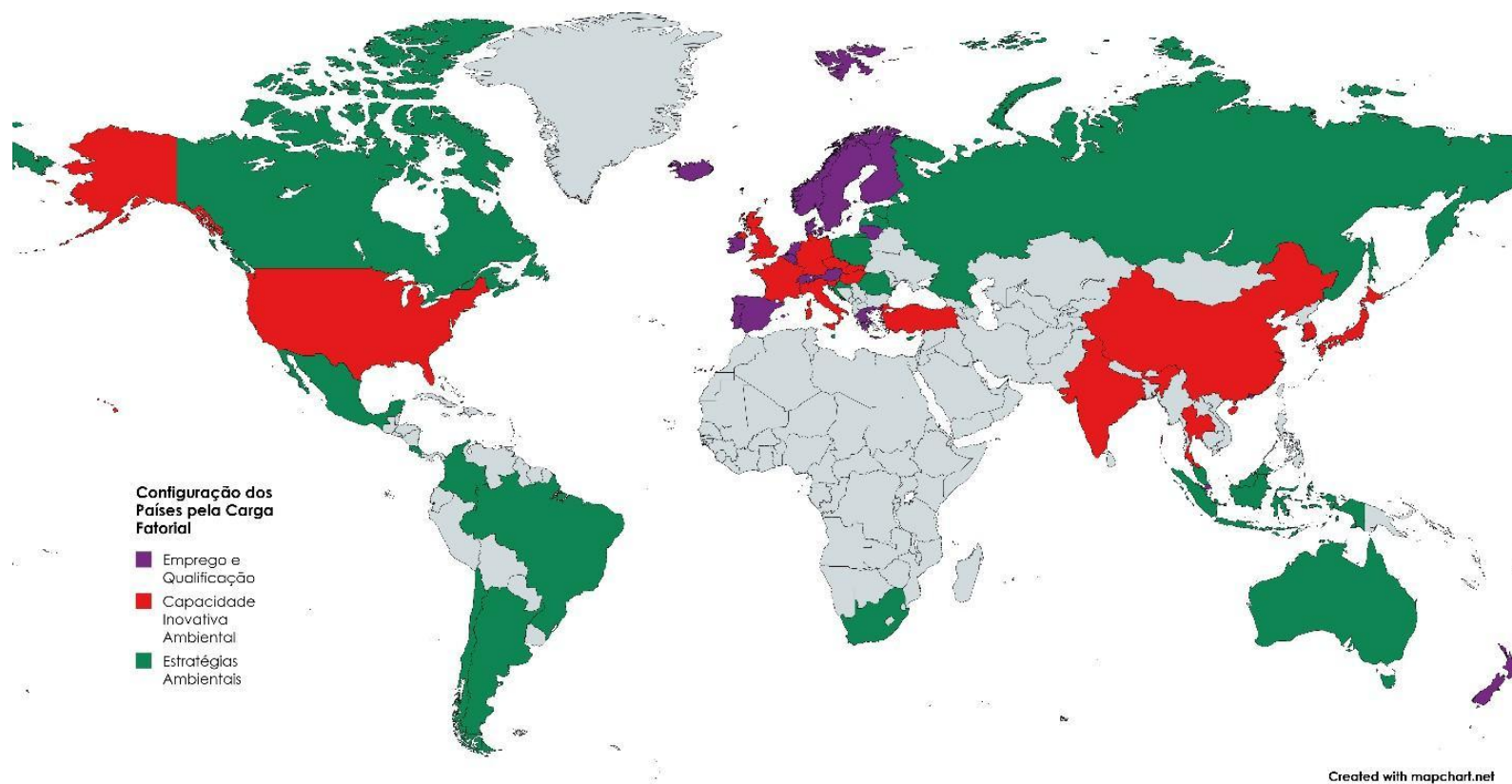
¹² A matriz de correlação encontra-se reportada no Apêndice e mostra que a grande maioria dos valores explicitados são $> 0,30$, indicando uma boa correlação entre as variáveis.

na qual os países estão destacados com cores que representam o fator mais expressivo identificado para cada um. Conforme se observa na Figura 1 e na Tabela 1, o Emprego na Indústria, o número de Pesquisadores, a Precificação de Carbono e os investimentos em P&D foram os indicadores que mais contribuíram para a formação do Fator 1 (cor roxa na Figura 1). Diante dessas características, este fator foi denominado Emprego e Qualificação. Destacam-se nesse grupo países escandinavos como Noruega, Dinamarca e Suécia, que apresentam elevados níveis de desenvolvimento humano e científico, além de desempenho ambiental exemplar (Branum *et al.*, 2013; Abrahamsen *et al.*, 2023).

O Fator 1, portanto, reflete o grau de desenvolvimento, coordenação e dinamismo de sistemas de inovação ambientalmente orientados. Esses países adotam estratégias de apoio à P&D que privilegiam políticas do lado da oferta, permitindo o avanço tecnológico ambiental. Os investimentos em ciência básica são utilizados como ferramentas centrais de desenvolvimento científico e tecnológico (Jacobs *et al.*, 2011).

Nesse contexto, observa-se que a estratégia de P&D e a orientação da inovação, alinhadas às preocupações ambientais, estão sendo integradas ao paradigma convencional de inovação (González-Moreno *et al.*, 2014). Tal integração tem impulsionado a introdução de inovações tanto de produto quanto de processo, apoiadas pela atuação de pesquisadores qualificados. Esses fatores são amplamente reconhecidos como *drivers* ambientais das empresas (Segarra-Oña; Peiró-Signes, 2013). De modo geral, os países identificados com maior carga no Fator 1 caracterizam-se pela estabilidade financeira, resiliência a crises, políticas públicas consistentes voltadas ao eixo social e forte comprometimento com a sustentabilidade (Ziolo *et al.*, 2019).

Figura 1 – Fator Dominante por País



Fonte: Elaborado no World Map

A precificação de carbono, por sua vez, é amplamente considerada um instrumento político chave para mitigar os impactos das mudanças climáticas. Todavia, esse mecanismo apresenta considerável variabilidade, com níveis de preços que podem divergir substancialmente entre países e regiões (Levi *et al.*, 2020). A gestão de carbono, no contexto da precificação, requer a existência de instituições bem estruturadas, bem como ações públicas favoráveis, tais como o nível de confiança da população na mudança climática de origem antropogênica, a pressão governamental e o rigor das políticas ambientais implementadas (Levi *et al.*, 2020; Ben Amar *et al.*, 2022).

No que se refere à formação do Fator 2 (cor vermelha na Figura 1), observou-se que as variáveis Colaboração Internacional, Patentes Verdes e Emissões de GEE foram as principais responsáveis por sua composição. Em função dessas características, este componente foi denominado Capacidade Inovativa Ambiental. Entre os países com maior peso nesse fator, destacam-se China, EUA, Índia, Coreia do Sul, Japão e Alemanha. Esses países, em especial os três primeiros, são reconhecidos como grandes emissores globais de gases de efeito estufa. No caso específico da China e da Índia, esse cenário decorre, em grande parte, da forte dependência de matrizes energéticas baseadas em carvão e outras fontes fósseis, a despeito dos esforços recentes direcionados à transição energética e ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (Lewis, 2007).

Como forma de compensar o elevado volume de emissões, essas nações têm priorizado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias verdes. O Japão, por exemplo, é considerado um dos líderes globais no desenvolvimento de tecnologias ambientais desde a década de 1980, sendo as patentes verdes uma importante *proxy* da inovação ambiental. Da mesma forma, Coreia do Sul e China vêm expandindo significativamente sua capacidade de inovação voltada à redução da poluição (Jovanović *et al.*, 2022). A concentração do depósito de patentes verdes se encontra fortemente concentrada em poucos países: Alemanha, Japão, Coreia do Sul, EUA e China (Johnstone *et al.*, 2008; Ruggi *et al.*, 2017; Urbaniec *et al.*, 2021).

Esse processo de desenvolvimento tecnológico é amplamente impulsionado por colaborações e parcerias internacionais. Países desenvolvidos, como os Estados Unidos e a Alemanha, ocupam posições de destaque na produção de inovações conjuntas. Contudo, nas duas últimas décadas, observa-se uma mudança significativa no panorama da colaboração internacional, com a ascensão de países asiáticos que, até os anos 1990, não ocupavam papel de protagonismo. A

partir dos anos 2000, China e Índia emergiram como atores relevantes nesse cenário (Prato; Nepelski, 2012).

Por fim, a formação do Fator 3 (cor verde na Figura 1) foi fortemente influenciada pelas variáveis Área Florestal, Receita dos Recursos Naturais, Precificação de Carbono e Emissões de GEE. Este fator foi denominado Estratégias Ambientais. Nesse agrupamento, sobressaem países como Rússia, Brasil, Austrália e Canadá, que compartilham características geográficas marcantes, como extensas áreas territoriais e grandes coberturas florestais. Essas condições, somadas às especificidades locais, favorecem a ocorrência de incêndios florestais, responsáveis por cerca de 25% das emissões de gases de efeito estufa, um dos principais vetores do aquecimento global (Kurniawan *et al.*, 2022).

Ademais, um estudo baseado em dados de 48 países em desenvolvimento, cobrindo o período de 1990 a 2020, identificou uma relação significativa entre emissões de CO₂, recursos naturais, energia e receitas fiscais (Zhang *et al.*, 2022). De forma análoga, altas receitas oriundas de impostos ambientais podem sinalizar o comprometimento governamental com os objetivos do desenvolvimento sustentável. Esses recursos podem ser direcionados, por exemplo, para investimentos em P&D voltados a tecnologias limpas, como tem ocorrido nos Estados Unidos e em diversas regiões da Europa (Dogan *et al.*, 2022; Toader *et al.*, 2023).

Após a realização da AF, que permitiu identificar e caracterizar as principais dimensões que estruturam as diferenças entre os países em termos de capacidade tecnológica e estratégias ambientais, a próxima seção apresenta a análise de Clusters. Seu objetivo é verificar agrupamentos de países com características semelhantes, com base nas variáveis previamente descritas, possibilitando uma leitura mais detalhada da configuração e heterogeneidade dos perfis nacionais.

5.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (*CLUSTERS*)

O objetivo desta seção é analisar a formação dos agrupamentos de países que apresentam características similares, com base em um conjunto de variáveis previamente definidas, relacionadas aos níveis de atividade econômica, impacto ambiental, produção científica e tecnológica ambiental. Destaca-se, nesse contexto, a atuação de grandes potências como Estados Unidos, Japão e Alemanha, que se sobressaem pela difusão de inovações ambientais, bem como de países em desenvolvimento com desempenho notável no campo tecnológico

ambiental, como Coreia do Sul, China e Brasil (Lanjouw; Mody, 1996; Johnstone *et al.*, 2008; Ruggi *et al.*, 2017; Urbaniec *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a análise de Cluster constitui um procedimento exploratório que possibilita identificar como os países se agrupam a partir de similaridades nas dimensões ambientais, econômicas, científicas e tecnológicas, considerando as heterogeneidades existentes nas variáveis utilizadas. Os agrupamentos foram construídos com base na média dos dados para o triênio 2016-2018, de forma a capturar uma configuração estática, mas representativa, do período. Para a identificação dos grupos, foi primeiramente aplicado o método hierárquico de Ward, que apresentou os melhores resultados em comparação a outros métodos hierárquicos, como *single linkage*, *complete linkage* e *average linkage*. A escolha foi fundamentada na análise dos dendogramas e nos testes estatísticos de *Calinski-Harabasz* e *Duda-Hart*, os quais indicaram a formação ideal de quatro agrupamentos, conforme apresentado na Figura A.1 e no Quadro A.4 do Apêndice.

Ressalta-se que os métodos hierárquicos são utilizados não apenas para sugerir o número ideal de agrupamentos, mas também para definir as sementes iniciais a serem utilizadas no método não hierárquico subsequente. A partir dos testes *Calinski-Harabasz* (Pseudo F) e *Duda-Hart* (Pseudo T^2),¹³ observou-se que os métodos sugeriram partições de 4, 4, 2 e 7 grupos, respectivamente. Contudo, buscando minimizar a perda de informação e evitar a formação de grupos com número reduzido de países, optou-se pela configuração com 4 clusters obtida pelo método de Ward, a qual possibilita uma análise comparativa mais robusta entre os grupos.

A distribuição dos países nos quatro grupos resultantes encontra-se sistematizada no Quadro 3 e ilustrada na Figura 2:

Quadro 3 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Hierárquico)

<i>Cluster</i>	Países
1	Rússia, Malásia, Tailândia, Costa Rica, Colômbia, Brasil, Chile, Argentina, México, África do Sul, Turquia, Romênia, Índia e Indonésia
2	Austrália, Nova Zelândia, Espanha, Portugal, República Tcheca, Grécia, Eslováquia, Estônia, Lituânia, Letônia, Chipre, Malta, Polônia, Canadá, Cingapura, Hong Kong, Itália, Croácia, Hungria e Irlanda
3	Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Eslovênia, Áustria, França, Reino Unido, Suíça, Suécia, Islândia, Finlândia, Dinamarca e Noruega
4	Alemanha, EUA, Coreia do Sul, Japão e China

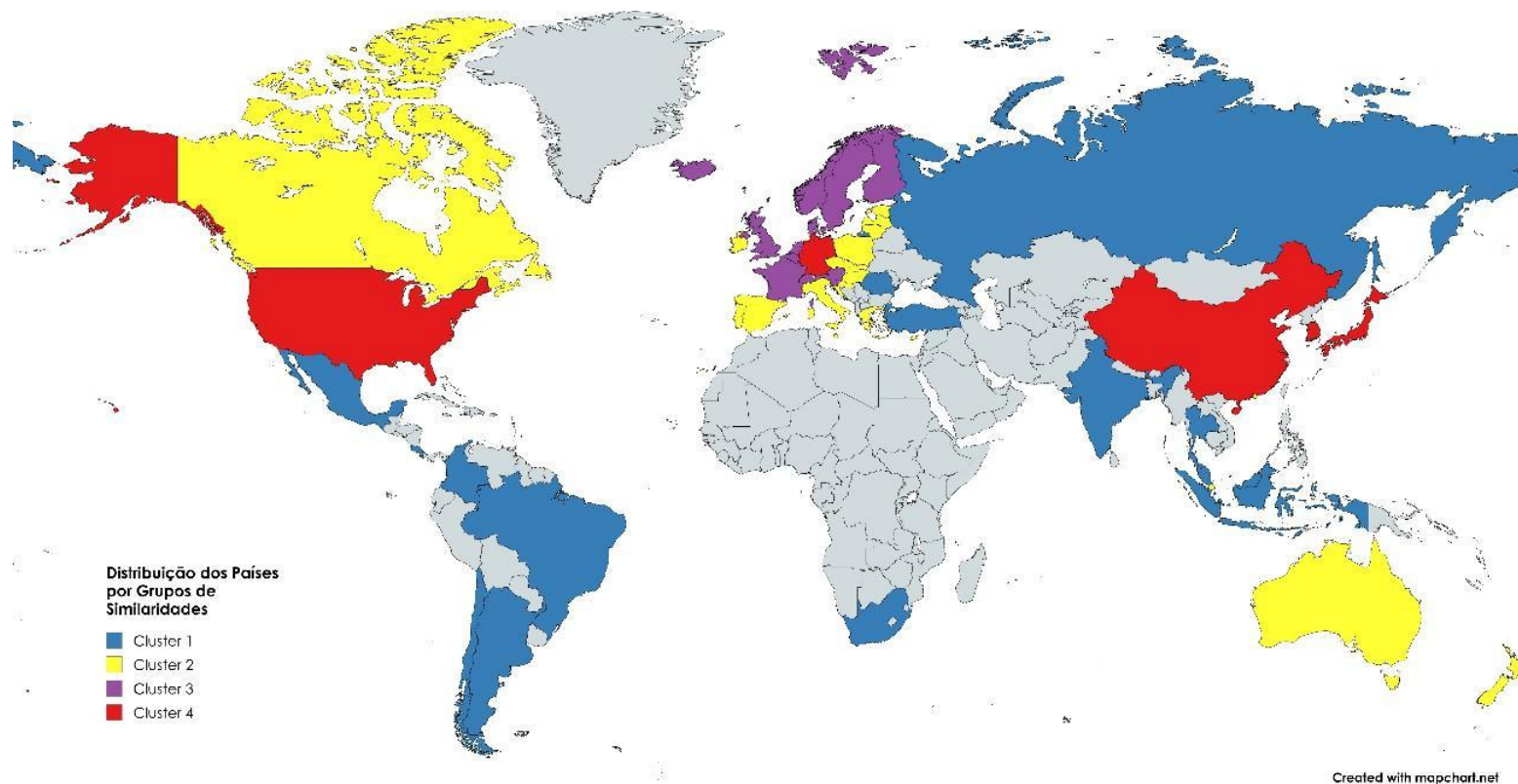
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados.

¹³ O desejável é que se busque um resultado de um maior valor de $Je(2)/Je(1)$ associado a um menor valor de Pseudo T^2

Ao observar o Quadro 3 e Figura 2, nota-se que a formação de grupos não segue uma divisão perfeitamente homogênea, mas apresenta elevado grau de similaridade entre os países agrupados. O Grupo 1 (em azul na Figura 2), composto por 14 países, é majoritariamente formado por economias emergentes da Ásia e América Latina, incluindo quatro dos cinco membros dos BRICS: Brasil, Rússia, Índia e África do Sul. Ao se examinar os determinantes da inovação verde nesses países, verifica-se que ciclos amplos de P&D, aliados a alto risco de fracasso e retornos reduzidos, são traços comuns, o que acaba limitando o nível de inovação ambiental e restringindo os incentivos à pesquisa nessa área (Qi; Yang, 2023).

Apesar dessas restrições, essas economias têm demonstrado especialização no patenteamento verde em setores específicos, ampliando a concorrência internacional e influenciando as dinâmicas futuras de inovação tecnológica ambiental (Lanjouw; Mody, 1996; Steiner *et al.*, 2010; Ruggi *et al.*, 2017). Paralelamente, empresas situadas nesses países também têm recorrido à importação de tecnologias ambientais, atendendo inicialmente à demanda externa, impulsionada por políticas ambientais mais rígidas em países desenvolvidos. Ao longo do tempo, tais políticas internas passam a favorecer também a competição internacional por tecnologias limpas (Glachant; Dechezleprêtre, 2017). Importa salientar que os resultados obtidos para o *Cluster* 1 convergem com os achados relativos ao Fator 3 (Estratégias Ambientais) identificado na Análise Fatorial, reforçando a coerência entre os métodos estatísticos utilizados e a interpretação empírica dos dados.

Figura 2 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Hierárquico)



Fonte: Elaborado no World Map

Quanto ao grupo 2 (em amarelo na Figura 2), composto por 20 países, observa-se que, apesar da diversidade entre seus integrantes, predomina a presença de nações europeias e da Oceania que já atingiram ou se aproximam de um alto nível de desenvolvimento. Nesse contexto, Hajdukiewicz e Pera (2023) analisaram o desempenho da ecoinovação nos países da União Europeia, identificando áreas-chave de melhoria para aqueles com pontuações relativamente baixas. Os autores constataram que países como Malta, Croácia, Chipre e Bulgária formaram um cluster de baixo desempenho, enquanto Polônia e Romênia apresentaram resultados semelhantes aos de países com desempenho intermediário, como Itália, Eslovênia e República Tcheca. O grupo foi caracterizado por níveis relativamente altos de dotações e despesas governamentais em P&D ambiental e energético, ainda que apresentassem baixos resultados em outras dimensões da ecoinovação. Ainda de acordo com os autores, a Hungria foi agrupada com países de desempenho médio (como Portugal e Itália) e com países líderes (Espanha), cujos níveis de investimento público e envolvimento em P&D também apresentaram valores médios. Uma divergência em relação aos resultados aqui apresentados está na composição do cluster que reúne Lituânia, Eslováquia e Hungria com países como Holanda e Áustria, estes últimos tradicionalmente identificados como líderes em ecoinovação.

Os países alocados no *Cluster 2*, distinguem-se por apresentarem nível médio de dotações e despesas públicas em P&D ambiental e energético, bem como valores intermediários no número de pesquisadores e investimentos verdes em estágio inicial. Esse grupo, portanto, concentra países com menores indicadores de inovação, mas com desempenhos mais favoráveis em sustentabilidade. Uma explicação plausível para esse padrão é que, com menor produção de tecnologias de ponta, esses países tendem a consumir menos energia e gerar menores volumes de resíduos. Embora apresentem baixas emissões de GEE, menor consumo de energia e geração de resíduos, enfrentam altos níveis de poluição atmosférica e baixas taxas de reciclagem, fenômeno possivelmente relacionado à ausência de tecnologias inovadoras (Paelau; Chinie, 2018).

No que se refere ao Grupo 3 (em roxo na Figura 2), este reúne 13 países que, com exceção da Eslovênia, são nações altamente desenvolvidas da Europa Ocidental. Tais resultados estão em consonância com as conclusões de Constantin *et al.* (2023), que ao investigarem a relação entre inovação e uso de recursos naturais, destacaram o papel de países com alto índice de ecoinovação, como Áustria, Dinamarca, Finlândia, Luxemburgo, Suécia e Reino Unido, na adoção de políticas eficazes de sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico. Segundo os autores, o capital humano e a tecnologia desenvolvida nesses países devem ser potencializados

por meio de esforços concentrados em pesquisa e desenvolvimento, sobretudo nas áreas de ecologia, energia e agricultura.

Assim, os países integrantes do *Cluster 3* podem ser caracterizados como inovadores e sustentáveis, pois registram altos valores nos indicadores de inovação e valores medianos nos indicadores de sustentabilidade (Paelau; Chinie, 2018). O perfil deste grupo apresenta coerência com o Fator 1 da Análise Fatorial, reforçando o entendimento de que se trata de países com SIs maduros e consolidados, que integram a sustentabilidade às estratégias de desenvolvimento tecnológico.

O Grupo 4 (em vermelho na Figura 2), por sua vez, é composto por cinco países — EUA, China, Japão, Alemanha e Coreia do Sul — sendo que os quatro primeiros figuram entre as maiores economias do mundo. A composição deste *cluster* reflete a concentração dos principais detentores de patentes verdes, aspecto importante para o avanço de tecnologias que mitigam o risco ambiental das atividades produtivas (Johnstone *et al.*, 2008; Ruggi *et al.*, 2017; Urbaniec *et al.*, 2021). O Japão, por exemplo, lidera mundialmente o registro de patentes verdes desde os anos 1980, enquanto Coreia do Sul e China vêm registrando crescimento expressivo nesse indicador com o intuito de reduzir a poluição (Jovanović *et al.*, 2022). Esses resultados convergem com os achados da Análise Fatorial, especialmente com o Fator 2, que reflete as características distintivas desses países quanto à sua capacidade inovativa ambiental.

Com a definição dos quatro grupos via método hierárquico, procedeu-se à execução do método não hierárquico, por meio da técnica de k-médias (*k-means*). Utilizando-se as médias dos quatro grupos obtidos pelo método de Ward como sementes iniciais, foi possível testar a robustez do agrupamento. A distribuição dos países, segundo o método não hierárquico, está sistematizada no Quadro 4 e representada na Figura 3:

Quadro 4 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Não-Hierárquico)

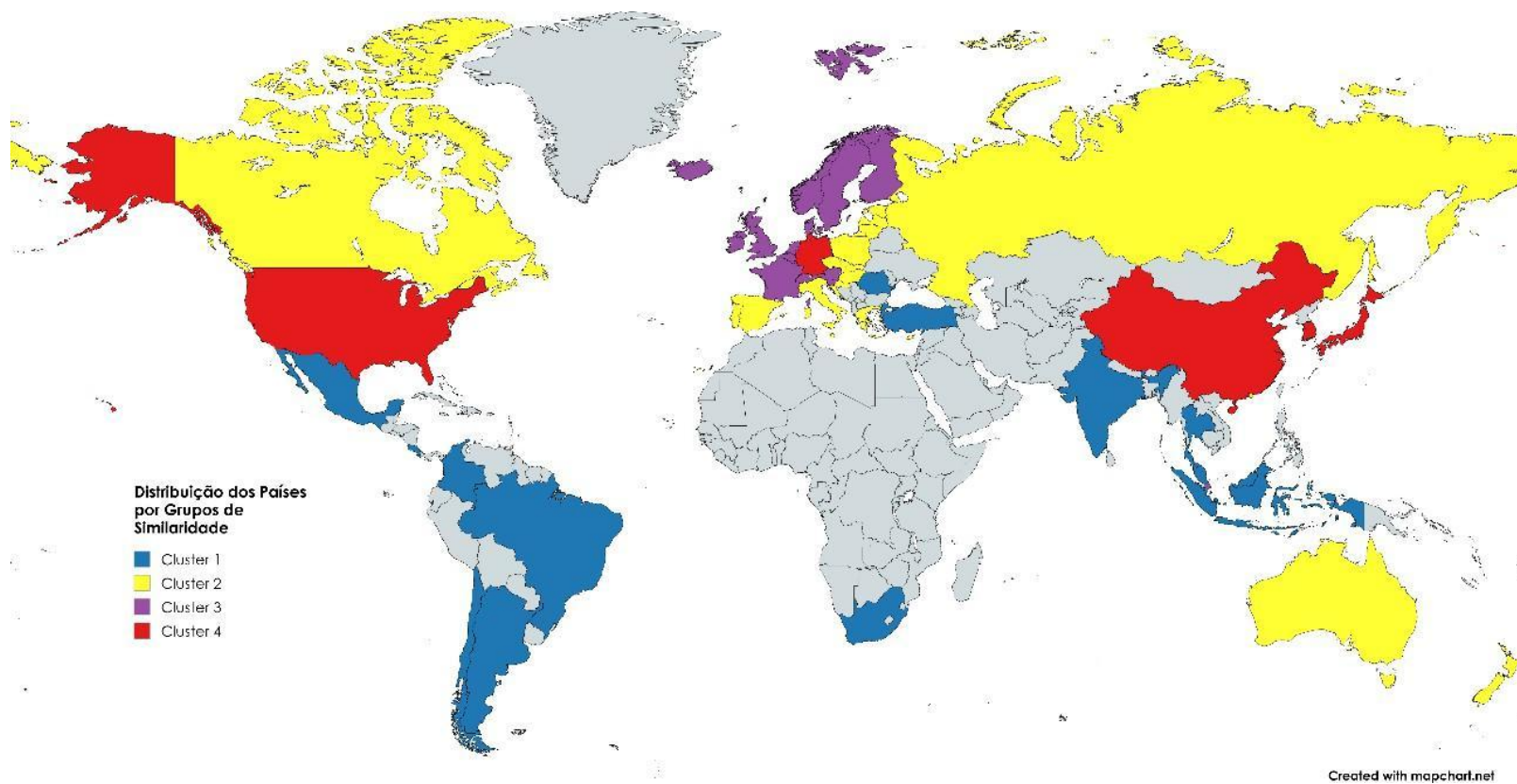
Cluster	Países
1	Malásia, Tailândia, Costa Rica, Colômbia, Brasil, Chile, Argentina, México, África do Sul, Turquia, Romênia, Índia e Indonésia
2	Austrália, Nova Zelândia, Espanha, Portugal, República Tcheca, Grécia, Eslováquia, Estônia, Lituânia, Letônia, Chipre, Malta, Polônia, Canadá, Hong Kong, Itália, Croácia, Hungria e Rússia
3	Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Eslovênia, Irlanda, Cingapura, Áustria, Suécia, França, Reino Unido, Suíça, Islândia, Finlândia, Dinamarca e Noruega
4	Alemanha, EUA, Coreia do Sul, Japão e China

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

A análise comparativa dos resultados revela a estabilidade da solução inicial obtida via método de Ward, com apenas duas alterações: a Rússia migra do grupo 1 para o grupo 2, enquanto Irlanda e Cingapura deslocam-se do grupo 2 para o grupo 3. Essas alterações, no entanto, não comprometem a consistência geral do agrupamento, reforçando a robustez e confiabilidade da segmentação proposta.

Em síntese, a partir da AF, foi possível identificar fatores que revelam como as variáveis estão inter-relacionadas, contribuindo para a compreensão dos condicionantes do processo de inovação ambiental. Ademais, a Análise de *Clusters* permitiu a formação de grupos de países com características similares, tornando possível relacionar experiências distintas deecoinovação e os diferentes graus de engajamento na mitigação dos riscos ambientais. Os resultados obtidos por meio das técnicas multivariadas fornecem indícios iniciais de como as dinâmicas macroeconômicas e institucionais podem influenciar o comportamento das empresas nos respectivos países e, reciprocamente, como práticas empresariais também refletem e reforçam tais características sistêmicas.

Figura 3 – Distribuição dos Países por Grupo de Similaridade (Método Não-Hierárquico)



Fonte: Elaborado no World Map

5.3 MODELO ECONOMÉTRICO

A partir da forma funcional principal (equação 5), realizaram-se estimações econométricas. As estatísticas descritivas e a matriz de correlação referentes às variáveis do modelo estão reportadas na Tabelas A.3 e A.4, respectivamente, no Apêndice. Em (1) considera-se como variável explicativa o log do total de patentes verdes da empresa, enquanto que em (2) utiliza-se a razão entre o número de patentes verdes e o total de patentes possuídas pela empresa. Antes, porém, da adoção de métodos mais robustos, a estimativa inicial via MQO é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do Modelo via Estimação por MQO

Variáveis	(1)	(2)
PatentesVerdes _{t-1}	0,028 (0,045)	-
PatentesVerdes _{t-2}	0,026 (0,044)	-
IntVerde _{t-1}	-	-0,015 (0,210)
IntVerde _{t-2}	-	-0,307 (0,212)
Lucro _{t-1}	-0,017*** (0,003)	-0,017*** (0,003)
Lucro _{t-2}	-0,044*** (0,003)	-0,044*** (0,003)
Tamanho _{t-1}	0,079*** (0,002)	0,079*** (0,002)
Qualidade _{t-1}	0,058 (0,148)	0,062 (0,147)
Internacionalização	0,061* (0,037)	0,060* (0,037)
Constante	0,783*** (0,018)	0,781*** (0,017)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Observa-se, com base na Tabela 2, que variáveis associadas às características intrínsecas das empresas, como lucro e tamanho (número de empregados), são estatisticamente significativas em ambos os modelos. Por outro lado, as variáveis relacionadas à atividade tecnológica verde,

como o número de patentes verdes e seu índice de qualidade, não apresentaram significância estatística na explicação da variável dependente.

Na ausência de efeitos não observados, a estimação pooled (MQO empilhado) é tecnicamente adequada. No entanto, na presença de heterogeneidade não observada, como políticas públicas específicas que beneficiam determinados setores industriais em detrimento de outros, o uso do MQO pode levar a estimativas viesadas e a erros de especificação severos. Como alternativa, procedeu-se à estimação com Modelos de Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA). Os resultados dessas especificações estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do Modelo via Estimação por EF e EA

Variáveis e Testes	(1)	(2)	(3)	(4)
PatentesVerdes _{t-1}	0,003 (0,013)	0,0007 (0,012)	-	-
PatentesVerdes _{t-2}	-0,001 (0,013)	-0,004 (0,011)	-	-
IntVerde _{t-1}	-	-	0,011 (0,058)	0,002 (0,057)
IntVerde _{t-2}	-	-	0,059 (0,057)	0,046 (0,056)
Lucro _{t-1}	-0,0003 (0,001)	-0,005*** (0,001)	-0,0003 (0,001)	-0,005*** (0,001)
Lucro _{t-2}	-0,003*** (0,001)	-0,008*** (0,001)	-0,003*** (0,001)	-0,008*** (0,001)
Tamanho _{t-1}	0,006** (0,003)	0,027*** (0,002)	0,006** (0,003)	0,027*** (0,002)
Qualidade _{t-1}	-0,009 (0,034)	-0,008 (0,034)	-0,009 (0,034)	-0,009 (0,034)
Internacionalização	-	0,015 (0,058)	-	0,015 (0,058)
Constante	0,729*** (0,022)	0,731*** (0,017)	0,729*** (0,022)	0,731*** (0,017)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714	113.714	113.714
Teste de Hausman	1579,42	1579,42	1607,09	1607,09

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados.

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Nos modelos (1) e (2), foi utilizada como variável explicativa o logaritmo do número de patentes verdes; já nos modelos (3) e (4), utilizou-se a razão entre patentes verdes e total de

patentes. As especificações (1) e (3) adotam efeitos fixos, enquanto (2) e (4) utilizam efeitos aleatórios.

A escolha entre os modelos de EF ou EA foi orientada pelo teste de Hausman¹⁴, que rejeitou a hipótese nula de consistência dos efeitos aleatórios, indicando que a especificação mais apropriada é a de efeitos fixos. Em termos gerais, os resultados da Tabela 3 corroboram aqueles obtidos via MQO, isto é, lucro e tamanho continuam sendo as variáveis mais relevantes, enquanto as *proxies* de inovação verde permanecem estatisticamente não significativas.

Portanto, com o objetivo de solucionar o problema da endogeneidade e garantir a eficiência e consistência dos estimadores, considera-se a utilização de um modelo por variáveis instrumentais (IV). Contudo, a aplicação deste método enfrenta um desafio relevante: a dificuldade de se encontrar um instrumento válido, isto é, que seja fortemente correlacionado com a variável endógena e, ao mesmo tempo, não correlacionado com o termo de erro da equação estrutural. Na ausência de tais instrumentos fortes, os estimadores de IV, mesmo sob especificações de efeitos fixos, podem apresentar viés considerável, mantendo, portanto, o problema de endogeneidade não resolvido. Diante disso, uma alternativa mais apropriada é o uso de modelos dinâmicos, como o estimador *GMM* (*Generalized Method of Moments*). O estimador *GMM* dinâmico permite contornar a endogeneidade ao empregar defasagens temporais das variáveis endógenas como instrumentos internos. Esse procedimento considera as variáveis endógenas como pré-determinadas, o que implica ausência de correlação entre os instrumentos e o erro do modelo contemporâneo. Assim, optou-se pela implementação do *GMM System*, cuja abordagem combinada (equações em diferenças e em níveis) melhora a eficiência dos estimadores, principalmente em amostras com grande número de indivíduos e curto horizonte temporal. Os resultados obtidos a partir dessa modelagem dinâmica estão apresentados na Tabela 4.

A Tabela 4 apresenta os resultados da estimação da equação (5) utilizando o método *GMM System*, sob duas especificações distintas para a variável explicativa de tecnologia verde. Na coluna (1), adota-se como *proxy* o logaritmo do total de patentes verdes da empresa, enquanto

¹⁴ Formalmente, utiliza-se o teste de Hausman para a seleção do modelo entre as opções de efeitos fixos ou aleatórios. Se a hipótese nula H_0 : efeitos aleatórios são consistentes for rejeitada, a conclusão é que o modelo de efeitos aleatórios não é adequado, sendo preferível empregar o modelo de efeitos fixos, e nesse caso, as inferências estatísticas serão condicionadas a ϵ_i na amostra.

que na coluna (2) é utilizado o índice de intensidade tecnológica verde, medido pela proporção de patentes verdes em relação ao total de patentes da firma.

Tabela 4 – Resultados do Modelo Básico via Estimação *GMM System*

Variáveis e Testes	(1)	(2)
PatentesVerdes _{t-1}	-0,231*** (0,045)	-
PatentesVerdes _{t-2}	-0,280*** (0,051)	-
IntVerde _{t-1}	-	-0,911*** (0,329)
IntVerde _{t-2}	-	-1,033*** (0,372)
Lucro _{t-1}	0,303*** (0,067)	0,313*** (0,070)
Lucro _{t-2}	0,216*** (0,052)	0,223*** (0,054)
Tamanho _{t-1}	-0,288*** (0,064)	-0,307*** (0,069)
Qualidade _{t-1}	-0,198*** (0,076)	-0,470*** (0,129)
Internacionalização	-1,229*** (0,119)	-1,241*** (0,124)
Constante	-1,242* (0,663)	-1,298* (0,688)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714
<i>Lags</i> instrumentalizados	5 e 6	5 e 6
Teste Hansen	0,199	0,208
Teste AR (1)	0,000	0,000
Teste AR (2)	-	-
Teste Portmanteau ¹⁵	0,2644	0,2672

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Os coeficientes estimados para ambas as medidas de esforço tecnológico verde apresentam sinais negativos e significativos, o que reforça a relevância das atividades de inovação

¹⁵ Por conta do curto período de tempo curto, por conta da disponibilidade de dados sobre a variável dependente, o teste AR(2) não é computado pelo comando `xtabond2`. Mas isso não inviabiliza a estimação. Alternativamente, utiliza-se o comando `xtdpdgm`, que computa o índice de autocorrelação serial dos erros geral por meio do comando `xtdpdserial`. A não-rejeição à H_0 deste teste garante que não há autocorrelação de segunda ordem e os resultados conseguidos com o primeiro comando, portanto, são válidos (Jochmans, 2018).

ambiental no sentido de mitigar os impactos das atividades produtivas sobre o meio ambiente. Conforme os resultados reportados, um aumento de 1% no número de patentes verdes nos períodos $t-1$ e $t-2$ está associado a uma redução no índice Trucost de 0,23% e 0,28%, respectivamente. De maneira ainda mais expressiva, um acréscimo de 1% na intensidade da produção tecnológica verde nos mesmos períodos resulta em uma queda de 0,91% e 1,03% no valor do índice Trucost. Esses resultados confirmam a hipótese *H1*, que postula uma relação negativa entre inovação tecnológica verde e impacto ambiental corporativo.

Tais resultados estão em consonância com a literatura especializada. Wang *et al.* (2012), ao analisarem 30 províncias da China entre 1997 e 2008, constataram que as patentes energéticas associadas a tecnologias livres de carbono contribuíram para a redução das emissões de CO₂. De forma semelhante, Tolliver *et al.* (2021) observam um crescimento substancial no número de registros de patentes verdes e na emissão de títulos verdes por empresas no Japão, China e Coreia do Sul, em resposta à crescente pressão por desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável. Oyeibanji *et al.* (2022) também evidenciam que as patentes verdes possuem incentivos econômicos relevantes e reduzem a exposição das empresas aos riscos ambientais, mostrando que um aumento de 1% nessas patentes pode resultar em uma queda de até 11% nas emissões de carbono das empresas. Por fim, Apergis e Aydin (2023), analisando empresas do setor energético dos EUA, no período de 1980 a 2015, identificam que um incremento de 10% em patentes verdes eleva a sustentabilidade ambiental entre 0,1% e 0,3%, no curto e no longo prazo, respectivamente.

Em relação à variável Lucro, os coeficientes estimados apresentam sinal positivo e estatisticamente significativo, indicando que aumentos na lucratividade das empresas estão associados a um aumento no índice Trucost, ou seja, a uma maior exposição a riscos ambientais. Especificamente, um crescimento de 1% no lucro em $t-1$ eleva o índice em 0,30%, e em $t-2$, 0,21%. Esses resultados contrastam com parte da literatura, como demonstrado em Moneva e Ortas (2010), que, ao utilizarem um modelo de mínimos quadrados parciais para avaliar 230 empresas europeias, observaram que um melhor desempenho ambiental tende a se traduzir em um desempenho financeiro mais sólido no futuro. No mesmo sentido, Jia e Li (2022), com dados de empresas australianas, identificaram que melhores práticas ambientais reduzem a probabilidade de dificuldades financeiras, especialmente entre empresas mais expostas a riscos econômicos.

Apesar dos resultados anteriormente apresentados, rejeita-se apenas parcialmente a hipótese *H2*. Tal recusa parcial decorre do fato de que pode existir uma relação positiva entre o desempenho ambiental, refletido, por exemplo, em menores níveis de emissões, e lucros mais elevados. Embora um melhor desempenho ambiental, mensurado por indicadores objetivos (como emissões) ou subjetivos (como percepções), possa gerar efeitos distintos sobre os lucros absolutos, evidências sugerem que, em termos gerais, um comportamento ambientalmente responsável tende a elevar os lucros absolutos das empresas. Essa aparente contradição é explicável, uma vez que o impacto das percepções ambientais no desempenho financeiro pode ser ambíguo e altamente subjetivo, como ressaltado por Earnhart (2018).

Esse resultado referente às defasagens da variável *Lucro* também se explica pelo período considerado nesta análise. O triênio em questão abrange, por exemplo, a turbulência no mercado de ações chinês entre 2015 e 2016, que desencadeou um efeito dominó com repercussões globais. Esse contexto provocou a contenção de investimentos por parte das empresas e intensificou a saída de recursos de investidores internacionais em países emergentes, retardando os avanços esperados com o Acordo de Paris (2015) (Peake; Elkins, 2016). Nessa conjuntura, os lucros empresariais tendem a ser retidos de forma cautelosa, o que desmobiliza investimentos em tecnologias verdes diante da incerteza econômica (Anger; Barker, 2015).

No que se refere às variáveis de controle, os resultados obtidos para Qualidade e Tamanho também revelam efeitos negativos e significativos sobre o índice Trucost. Esses resultados reforçam a importância tanto do conhecimento técnico gerado internamente pela empresa quanto da sua escala produtiva como mecanismos para reduzir os impactos ambientais. Conforme a Tabela 4, um aumento de 1% na qualidade das patentes verdes em $t-1$ está associado a uma redução de 0,2% a 0,47% no índice Trucost, a depender da especificação do modelo. De forma análoga, um aumento de 1% no número de empregados (*proxy* de tamanho) gera uma queda de aproximadamente 0,30% no índice Trucost, em ambas as perspectivas de análise.

Tais evidências estão alinhadas a Xiang e Geng (2024), que mostram que patentes verdes com maior amplitude de conhecimento produzem efeitos mais intensos na mitigação de resíduos e poluição industrial do que aquelas de menor alcance técnico. Da mesma forma, Portillo-Tarragone *et al.* (2019), ao analisarem empresas espanholas, evidenciam que empresas maiores apresentam maior capacidade de implementar e sustentar processos de ecoinovação, impactando positivamente seu desempenho ambiental.

Quanto à variável dummy de internacionalização, observa-se um efeito negativo e estatisticamente significativo sobre o índice Trucost, indicando que a presença de filiais e subsidiárias no exterior contribui para a redução do risco ambiental associado às atividades da empresa e de sua matriz. Esse resultado reforça a hipótese de que a inserção internacional pode funcionar como um catalisador da ecoinovação, ao facilitar o acesso a tecnologias mais limpas, práticas sustentáveis e canais colaborativos com atores globais. Nesse sentido, Peñasco *et al.* (2017) destacam que a cooperação internacional complementa as capacidades internas de inovação das empresas, sendo essencial em um contexto de produção e P&D cada vez mais transnacional. Carchano *et al.* (2024) corroboram esse achado ao indicar que quanto maior o grau de internacionalização, maior a probabilidade de uma empresa adotar práticas de ecoinovação e mitigar o risco ambiental associado à sua produção.

Corroborando tais evidências, Cheng *et al.* (2019) identificam que o investimento estrangeiro direto (IED) tem impacto negativo sobre as emissões per capita de carbono. De forma semelhante, Brohil e Suzuki (2023), com base em um painel de empresas do Sul da Ásia (1995–2018), mostram que o IED contribui positivamente para a sustentabilidade, por meio da difusão de tecnologias ambientais e eficientes no uso de recursos naturais. Assim, confirma-se a hipótese *H4*, que propunha a existência de uma relação positiva entre internacionalização e mitigação do risco ambiental das empresas.

Essa perspectiva de internacionalização estabelece a conexão com o conceito de SGI, mostrando que os SIs passam a ser compreendidos como redes de atores distribuídos em múltiplas escalas e inseridos em contextos institucionais que, ao mesmo tempo, podem favorecer ou restringir o surgimento e a difusão de inovações. Em alguns casos, tais redes se limitam a contextos territoriais específicos, mas, com frequência, dependem de estratégias e dinâmicas institucionais que coevoluem entre diferentes regiões do mundo. Assim, a combinação entre atores, redes e instituições nos SGIs apresenta alta diversidade (Edquist, 1997; Bergek *et al.*, 2008; Binz; Truffer, 2017). A caracterização de um SGI, em contraste com simples conexões translocais entre atores isolados, depende, em grande medida, da capacidade do sistema de se autocoordenar e sustentar suas atividades em escala transnacional (Heiberg; Truffer, 2022).

A validade dos resultados obtidos por *GMM System* é confirmada por testes estatísticos apropriados. O teste de autocorrelação de primeira ordem (AR(1)) rejeita a hipótese nula ao nível de 1% de significância, indicando consistência nas estimações. Já o teste AR(2), mesmo

não apresentado diretamente, não indicou presença de autocorrelação de segunda ordem, conforme também validado pelo teste de Portmanteau, que não rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação serial. Por fim, o teste de Hansen, aplicado às duas especificações, não rejeita a hipótese de validade dos instrumentos, dado que os valores obtidos estão no intervalo adequado ($0,05 < \text{Hansen} < 0,80$), assegurando a robustez dos instrumentos utilizados e a correção dos problemas de endogeneidade. Dessa forma, os resultados apresentados na Tabela 4 são considerados robustos e estatisticamente válidos, justificando a utilização do estimador *GMM System* para o presente estudo.

Com o objetivo de aprofundar a análise e testar a robustez dos achados, a próxima etapa consiste na estimação da equação (6), que visa verificar o efeito moderador do tamanho da empresa sobre o estoque acumulado de patentes verdes, além de observar como as demais variáveis se comportam sob essa nova modelagem. Os respectivos resultados são apresentados na Tabela 5.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 5, por sua vez, revela que a interação entre *Patentes Verdes* e *Tamanho da empresa* ($\text{PatenteVerde} \times \text{Tamanho}$) apresenta coeficiente negativo e estatisticamente significativo ao nível de 1%. Esse resultado indica que o efeito benéfico das patentes verdes na mitigação do risco ambiental, anteriormente evidenciado, é moderado negativamente pelo tamanho da empresa. Em outras palavras, o impacto positivo do esforço tecnológico verde sobre a redução do índice Trucost é atenuado à medida que a empresa cresce em dimensão.

Comparando-se os coeficientes estimados, verifica-se que sem o efeito moderador do tamanho, um aumento de 1% nas patentes verdes em $t-1$ e $t-2$, está associado à diminuição do índice Trucost em 0,23% e 0,28%, respectivamente. Contudo, com a inclusão do efeito moderador, os mesmos aumentos nas patentes verdes em $t-1$ e $t-2$ levam a uma redução menor: 0,09% e 0,13%, respectivamente. Esse resultado pode ser interpretado com base na literatura, que aponta para uma mudança no perfil das fontes de conhecimento utilizadas pelas empresas ao longo de seu crescimento. Segundo Martínez-Ros e Kunapatarawong (2019), com base em dados do Painel Espanhol de Inovação Tecnológica (2007–2011), à medida que empresas evoluem de pequenas para grandes, há uma transição do uso de conhecimento interno para o conhecimento externo, o que pode diluir a intensidade e a eficácia das inovações verdes endógenas. Assim, rejeita-se a hipótese *H3*, já que a existência de um efeito moderador do tamanho não potencializa, mas sim, gera uma ligeira redução sobre a relação entre inovação ambiental e desempenho ambiental da empresa.

Tabela 5 – Resultados do Modelo com o Efeito Moderador do Tamanho da Empresa na Produção Tecnológica Verde via Estimação *GMM System*

Variáveis e Testes	(1)	(2)
PatentesVerdes _{t-1}	-0,095*** (0,028)	-
PatentesVerdes _{t-2}	-0,131*** (0,033)	-
IntVerde _{t-1}	-	-0,387*** (0,164)
IntVerde _{t-2}	-	-0,385*** (0,166)
Lucro _{t-1}	0,268*** (0,065)	0,269*** (0,065)
Lucro _{t-2}	0,184*** (0,049)	0,184*** (0,049)
Tamanho _{t-1}	-0,254*** (0,062)	-0,256*** (0,062)
Qualidade _{t-1}	-0,151** (0,060)	-0,194*** (0,069)
PatenteVerde*Tamanho	-0,062*** (0,011)	-0,093*** (0,016)
Internacionalização	-1,159*** (0,113)	-1,157*** (0,112)
Constante	-0,859 (0,631)	-0,823 (0,617)
<i>Dummy</i> de ano	Sim	Sim
<i>Dummies</i> de setor	Sim	Sim
Observações	113.714	113.714
<i>Lags</i> instrumentalizados	5 e 6	5 e 6
Teste Hansen	0,182	0,203
Teste AR (1)	0,000	0,000
Teste AR (2)	-	-
Teste Portmanteau ¹⁶	0,2641	0,2652

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Notas: Erros-padrão robustos entre parênteses. *** p<0,01; ** p<0,05; * p<0,10.

Importante destacar que, mesmo com a inclusão do termo de interação, as demais variáveis do modelo preservam a direção e a significância dos coeficientes estimados na Tabela 4, o que evidencia a robustez e a estabilidade dos resultados. No que tange aos testes de validade do

¹⁶ Por conta do período de tempo amostral curto e por conta da disponibilidade de dados sobre a variável dependente, o teste AR(2) não é computado pelo comando `xtabond2`. Mas isso não inviabiliza a estimação. Alternativamente, utiliza-se o comando `xtdpdgm`, que computa o índice de autocorrelação serial dos erros geral por meio do comando `xtdpdserial`. A não-rejeição à H_0 deste teste garante que não há autocorrelação de segunda ordem e os resultados conseguidos no primeiro caso, portanto, são válidos (Jochmans, 2018).

modelo, os resultados da Tabela 5 seguem a mesma lógica das estimativas anteriores. O teste AR(1) rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação serial de primeira ordem, ao nível de 1% de significância. O teste AR(2), embora não relatado diretamente, não indica problemas de autocorrelação de segunda ordem, como reforçado pelo teste Portmanteau, que não rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação em qualquer ordem. O teste de Hansen, por sua vez, não rejeita a hipótese de validade dos instrumentos (valores dentro do intervalo $0,05 < \text{Hansen} < 0,80$), garantindo a adequação do estimador *GMM System* ao modelo.

Portanto, os resultados obtidos nesta etapa reforçam as conclusões anteriores: o índice de risco ambiental das empresas está fortemente relacionado às suas características estruturais e estratégias operacionais, especialmente no que se refere ao esforço em inovação verde, lucratividade, porte e grau de internacionalização. Ressalta-se que, embora o tamanho modere o impacto das patentes verdes sobre o desempenho ambiental, essa moderação não elimina o efeito benéfico, que permanece estatisticamente significativo, ainda que de menor magnitude.

Por fim, os resultados deste capítulo consolidam a articulação entre as esferas macro e micro do processo de mitigação de riscos ambientais. No nível macroeconômico, países com sistemas de inovação mais maduros e bem estruturados demonstram maior capacidade para lidar com os desafios ambientais globais. No nível microeconômico, empresas tecnologicamente orientadas e internacionalizadas, sujeitas a um maior rigor regulatório e pressionadas por padrões globais, destacam-se como protagonistas na redução do impacto ambiental das atividades produtivas, como refletido na diminuição do índice Trucost. A seguir, visualiza-se o Quadro 5 com um resumo da validação empírica de cada hipótese.

Quadro 5 – Resumo dos Testes das Hipóteses Pesquisadas na Tese

Hipótese	Descrição da Hipótese	Resultado	Justificativa com base nos resultados
H1	O estoque prévio de patentes verdes da empresa contribui para a redução do risco ambiental, mensurado pelo índice Trucost.	Confirmada	Os coeficientes das patentes verdes (em t-1 e t-2) foram negativos e significativos nos modelos <i>GMM System</i> , indicando que maior acúmulo de patentes verdes está associado à redução do índice Trucost.
H2	O desempenho financeiro da empresa exerce influência significativa na diminuição do seu respectivo índice Trucost.	Rejeição Parcial	O lucro (em t-1 e t-2) apresentou coeficientes positivos e significativos, ou seja, aumentos no lucro estão associados a elevação no índice Trucost, indicando maior risco ambiental, o que contradiz a hipótese proposta.
H3	O tamanho da empresa modera a relação entre o estoque de patentes verdes e o índice Trucost, potencializando a redução do risco ambiental.	Rejeitada	A variável de interação PatenteVerde*Tamanho foi negativa e significativa, mostrando que o tamanho da empresa modera a relação entre inovação verde e risco ambiental, reduzindo o efeito direto, mas ainda sim contribuindo para a mitigação ambiental.
H4	A internacionalização da empresa, por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, está associada a maior desempenho ecoinovador e a menores pontuações no índice Trucost.	Confirmada	A dummy de internacionalização apresentou sinal negativo e significância estatística, indicando que empresas com atuação internacional possuem menor risco ambiental. Isso reforça a hipótese de que a internacionalização favorece a adoção de práticas ecoinovadoras.

Fonte: Elaboração própria.

6 CONCLUSÃO

Em um cenário global cada vez mais pressionado por questões climáticas, escassez de recursos naturais e expectativas crescentes de stakeholders em relação à responsabilidade socioambiental das corporações, compreender a relação entre inovação sustentável e desempenho ambiental torna-se não apenas relevante, mas essencial para o futuro da gestão empresarial. Partindo do pressuposto de que a inovação orientada à sustentabilidade pode ser uma alavanca estratégica para a redução de custos ambientais e riscos operacionais, buscou-se compreender como diferentes organizações vêm se comportando e os fatores condicionados a minimizar sua pegada ecológica.

Esta tese, portanto, investigou a complexa relação entre ecoinovação e a gestão dos riscos ambientais nas empresas, com ênfase no papel desempenhado por essas organizações nos processos de inovação ambiental em seus respectivos países, no triênio 2016-2018. A pesquisa partiu do pressuposto de que empresas inovadoras em termos ambientais são mais eficazes na redução de seus impactos ecológicos mensuráveis, particularmente aqueles quantificados por metodologias robustas como o índice Trucost, que converte danos ambientais em valores monetários. A partir de uma abordagem metodológica mista, composta por análise das literaturas teórica e empírica e aplicação de técnicas multivariadas e análises econométricas, onde foram analisadas empresas de diversos portes atuantes em setores de alto impacto ambiental, tais como energia, manufatura, mineração e agronegócio.

Além disso, esta tese evidenciou que o índice Trucost pode ser uma ferramenta poderosa não apenas para a mensuração do desempenho ambiental, mas também para a gestão de riscos e a tomada de decisão estratégica. Ao traduzir externalidades ambientais em custos reais, o índice oferece uma base concreta para avaliação de passivos ambientais, planejamento de investimentos em inovação e comunicação transparente com investidores e demais stakeholders.

Para a validação das hipóteses propostas na tese, recorreu-se à integração de duas bases de dados robustas, Orbis e PATSTAT. A principal vantagem metodológica dessa combinação reside na possibilidade de identificação única das empresas, permitindo o vínculo direto entre informações de patentes, especialmente as verdes, e dados financeiros extraídos dos balanços contidos na base Orbis Europe do Bureau van Dijk, a qual cobre cerca de 95% da capitalização de mercado global. As repercussões da ecoinovação foram mensuradas com base em registros de patentes, classificados conforme o Green Inventory da WIPO, de acordo com a Classificação

Internacional de Patentes (IPC). Ademais, a escolha do período 2016–2018 se justifica pela sua relevância no cenário pós-Acordo de Paris (2015), marcado por um esforço internacional mais coordenado no combate às mudanças climáticas — sucedendo iniciativas como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (1992) e o Protocolo de Kyoto (1997).

A análise empírica foi conduzida em duas etapas complementares. Inicialmente, no âmbito macro, técnicas multivariadas revelaram, via análise fatorial, três eixos centrais: Emprego e Qualificação, Capacidade Inovativa Ambiental e Estratégias Ambientais. Os fatores foram assim nomeados, levando em conta as variáveis consideradas na análise, que tiveram o maior peso para a composição dos mesmos. Em seguida, a análise de agrupamento (cluster) apontou a formação de quatro grupos de países com características territoriais e socioeconômicas convergentes. Os resultados evidenciaram o protagonismo dos países nórdicos e das maiores economias globais, como Estados Unidos, China, Japão e Alemanha, no desenvolvimento de estratégias deecoinovação e na mitigação de impactos ambientais, corroborando a ideia de que um SI mais maduro e robusto é parte essencial nesse processo.

Na segunda etapa, de caráter microeconômico, a investigação concentrou-se na análise de dados em painel no nível das empresas, por meio da estimação do modelo GMM System. A escolha desse método deve-se à sua capacidade de controlar a endogeneidade por simultaneidade, ao utilizar defasagens temporais como instrumentos válidos para variáveis potencialmente endógenas.

Os resultados obtidos por esse modelo demonstraram de forma robusta que variáveis intrínsecas às empresas influenciam diretamente a magnitude do índice Trucost. Destaca-se, em primeiro lugar, o impacto das patentes verdes, cujo estoque prévio se mostrou negativamente relacionado ao risco ambiental, confirmando a eficácia da ecoinovação como ferramenta de mitigação, ratificando a hipótese H1. O lucro, por sua vez, apresentou sinal positivo e significativo, sugerindo que melhores desempenhos financeiros, em alguns casos, podem estar associados a maior risco ambiental, um resultado que contraria parte da literatura e confirma apenas parcialmente a hipótese H2.

Adicionalmente, a variável de internacionalização, captada por meio da presença de filiais ou subsidiárias no exterior, revelou um efeito negativo sobre o índice Trucost, indicando que a exposição a diferentes regimes regulatórios pode impulsionar comportamentos corporativos

mais sustentáveis, corroborando o enunciado da hipótese H4. No que tange às variáveis de controle restantes, os resultados obtidos para Qualidade e Tamanho também revelam efeitos negativos e significativos sobre o índice Trucost. Esses resultados reforçam a importância tanto do conhecimento técnico gerado internamente pela empresa quanto da sua escala produtiva como mecanismos para reduzir os impactos ambientais. No que se refere ao tamanho das empresas, os resultados apontaram também para um efeito moderador, isto é, empresas maiores tendem a reduzir parcialmente a intensidade do impacto positivo das patentes verdes, possivelmente em função da mudança na origem das fontes de conhecimento utilizadas, deslocando-se de internos para externos à medida que a empresa cresce. Ainda assim, a relevância das inovações verdes não é anulada nesse contexto, apenas diminuída parcialmente. Tal afirmativa remete ao que foi expresso na hipótese H3, levando a sua respectiva rejeição.

Os resultados obtidos, isto posto, demonstraram de maneira consistente que há uma relação positiva e significativa entre o grau de ecoinovação e a redução do índice Trucost nas empresas analisadas. Pode-se depreender, dessa forma, que organizações que adotam de forma estruturada inovações ambientais — seja em produtos, processos, modelos de negócio ou práticas de gestão — apresentam menor custo ambiental agregado ao longo do tempo, quando comparadas àquelas com estratégias mais conservadoras ou com ações pontuais e desarticuladas.

Com base nos resultados, esta tese oferece importantes contribuições para a formulação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento dos Sistemas de Inovação Verde (SGIs). Destaca-se a necessidade de promover políticas colaborativas que integrem empresas, governos e instituições de pesquisa, incentivando o compartilhamento de conhecimento e a utilização de tecnologias limpas. Tais estratégias contribuem não apenas para a redução dos riscos ambientais, como também reforçam a resiliência das empresas em mercados cada vez mais orientados pela sustentabilidade.

Para os formuladores de políticas públicas, os resultados indicam que instrumentos regulatórios e fiscais que incentivam a inovação ambiental, como créditos verdes, subsídios à P&D verde e penalizações por externalidades, são eficazes para catalisar mudanças estruturais no setor produtivo. Além disso, o uso de métricas como o índice Trucost pode ser incorporado a programas de avaliação ambiental corporativa e certificações ESG, estimulando maior transparência e responsabilização ambiental no setor privado.

Para investidores e analistas financeiros, destaca-se que empresas com altos níveis deecoinovação e baixo índice Trucost são menos expostas a riscos ambientais regulatórios, reputacionais e operacionais, representando assim opções mais resilientes e sustentáveis no longo prazo. Isso reforça a importância da integração de métricas ambientais monetizadas na avaliação de portfólios e na análise de risco de ativos financeiros.

Como toda pesquisa, esta também apresenta limitações. A principal delas refere-se à indisponibilidade de dados do índice Trucost após 2018, o que impede uma avaliação mais atualizada dos efeitos das políticas climáticas recentes. Estudos futuros poderão avançar nesse aspecto ao incorporar séries temporais mais recentes, bem como explorar recortes setoriais e regionais mais específicos, ampliando a compreensão da eficácia das estratégias de ecoinovação em contextos distintos, recomendando-se expandir a análise para diferentes contextos culturais e institucionais, avaliando como fatores externos, como legislação ambiental, pressão social e maturidade do mercado de capitais, influenciam a adoção da ecoinovação e a gestão baseada em métricas ambientais monetizadas. Estudos comparativos internacionais também poderiam oferecer insights relevantes sobre a difusão de boas práticas e barreiras estruturais.

Conclui-se, portanto, que a ecoinovação é uma estratégia efetiva de mitigação ambiental, e que, quando associada a ferramentas robustas de mensuração como o índice Trucost, permite que empresas não apenas reduzam seus impactos ambientais, mas também aprimorem sua resiliência organizacional e capacidade de criação de valor sustentável. Esta tese reafirma a urgência de transformar a sustentabilidade de um discurso periférico para uma prática central na gestão contemporânea, e oferece caminhos concretos para que isso ocorra com base em evidências, ferramentas e inovação. Destarte, a ecoinovação não apenas representaria uma resposta às pressões regulatórias e de mercado, mas uma estratégia efetiva de mitigação de impactos ambientais mensuráveis, contribuindo para uma atuação empresarial mais responsável, eficiente e alinhada aos princípios da sustentabilidade no século XXI.

REFERÊNCIAS

- ABDURAZZAKOV, O.; ILLÉS, B. C.; JAFAROV, N.; ALIYEV, K. The impact of technology transfer on innovation. **Polish Journal of Management Studies**, 21(2), 9-23, 2020.
- ABEDI, S.; MOEENIAN, M. Investigating the effects of environmental patents and climate change mitigation technologies on sustainable economic growth in the Middle East. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, 16(3), 910-920, 2021.
- ABOELMAGED, M. The drivers of sustainable manufacturing practices in Egyptian SMEs and their impact on competitive capabilities: A PLS-SEM model. **Journal of Cleaner Production**, 175, 207–221, 2018.
- ABRAHAMSEN, F. E.; RUUD, S. G.; GEBREMEDHIN, A. Assessing efficiency and environmental performance of a nearly zero-energy university building's energy system in Norway. **Buildings**, 13(1), 169, 2023.
- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURSZTYN, L.; HEMOUS, D. The Environment and Directed Technical Change, **American Economic Review**, 102(1), p. 131-166, 2012.
- ACEMOGLU, D.; AKCIGIT, U.; HANLEY, D.; KERR, W. Transition to clean technology. **Journal of Political Economy**, 124(1), 52–104, 2016.
- ADOMAKO, S.; OPOKU, R. A.; FRIMPONG, K. The moderating influence of competitive intensity on the relationship between CEOs' regulatory foci and SME internationalization. **Journal of International Management**, 23(3), 268–278, 2017.
- AFSAR, B.; MAQSOOM, A.; SHAHJEHAN, A.; AFRIDI, S. A.; NAWAZ, A.; FAZLIANI, H. Responsible leadership and employee's proenvironmental behavior: The role of organizational commitment, green shared vision, and internal environmental locus of control. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 27(1), 297–312, 2020.
- AHMADOVA, G.; HURTADO-TORRES, N. E.; ARAGÓN-CORREA, J. A. Environmental sustainability and internationalization of the European manufacturing industry. In: Hurtado-Torres, N. E.; Bermudez-Edo, M. C.; Ortiz-de Mandojana, N.; Aragón-Correa, J. A.: **Challenges of the European Firms: Digitalization, Sustainability, and Internationalization**, Editorial Kit-Book, Granada: Spain. 2021.
- AIELLO, F.; CARDAMONE, P.; MANNARINO, L.; PUPO, V. Green patenting and corporate social responsibility: Does family involvement in business matter? **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 28(4), 1386–1396, 2021.
- ALBINO, V.; DANGELICO, R. M.; PONTRANDOLFO, P. Do inter-organizational collaborations enhance a firm's environmental performance? A study of the largest US companies. **Journal of Cleaner Production**, 37, 304–315, 2012.
- ALMEIDA, F.; WASIM, J. Eco-innovation and sustainable business performance: perspectives of SMEs in Portugal and the UK. **Society and Business Review**, 18(1), 28–50, 2023.
- ALOISE, P. G.; NODARI, C. H.; DORION, E. C. H. Ecoinovações: um ensaio teórico sobre conceituação, determinantes e achados na literatura. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 17, n. 2, p. 278-289, abr./jun. 2016.

- ALOLA, A. A.; RAHKO, J. The effects of environmental innovations and international technology spillovers on industrial and energy sector emissions—Evidence from small open economies. **Technological Forecasting and Social Change**, 198, 123024, 2024.
- AMENDOLAGINE, V.; HANSEN, U. E.; LEMA, R.; RABELLOTTI, R.; RIBAUDO, D. Do green foreign direct investments increase the innovative capability of MNE subsidiaries? **World Development**, 170, 106342, 2023.
- ANDERSEN, M. M. **Eco-innovation indicators**. Copenhagen: European Environment Agency, 2006.
- . Eco-innovation—towards a taxonomy and a theory. In *25th celebration DRUID conference*, 2008.
- APERGIS, N.; AYDIN, T. D. M. Renewable and non-renewable energy consumption, energy technology investment, green technological innovation, and environmental sustainability in the United States: testing the EKC and LCC hypotheses with novel Fourier estimation. **Environmental Science Pollution Res** 30, 125570–125584, 2023.
- ARFAOUI, N. Eco-innovation and regulatory push/pull effect in the case of REACH regulation: empirical evidence based on survey data. **Applied Economics**, 50(14), 1536–1554, 2018.
- ARFI, W. BEM; HIKKEROVA, L.; SAHUT, J.-M. External knowledge sources, green innovation and performance. **Technological Forecasting and Social Change**, 129, 210–220, 2018.
- AROURI, M.; EL GHOUL, S.; GOMES, M. Greenwashing and product market competition. **Finance Research Letters**, 42, 101927, 2021.
- ARRANZ, N.; ARROYABE, M.; LI, J.; FERNANDEZ DE ARROYABE, J. C. Innovation as a driver of eco-innovation in the firm: An approach from the dynamic capabilities theory. **Business Strategy and the Environment**, 29(3), 1494–1503, 2020.
- ASWANI, J.; RAGHUNANDAN, A.; RAJGOPAL, S. Are carbon emissions associated with stock returns? **Review of Finance**, 28(1), 75–106, 2024.
- ATHUKORALA, P. C.; KOHPAIBOON, A. Globalization of R&D by US-based multinational enterprises. **Research Policy**, 39(10), 1335–1347, 2010.
- AUCI, S.; BARBIERI, N.; COROMALDI, M.; VIGNANI, D. Innovation for climate change adaptation and technical efficiency: an empirical analysis in the European agricultural sector. **Economia Política**, 38, 597–623, 2021.
- AYARI, N.; BLAZSEK, S.; MENDI, P. Renewable energy innovations in Europe: a dynamic panel data approach. **Applied Economics**, 44(24), 3135–3147, 2011.
- AZAM, A. How Environmental Policy Stringency, Foreign Direct Investment, and Eco-Innovation Supplement the Energy Transition: New Evidence from NICs. **Sustainability**, 16(7), 3033, 2024.
- AZAR, J.; DURO, M.; KADACH, I.; ORMAZABAL, G. The big three and corporate carbon emissions around the world. **Journal of Financial Economics**, 142(2), 674–696, 2021.

- BAELEN, N. Mitigation vs Adaptation: which one benefits the most for firms? **Sustainability**, 2018.
- BAGHERI, M.; MITCHELMORE, S.; BAMIAZI, V.; NIKOLOPOULOS, K. Internationalization orientation in SMEs: The mediating role of technological innovation. **Journal of International Management**, 25(1), 121–139, 2019.
- BAI, X.; COELHO, A.; CANCELA, B. L. The relationship between green supply chain and green innovation based on the push of green strategic alliances. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 31(2), 1026–1041, 2024.
- BARBIERI, N.; MARZUCCHI, A.; RIZZO, U. Knowledge sources and impacts on subsequent inventions: Do green technologies differ from non-green ones? **Research Policy**, 49(2), 103901, 2020.
- BARBOSA, M. W.; LADEIRA, M. B.; OLIVEIRA, M. P. V.; OLIVEIRA, V. M.; SOUSA, P. R. The effects of internationalization orientation in the sustainable performance of the agri-food industry through environmental collaboration: An emerging economy perspective. **Sustainable Production and Consumption**, 31, 407–418, 2022.
- BARROS, L. A. B. C.; CASTRO, F. H.; DI MICELI DA SILVEIRA, A.; BERGMANN, D. R. **Endogeneity in Corporate Finance Empirical Research** (In Portuguese). Available at SSRN 1593187. 2010.
- BAUM, C. F.; SCHAFFER, M. E.; STILLMAN, S. Instrumental variables and GMM: Estimation and testing. **The Stata Journal**, 3(1), 1–31, 2003.
- BELL, M. Continuing industrialisation, climate change and international technology transfer (Brighton: **Science Policy Research Unit**, Sussex University). 1990.
- BEN-AMAR, W.; GOMES, M.; KHURSHEED, H.; MARSAT, S. Climate change exposure and internal carbon pricing adoption. **Business Strategy and the Environment**, 31(7), 2854–2870, 2022.
- BERGEK, A.; HEKKERT, M.; JACOBSSON, S.; MARKARD, J.; SANDEN, B.; TRUFFER, B. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. **Environmental Innovation and Societal Transitions** 16, 51–64, 2015.
- BERGEK, A.; JACOBSSON, S.; CARLSSON, B.; LINDMARK, S.; RICKNE, A. Analyzing the functional 23 dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy** 37 (3), 407–429, 2008.
- BIÇAKCIOGLU-PEYNIRCI, N. Internationalization of emerging market multinational enterprises: a systematic literature review and future directions. **Journal of Business Research**, 164, 114002, 2023.
- BINZ, C.; TRUFFER, B. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. **Research Policy**, 46(7), 1284–1298, 2017.
- BINZ, C.; TRUFFER, B. The governance of global innovation systems: Putting knowledge in context. **Knowledge for governance**, 397–414, 2020.
- BINZ, C.; TRUFFER, B.; COENEN, L. Path creation as a process of resource alignment and anchoring: industry formation for on-site water recycling in Beijing. **Economy Geographic**. 92 (2), 172–200, 2016.

- BINZ, C.; TRUFFER, B.; COENEN, L. Why space matters in technological innovation systems – The 2 global knowledge dynamics of membrane bioreactor technology. *Research Policy* 43 (1), 138-155, 2014.
- BOERMANS, M. A.; ROELFSEMA, H. Small firm internationalization, innovation, and growth. *International Economics and Economic Policy*, 13(2), 283–296, 2016.
- BORENSTEIN, S. **Study reveals how much carbon damage would cost corporations if they paid for their emissions.** AP News, Nova York, 2023. Disponível em: [https://apnews.com/article/climate-change-carbon-corporations-damage-pollution-9cb9e7c9feb2a68cb6dc0ae99c5e943a]. Acesso em 09/05/2025.
- BORGHESI, S.; CAINELLI, G.; MAZZANTI, M. Linking emission trading to environmental innovation: Evidence from the Italian manufacturing industry. *Research Policy*, 44, 669–683, 2015.
- BORSATTO, J. M. L. S.; AMUI, L. B. L. Green innovation: unfolding the relation with environmental regulations and competitiveness. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 445–454, 2019.
- BOSCHMA, R. Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies* 39, 61–74, 2005.
- BOSE, S.; MINNICK, K.; SHAMS, S. Does carbon risk matter for corporate acquisition decisions? *Journal of Corporate Finance*, 70, 102058, 2021.
- BOSSLE, M. B.; DUTRA DE BARCELLOS, M.; VIEIRA, L. M.; SAUVÉE, L. The drivers for adoption of eco-innovation. *Journal of Cleaner Production*, 113, 861–872, 2016.
- BOUTRY, O.; NADEL, S. Institutional drivers of environmental innovation: Evidence from French industrial firms. *Journal of Innovation Economics & Management*, 34(1), 135–167, 2021.
- BRANUM, K. A.; CEPEDA, L. E.; HOWSMON, C.; ZHUPLEV, A. Drivers, trends, and outlook in sustainable development: Comparing best practices in Northern Europe (Denmark, Finland, Norway, Sweden) and California. *Principles and strategies to balance ethical, social and environmental concerns with corporate requirements*, 119-160, 2013.
- BROHI, A. A.; SUZUKI, Y. Does green innovation moderate between FDI and environmental sustainability? Empirical evidence from South Asia. *Plos One*, 18(11), 2023.
- BRULHART, F.; GHERRA, S.; QUELIN, B. V. Do stakeholder orientation and environmental proactivity impact firm profitability? *Journal of Business Ethics*, 158, 25–46, 2019.
- BURZYŃSKA, D.; JABŁOŃSKA, M.; DZIUBA, R. Opportunities and conditions for the development of green entrepreneurship in the polish textile sector. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2 128, 13–19, 2018.
- BUSCH, T.; BASSEN, A.; LEWANDOWSKI, S.; SUMP, F. Corporate carbon and financial performance revisited. *Organization & Environment*, 35(1), 154–171, 2022.
- CAETANO, R. V.; MARQUES, A. C.; AFONSO, T. L. How Can Foreign Direct Investment Trigger Green Growth? The Mediating and Moderating Role of the Energy Transition, *Economies*, 10: 199, 2022.

- CAINELLI, G.; MAZZANTI, M.; MONTRESOR, S. Environmental innovations, local networks and internationalization. **Industry and Innovation**, 19(8), 697-734, 2012.
- CANCELA, B. L.; COELHO, A.; DUARTE NEVES, M. E. Greening the business: How ambidextrous companies succeed in green innovation through to sustainable development. **Business Strategy and the Environment**, 32, 3073–3087, 2022.
- CANTWELL, J.; IAMMARINO, S. Multinational corporations and the location of technological innovation in the UK regions. **Regional Studies**, 34(4), 317-332, 2000.
- CARCHANO, M.; CARRASCO, I.; GONZÁLEZ, Á.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J. Analysis the nexus between internationalization and financial performance in wine industry: The effect of proactive environmental strategy and eco-innovation. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 31(6), 5954–5970, 2024.
- CARLSSON, B., STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. 18 **Journal of Evolutionary Economics** 1 (2), 93-118, 1991.
- CECERE, G.; CORROCHER, N.; MANCUSI, M. L. Financial constraints and public funding for eco-innovation: Empirical evidence on European SMEs, **Working Paper, No. 46**, Università Cattolica del Sacro Cuore, Dipartimento di Economia e Finanza (DISCE), Milano, 2017.
- CHAMINADE, C.; LUNDVALL, B.-Å.; HANEEF, S. **Advanced introduction to national innovation systems**. Edward Elgar Publishing. 2018.
- CHAPARRO-BANEGAS, N.; MAS-TUR, A.; PARK, H. W.; ROIG-TIERNO, N. Factors driving national eco-innovation: New routes to sustainable development. **Sustainable Development**, 31(4), 2711–2725, 2023.
- CHEN, C. The impact of foreign direct investment on urban-rural income inequality: Evidence from China. **China Agricultural Economic Review**, 8(3), 480-497, 2016.
- CHEN, L.; GUO, F.; HUANG, L. Impact of foreign direct investment on green innovation: Evidence from China's provincial panel data. **Sustainability**, 15(4), 3318, 2023.
- CHEN, P. C.; CHAN, W. C.; HUNG, S. W.; HSIANG, Y. J.; WU, L. C. Do R&D expenditures matter more than those of marketing to company performance? The moderating role of industry characteristics and investment density. **Technology Analysis & Strategic Management**, 28(2), 205-216, 2016.
- CHEN, X.; XIE, H.; ZHOU, H. Incremental versus radical innovation and sustainable competitive advantage: A moderated mediation model. **Sustainability**, 16(11), 4545, 2024.
- CHEN, W.; YAO, L. Evaluating the carbon total factor productivity of China: Based on Cobb-Douglas production function. **Environmental Science and Pollution Research**, 31, 13722–13738, 2024.
- CHEN, Y. S.; CHANG, C. H.; LIN, Y. H. The determinants of green radical and incremental innovation performance: Green shared vision, green absorptive capacity, and green organizational ambidexterity. **Sustainability**, 6, 7787–7806, 2014.
- CHEN, Y. S.; LIN, S. H.; LIN, C. Y.; HUNG, S. T.; CHANG, C. W.; HUANG, C. W. Improving green product development performance from green vision and organizational

culture perspectives. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 27(1), 222–231, 2020.

CHEN, Z.; ZHANG, X.; CHEN, F. Do carbon emission trading schemes stimulate green innovation in enterprises? Evidence from China. **Technological Forecasting and Social Change**, 168, 120744, 2021.

CHENG, C.; REN, X.; WANG, Z.; YAN, C. Heterogeneous impacts of renewable energy and environmental patents on CO₂ emission-Evidence from the BRIICS. **Science of the total environment**, 668, 1328-1338, 2019.

CHIARVESIO, M.; DE MARCHI, V.; MARIA, E. D. Environmental innovations and internationalization: Theory and practices. **Business Strategy and the Environment**, 24(8), 790–801, 2015.

CHISHTI, M. Z.; SINHA, A. Do the shocks in technological and financial innovation influence the environmental quality? Evidence from BRICS economies. **Technology in Society**, 68, 101828, 2022.

CHISTOV, V.; CARRILLO-HERMOSILLA, J.; ARAMBURU, N. Open eco-innovation. Aligning cooperation and external knowledge with the levels of eco-innovation radicalness. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, 9(2), 100049, 2023.

CHO, A.; PARK, S. Exploring the global innovation systems perspective by applying openness index to national systems of innovation. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, 8(4), 181, 2022.

CHOI, Y.; BONE, C.; ZHANG, N. Sustainable policies and strategies in Asia: challenges for green growth. **Technological Forecast Society Change**, 134-137, 2016.

CHRISTENSEN, H. B.; HAIL, L.; LEUZ, C. Mandatory CSR and sustainability reporting: Economic analysis and literature review. **Review of Accounting Studies**, 26(3), 1176–1248, 2021.

CILLO, V.; PETRUZZELLI, A. M.; ARDITO, L.; DEL GIUDICE, M. Understanding sustainable innovation: A systematic literature review. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 26(5), 1012–1025, 2019.

COBB, C. W.; DOUGLAS, P. H. A theory of production. **The American Economic Review**, 18, 139-165, 1928.

COLOMBELLI, A.; KRAFFT, J.; QUATRARO, F. Firms' growth, green gazelles and eco-innovation: Evidence from a sample of European firms. **Small Business Economics**, 56, 1721–1738, 2021.

COLTHER, C.; DOUSSOULIN, J. P. Recent Applications and Developments of the Cobb–Douglas Function: From Productivity to Sustainability. **Journal of the Knowledge Economy**, 1–21, 2024.

CONSTANTIN, A.-M.; VOICA, O.-M.; SILVESTRU, C.-I.; ICOCIU, V.-C.; SILVESTRU, R.-C.; GRECU, A. The Efficiency of Resource Utilization in EU-28 Countries through Eco-Innovation and Digital Inclusion. **Sustainability**, 15(24), 16924, 2023.

CONSTANTINI, V.; CRESPI, F.; CURCI, Y. **Biopat: an investigation tool for analysis of industry evolution, technological paths and policy impact in the biofuels sector**. In: V.

- CONSTANTINI, M. MAZZANTI. The Dynamics of Environmental and Economics Systems: Innovation, Environment Policy and Competitiveness. Springer: Dordrecht, cap. 11, p. 203-226, 2013.
- CONTRERAS, J. L.; HALL, B. H.; HELMERS, C. Green technology diffusion: A post-mortem analysis of the eco-patent commons (No. w25271). **National Bureau of Economic Research**. 2018.
- COOKE, P., GOMEZ URANGA, M., ETXEBARRIA, G. Regional innovation systems: Institutional and 33 organisational dimensions. **Research Policy** 26 (4-5), 475-491, 1997.
- COSTA-CAMPI, M. T.; GARCÍA-QUEVEDO, J.; MARTÍNEZ-ROS, E. What are the determinants of investment in environmental R&D? **Energy Policy**, 104, 455-465, 2017.
- COSTA-CAMPI, M. T.; GARCÍA-QUEVEDO, J.; SEGARRA, A. Energy efficiency determinants: An empirical analysis of Spanish innovative firms. **Energy Policy**, 83, 229-239, 2015.
- COSTANTINI, V.; CRESPI, F.; MARIN, G.; PAGLIALUNGA, E. Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries. **Journal of Cleaner Production**, 155, 141-154, 2017.
- CUERVA, M. C.; TRIGUERO-CANO, A.; CÓRCOLES, D. Drivers of green and non green innovation: empirical evidence in Low-Tec SMEs. **Journal of Cleaner Production**, Gotemburgo, v. 68, p. 104-113, 2014.
- CUI, D.; DING, M.; SUARDI, S.; ZHANG, W. M&A Or R&D in Green Transition? Evidence from China. **Evidence from China**, 2022.
- DAI, J.; CANTOR, D. E.; MONTABON, F. L. How environmental management competitive pressure affects a focal firm's environmental innovation activities: A green supply chain perspective. **Journal of Business Logistics**, 36, 242-259, 2015.
- DAVIS, C.; TOMODA, Y. Competing incremental and breakthrough innovation in a model of product evolution. **Journal of Economics**, 123, 225-247, 2018.
- DAWAR, V. Agency theory, capital structure and firm performance: Some Indian evidence. **Managerial Finance**, 40(12), 1190-1206, 2014.
- DELBEKE, J.; RUNGE-METZGER, A.; SLINGENBERG, Y.; WERKSMAN, J. The Paris Agreement. In: **Towards a climate-neutral Europe** (pp. 24-45). Routledge. 2019.
- DELMAS, M.; NAIRN-BRICH, N.; LIM, J. Dynamics of environmental and financial performance: The case of greenhouse gas emissions. **Organization & Environment**, 28(4), 374-393, 2015.
- DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C.; ROMERO-JORDÁN, D. What drives eco-innovators? A critical review of the empirical literature based on econometric methods. **Journal of Cleaner Production**, 112, 2158-2170, 2016.
- DEMETER, K.; LOSONCI, D. Transferring lean knowledge within multinational networks. **Production Planning & Control**, 30(2-3), 211-224, 2019.
- DE MARCHI, V. Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. **Research Policy**, 41, 614-623, 2012.

- DEMENA, B. A.; MURSHED, S. M. Transmission channels matter: Identifying spillovers from FDI. **The Journal of International Trade & Economic Development**, 27(7), 701-728, 2018.
- DEMIREL, P.; DANISMAN, G. O. Eco-innovation and firm growth in the circular economy: Evidence from European small-and medium-sized enterprises. **Business Strategy and the Environment**, 28(8), 1608–1618.
- DEMIREL, P.; KESIDOU, E. Sustainability-oriented capabilities for eco-innovation: Meeting the regulatory, technology, and market demands. **Business Strategy and the Environment**, 28(5), 847–857, 2019.
- DEMIREL, P.; LI, Q. C.; RENTOCCHINI, F.; TAMVADA, J. P. Born to be green: New insights into the economics and management of green entrepreneurship. **Small Business Economic**, 52, 759–771, 2019.
- DOĞAN, B.; CHU, L. K.; GHOSH, S.; TRUONG, H. H. D.; BALSALOBRE-LORENTE, D. How environmental taxes and carbon emissions are related in the G7 economies? **Renewable Energy**, 187, 645–656, 2022.
- DOGARU, L. Eco-innovation and the contribution of companies to the sustainable development. **Procedia Manufacturing**, 46, 294–298, 2020.
- DOMARACKÁ, L.; SEŇOVÁ, A.; KOWAL, D. Evaluation of eco-innovation and green economy in EU countries. **Energies**, 16(2), 962, 2023.
- DONG, Y.; WANG, X.; JIN, J.; QIAO, Y.; SHI, L. Effects of eco-innovation typology on its performance: Empirical evidence from Chinese enterprises. **Journal of Engineering and Technology Management**, 34, 78-98, 2014.
- DORAN, J.; RYAN, G. Regulation and firm perception, eco-innovation and firm performance. **European Journal of Innovation Management**, 15(4), 421–441, 2012.
- . The importance of the diverse drivers and types of environmental innovation for firm performance. **Business Strategy and the Environment**, 25(2), 102–119, 2016.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, 11, 147–162, 1982.
- DU, H. S.; BELDERBOS, R.; SOMERS, D. Research versus development: global cities and the location of MNCs' cross-border R&D investments. **Regional Studies**, 56(12), 2001-2018, 2022.
- DUQUE-GRISALES, E.; AGUILERA-CARACUEL, J.; GUERRERO-VILLEGAS, J.; GARCÍASÁNCHEZ, E. Can proactive environmental strategy improve multilatinas' level of internationalization? The moderating role of board independence. **Business Strategy and the Environment**, 29(1), 291–305, 2020.
- DZHUMASHEV, R. The role of physical constraints on production. **Ecological Economics**, 216, 108020, 2024.
- EARNHART, D. The effect of corporate environmental performance on corporate financial performance. **Annual Review of Resource Economics**, 10(1), 425-444, 2018.
- EBRAHIM, T. Y. Clean and sustainable technology innovation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 45, 113-117, 2020.

- EDQUIST, C. Systems of innovation approaches - Their emergence and characteristics. *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, 1-35, 1997.
- EDQUIST, C. Systems of innovation perspectives and challenges. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, 2(3), 14–45, 2005.
- EKINS, P.; ZENGHELIS, D. The costs and benefits of environmental sustainability. **Sustainability Science**, 16, 949–965, 2021.
- ERVILHA, G. T.; VIEIRA, W. C.; FERNANDES, E. A. Determinantes da Eco inovação na Indústria de Transformação Brasileira: uma análise empírica. **Economia Aplicada/Brazilian Journal of Applied Economics**, 23(4), 2019.
- FABRIZI, A.; GUARINI, G.; MELICIANI, V. Green patents, regulatory policies and research network policies. **Research Policy**, 47(6), 1018–1031, 2018.
- FAGERBERG, J. Mobilizing innovation for sustainability transitions: A comment on transformative innovation policy. **Research Policy**, 47(9), 1568–1576, 2018.
- FANG-KLINGLER, J.; STROH, M.; WISSER, F. **Back to the Future: The Role of Forward-looking Climate Metrics in Decarbonization Portfolios**. Available at SSRN 4135443. 2022.
- FARIA, L. G. D.; ANDERSEN, M. M. Sectoral patterns versus firm-level heterogeneity-The dynamics of eco-innovation strategies in the automotive sector. **Technological Forecasting and Social Change**, 117, 266–281, 2017.
- FAEMS, D.; BOS, B.; NOSELEIT, F.; LETEN, B. Multistep knowledge transfer in multinational corporation networks: when do subsidiaries benefit from unconnected sister alliances? **Journal of Management**, 46(3), 414–442, 2020.
- FARIA, P.; SOFKA, W. Knowledge protection strategies of multinational firms—A cross-country comparison. **Research Policy**, 39(7), 956–968, 2010.
- FERNANDES, C. I.; VEIGA, P. M.; FERREIRA, J. J.; HUGHES, M. Green growth versus economic growth: do sustainable technology transfer and innovations lead to an imperfect choice?. **Business Strategy and the Environment**, 30(4), 2021-2037, 2017.
- FERNÁNDEZ, S.; TORRECILLAS, C.; LABRA, R. E. Drivers of eco-innovation in developing countries: The case of Chilean firms. **Technological Forecasting and Social Change**, 170, 120902, 2021.
- FERNANDO, Y.; WAH, W. X. 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, 2017.
- FERREIRA, J. J.; FERNANDES, C. I.; FERREIRA, F. A. Technology transfer, climate change mitigation, and environmental patent impact on sustainability and economic growth: A comparison of European countries. **Technological Forecasting and Social Change**, 150, 119770, 2020.
- FORÉS, B.; CAMISÓN, C. Does incremental and radical innovation performance depend on different types of knowledge accumulation capabilities and organizational size? **Journal of Business Research**, 69, 831-848, 2016.

- FOXON, T.; ANDERSEN, M. M. The greening of innovation systems for eco-innovation—towards an evolutionary climate mitigation policy. **DRUID Summer Conference-Innovation, Strategy and Knowledge**, 2009.
- FREIXANET, J.; RIALP, J. Disentangling the relationship between internationalization, incremental and radical innovation, and firm performance. **Global Strategy Journal**, 2022.
- FREEMAN, C. **Technology and Economic Performance, Lessons from Japan**. London: Pinter. 1987.
- FRONDEL, M.; HORBACH, J.; RENNINGS, K. 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, 2007.
- FUENFSCHILLING, L.; BINZ, C. Global socio-technical regimes. **Research Policy** 47 (4), 735–749, 2018.
- FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving eco innovation: A breakthrough discipline for innovation and sustainability**. Pitman Publishing. 1996.
- GALBREATH, J. Drivers of green innovations: The impact of export intensity, women leaders, and absorptive capacity. **Journal of Business Ethics**, 158(1), 47–61, 2019.
- GALBREATH, J.; CHANG, C.-Y.; TISCH, D. Are exporting firms linked to cleaner production? A study of eco-innovation in Taiwan. **Journal of Cleaner Production**, 303, 127029, 2021.
- GALLIANO, D.; NADEL, S. Firms' eco-innovation intensity and sectoral system of innovation: the case of French industry. **Industry and Innovation**, 22(6), 467–495, 2015.
- GARCÍA-POZO, A.; SÁNCHEZ-OLLERO, J.-L.; ONS-CAPPA, M. ECO-innovation and economic crisis: a comparative analysis of environmental good practices and labour productivity in the Spanish hotel industry. **Journal of Cleaner Production**, 138, 131–138, 2016.
- GARCIA-QUEVEDO, J.; MARTINEZ-ROS, E.; TCHÓRZEWSKA, K. B. End-of-pipe and cleaner production technologies. Do policy instruments and organizational capabilities matter? Evidence from Spanish firms. **Journal of Cleaner Production**, 340, 130307, 2022.
- GAUR, A. S.; MA, H.; GE, B. MNC strategy, knowledge transfer context, and knowledge flow in MNEs. **Journal of Knowledge Management**, 23(9), 1885–1900, 2019.
- GHISETTI, C. Demand-pull and environmental innovations: estimating the effects of innovative public procurement. **Technological Forecast Society Change** 125, 178–187, 2017.
- GHISETTI, C.; MARZUCCHI, A.; MONTRESOR, S. The open eco-innovation mode. An empirical investigation of eleven European countries. **Research Policy** 44 (5), 1080–1093, 2015.
- GHISETTI, C.; QUATRARO, F. Green technologies and environmental productivity: A cross-sectoral analysis of direct and indirect effects in Italian regions. **Ecological Economics**, 132, 1–13, 2017.

- GHISETTI, C.; RENNING, K. Environmental innovations and profitability: How does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey. **Journal of Cleaner Production**, 75, 106–117, 2014.
- GHORBANI, M.; XIE, Z.; JIN, J.; WANG, F. Chinese firms' acquisition of innovation capability from overseas: Approaches by state-versus private-owned firms. **Management and Organization Review**, 19(2), 233–255, 2023.
- GLACHANT, M.; DECHEZLEPRÊTRE, A. What role for climate negotiations on technology transfer? **Climate Policy**, 17(8), 962–981, 2017.
- GÓMEZ-BOLAÑOS, E.; ELLIMÄKI, P.; HURTADO-TORRES, N. E.; DELGADO-MÁRQUEZ, B. L. Internationalization and environmental innovation in the energy sector: Exploring the differences between multinational enterprises from emerging and developed countries. **Energy Policy**, 163, 112867, 2022.
- GONTHIER, J.; CHIRITA, G. M. The role of corporate incubators as invigorators of innovation capabilities in parent companies. **Journal of Innovation and Entrepreneurship**, 8(1), 8, 2019.
- GONZÁLEZ, P.; MACHO-STADLER, I.; PÉREZ-CASTRILLO, D. Private versus social incentives for pharmaceutical innovation. **Journal of Health Economics**, 50, 286–297, 2016.
- GONZÁLEZ-MORENO, A.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J.; DÍAZ-GARCÍA, C. Attitudes towards eco-innovation in the chemical industry: Performance implications. **Environmental Engineering and Management Journal**, 13(10), 2431–2436, 2014.
- GOPEL, M. Why the mainstream economic paradigm cannot inform sustainability transformations. In: **The Great Mindshift. The Anthropocene: Politik—Economics—Society—Science**, vol 2. Springer, Cham, 2016.
- GOSENS, J.; LU, Y.; COENEN, L. The role of transnational dimensions in emerging economy 'technological innovation systems' for clean-tech. **Journal of Cleaner Production** 86, 378–388, 2015.
- GRIGORESCU, A.; MAER-MATEI, M. M.; MOCANU, C.; ZAMFIR, A.-M. Key drivers and skills needed for innovative companies focused on sustainability. **Sustainability**, 12(1), 102, 2019.
- GUO, Y.; WANG, L.; CHEN, Y. Green entrepreneurial orientation and green innovation: The mediating effect of supply chain learning. **Sage Open**, 10(1), 2020.
- GUO, Y.; XIA, X.; ZHANG, S.; ZHANG, D. Environmental regulation, government R&D funding and green technology innovation: evidence from China provincial data. **Sustainability**, 10(4), 940, 2018.
- HAJDUKIEWICZ, A.; PERA, B. Eco-innovation in the European Union: Challenges for catching-up economies. **Entrepreneurial Business and Economics Review**, 11(1), 145–164, 2023.
- HÄGGMARK, T.; ELOFSSON, K. The drivers of private and public eco-innovations in six large countries. **Journal of Cleaner Production**, 364, 132628, 2022.
- HAIR, J. G.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. BLACK; W. C. **Multivariate Data Analysis**. 5a. Edição. Prentice Hall: New Jersey, 1995.

- HANSEN, L. Large sample properties of generalized method of moments estimators. **Econometrica** 50(3): 1029–1054, 1982.
- HANSEN, U. E.; LARSEN, T. H.; BHASIN, S.; BURGERS, R.; LARSEN, H. Innovation capability building in subsidiaries of multinational companies in emerging economies: Insights from the wind turbine industry. **Journal of Cleaner Production**, 244 118746, 2020.
- HAO, Z.; QI, W.; GONG, T.; CHEN, L.; SHEN, Z. J. M. Innovation uncertainty, new product press timing and strategic consumers. **Omega**, 89, 122–135, 2019.
- HAŠČIČ, I.; MIGOTTO, M. **Measuring Environmental Innovation Using Patent Data**; OECD: Paris, France, 2015.
- HEIBERG, J.; TRUFFER, B. The emergence of a global innovation system—A case study from the urban water sector. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 43, 270–288, 2022.
- HOJNIK, J.; PROKOP, V.; STEJSKAL, J. R&D as bridge to sustainable development? Case of Czech Republic and Slovenia. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 29(1), 146–160, 2022.
- HOJNIK, J.; RUZZIER, M. What drives eco-innovation? A review of an emerging literature. **Environmental Innovation Society Transition**, 19, 31–41, 2016.
- HOLM, J. R.; TIMMERMANS, B.; ØSTERGAARD, C. R.; COAD, A.; GRASSANO, N.; VEZZANI, A. Labor mobility from R&D-intensive multinational companies: Implications for knowledge and technology transfer. **The Journal of Technology Transfer**, 45(5), 1562–1584, 2020.
- HOLMES JR, R. M.; LI, H.; HITT, M. A.; DEGNETTO, K.; SUTTON, T. The effects of location and MNC attributes on MNCs' establishment of foreign R&D centers: Evidence from China. **Long Range Planning**, 49(5), 594–613, 2016.
- HORBACH, J. Determinants of environmental innovation – new evidence from German panel data sources. **Research Policy** 37, p. 163–173, 2008.
- HORBACH, J. Empirical determinants of eco-innovation in European countries using the community innovation survey. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 1–14, 2016.
- HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. **Ecological Economics** 78, 112–122, 2012.
- HRABYNSKYI, I.; HORIN, N.; UKRAYINETS, L. Barriers and drivers to ecoinnovation: Comparative analysis of Germany, Poland and Ukraine. **Ekonomicko-Manazerske Spektrum**, 11(1), 13–24, 2017.
- HUANG, J. W.; LI, Y. H. Green innovation and performance: The view of organizational capability and social reciprocity. **Journal of Business Ethics**, 145(2), 309–324, 2017.
- INFLUENCE MAP. **The Carbon Majors Database: Launch Report**, April 2024.
- IPCC. Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre

- Mudanças Climáticas [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Na Imprensa. 2022.
- JACOBS, M.; DROGE, C.; VICKERY, S. K.; CALANTONE, R. Product and process modularity's effects on manufacturing agility and firm growth performance. **Journal of Product Innovation Management**, 28(1), 123–137, 2011.
- JAKOBSEN, S.; CLAUSEN, T. H. Innovating for a greener future: The direct and indirect effects of firms' environmental objectives on the innovation process. **Journal of Cleaner Production**, 128, 131–141, 2016.
- JANSSON, C. Can green producers achieve strong profitability without engaging in high-risk activities? **Management Decision**, 60(13), 92–104, 2022.
- JENSEN, M.B.; JOHNSON, B.; LORENZ, E.; LUNDVALL, B. Forms of knowledge and modes of innovation. **Research Policy** 36, 680–693, 2007.
- JESUS, A.; MENDONÇA, S. Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. **Ecological Economics**, 145, 75–89, 2018.
- JIA, J.; LI, Z. Corporate environmental performance and financial distress: evidence from Australia. **Australian Accounting Review**, 32(2), 188–200, 2022.
- JIAO, J.; CHEN, C.; BAI, Y. Is green technology vertical spillovers more significant in mitigating carbon intensity? Evidence from Chinese industries. *J. Clean. Prod.* 257, 120354, 2020.
- JIAO, J.; YANG, Y.; BAI, Y. The impact of inter-industry R&D technology spillover on carbon emission in China. **National Hazards** 91 (3), 913–929, 2018.
- JIMÉNEZ-PARRA, B.; ALONSO-MARTÍNEZ, D.; GODOS-DÍEZ, J. L. The influence of corporate social responsibility on air pollution: Analysis of environmental regulation and eco-innovation effects. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 25(6), 1363–1375, 2018.
- JO, H.; KIM, H.; PARK, K. Corporate environmental responsibility and firm performance in the financial services sector. **Journal of Business Ethics**, 131, 257–284, 2015.
- JOCHMANS, K. A portmanteau test for correlation in short panels. **Econometric Theory**, 36(6), 1159–1166, 2020.
- JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. Cooperative learning and social interdependence theory. In: **Theory and research on small groups** (pp. 9–35). Springer, 1998.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 6a edição, 2007.
- JOHNSTONE, N.; HAŠČIČ, I.; OSTERTAG, K. **Environmental Policy, Technological Innovation and Patent Activity**. OECD Studies on Environmental Innovation. OECD Publishing. Paris, 2008.
- JOVANOVIĆ, M.; KRSTIĆ, B.; BEREZJEV, L. Green patents as a determinant of sustainable economic growth. **Economics of Sustainable Development**, 6(2), 1–15, 2022.

JOVÉ-LLOPIS, E.; SEGARRA-BLASCO, A. Eco-innovation strategies: A panel data analysis of Spanish manufacturing firms. **Business Strategy and the Environment**, 27(8), 1209–1220, 2018.

_____. Why does eco-innovation differ in service firms? Some insights from Spain. **Business Strategy and the Environment**, 29(3), 918–938, 2020.

JUNIATI, S.; SAUDI, M. H. M.; ASTUTY, E.; MUTALIB, N. A. The impact of internationalization in influencing firm performance and competitive advantage: The mediating role of eco-innovation. **International Journal of Supply Chain Management**, 8(1), 295–302., 2019

JUNTUNEN, T.; JUSSILA, H.; RUOHO, M.; LIU, S.; HU, G.; ALBROW-OWEN, T.; NG, L.W.T.; HOWE, R.C.T.; HASAN, T.; SUN, Z. Inkjet Printed Large-Area Flexible Few-Layer Graphene Thermoelectrics. **Advanced Function Mater**, 2018.

KAMMERER, D. The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation. Empirical evidence from appliance manufacturers in Germany. **Ecological Economics** 68, 2285–2295, 2009.

KARVONEN, M.; KAPOOR, R.; UUSITALO, A.; OJANEN, V. Technology competition in the internal combustion engine waste heat recovery: A patent landscape analysis. **Journal of Cleaner Production**, 112, 3735–3743, 2016.

KEMP, R.; ANDERSEN, M. M. Strategies for eco-efficiency innovation. **Strategy Paper for the EU Informal Environmental Council Meeting**, 16–18, 2004.

KEMP, R.; PEARSON, P. **Final Report MEI Project About Measuring Eco-Innovation**, p.10. 2007.

KERR, P.; NOBLE, D. R.; HODGES, J.; JEFFREY, H. Implementing radical innovation in renewable energy experience curves. **Energies**, 14(9), 2364, 2021.

KESHMINDER, J. S.; DEL RÍO, P. The missing links? The indirect impacts of drivers on eco-innovation. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 26(5), 1100–1118, 2019.

KHAN, J.; NAHEED, R.; SHAHEEN, W. A.; NAUMAN, M. **Fostering Green Economic Growth: Exploring the Synergy of Green Innovation, Energy Efficiency, and Foreign Direct Investment in OECD Nations**. 2023

KIRIKKALELI, D.; ADDAI, K.; KARMOH JR, J. S. Environmental innovation and environmental sustainability in a Nordic country: evidence from nonlinear approaches. **Environmental Science and Pollution Research**, 30(31), 76675–76686, 2023.

KOELLER, P.; MIRANDA, P.; LUSTOSA, M. C. J.; PODCAMENI, M. G. **Ecoinovação: Revisitando o conceito**, Texto para Discussão, No. 2556, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília. 2020.

KRAUS, S.; REHMAN, S. U.; GARCÍA, F. J. S. Corporate social responsibility and environmental performance: The mediating role of environmental strategy and green innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, 160, 120262, 2020.

- KRONENBERG, T. Finding common ground between ecological economics and post-Keynesian economics. **Ecological Economics**, 69, 1488–1494, 2010.
- KUMAR, P. Green marketing innovations in small Indian firms. **World Journal of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development**, 11(3), 176–190, 2015.
- KURNIADI, M. A.; MOHAMED, H. **Green and Global: Internationalization of eco-innovated Born Global firms: Case Study of biocomposite plastic industry**. 2021.
- KURNIAWAN, K.; SUPRIATNA, J.; SAPOHELUWAKAN, J.; SOESILO, T. E. B.; MARIATI, S.; GUNARSO, G. The analysis of forest and land fire and carbon and greenhouse gas emissions on the climate change in Indonesia. **AgBioForum**, 24(2), 1–11, 2022.
- KWON, H. U.; PARK, J. R&D, foreign ownership, and corporate groups: Evidence from Japanese firms. **Research Policy**, 47(2), 428–439, 2018.
- LABRA, R.; TORRECILLAS, C. Estimating dynamic Panel data. A practical approach to perform long panels. **Revista Colombiana de Estadística** 41 (1), 31–52, 2018.
- LAMBOGLIA, R.; PAOLONE, F.; MANCINI, D. Determinants of the implementation of environmental risk indicators: Empirical evidence from the Italian manufacturing context. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 26(2), 307–316, 2019.
- LANJOUW, J. O.; MODY, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. **Research Policy**, v. 25, p. 549–571, 1996.
- LAZKANO, I.; NØSTBAKKEN, L.; PELLI, M. From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. **European Economic Review**, 99, 113–129, 2017.
- LEE, S.; LEE, H.; LEE, C. Open innovation at the national level: Towards a global innovation system. **Technol. Forecast. Soc. Change**, 151, 119842, 2020.
- LEE, K.-H.; MIN, B. Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. **Journal of Cleaner Production**, 108, 534–542, 2015.
- LENNERTS, S.; SCHULZE, A.; TOMCZAK, T. The asymmetric effects of exploitation and exploration on radical and incremental innovation performance: An uneven affair. **European Management Journal**, 38, 121–134, 2020.
- LEVI, S.; FLACHSLAND, C.; JAKOB, M. Political economy determinants of carbon pricing. **Global Environmental Politics**, 20(2), 128–156, 2020.
- LEWIS, J. I. 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, 2007.
- LI, Z.; LIAO, G.; ALBITAR, K. Does corporate environmental responsibility engagement affect firm value? The mediating role of corporate innovation. **Business Strategy and the Environment**, 29(3), 1045–1055, 2020.
- LIAO, Z.; ZHANG, M. The influence of responsible leadership on environmental innovation and environmental performance: The moderating role of managerial discretion. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 27(5), 2016–2027, 2020.

LIN, W.-L.; CHEAH, J.-H.; AZALI, M.; HO, J. A.; YIP, N. Does firm size matter? Evidence on the impact of the green innovation strategy on corporate financial performance in the automotive sector. **Journal of Cleaner Production**, 229, 974–988, 2019.

LIN, Z.; SHI, S. **Acquire or Not? Does Corporate Carbon Performance Matter? Does Corporate Carbon Performance Matter**. 2023.

LIU, W.; XU, X.; YANG, Z.; ZHAO, J.; XING, J. Impacts of FDI renewable energy technology spillover on China's energy industry performance. **Sustainability**, 8(9), 846, 2016.

LLORCA-PONCE, A.; RIUS-SOROLLA, G.; FERREIRO-SEOANE, F. J. Is Innovation a driver of sustainability? An analysis from a Spanish region. **Sustainability**, 13(16), 9286, 2021.

LO-IACONO-FERREIRA, V. G.; CAPUZ-RIZO, S. F.; TORREGROSA-LÓPEZ, J. I. Key Performance Indicators to optimize the environmental performance of Higher Education Institutions with environmental management system—A case study of Universitat Politècnica de València. **Journal of Cleaner Production**, 178, 846–865, 2018.

LONG, R.; GUO, H.; ZHENG, D.; CHANG, R.; NA, S. Research on the measurement, evolution, and driving factors of green innovation efficiency in Yangtze River Economic Belt: A Super-SBM and spatial Durbin model. **Complexity**, 2020, 1–14, 2020.

LOPES, J. M.; GOMES, S.; PACHECO, R.; MONTEIRO, E.; SANTOS, C. Drivers of sustainable innovation strategies for increased competition among companies. **Sustainability**, 14(9), 5471, 2022.

LÓPEZ, A. **Competitividad, innovacion y desarrollo sustentable: una discusión conceptual**. DT 22, Buenos Aires: CENIT, 1996.

LUNDVALL, B. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the 11 national system of innovation. In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., SOETE, L. (Eds.), 12 **Technical Change and Economic Theory**. Pinter, London, 349-369, 1988.

LUNDVALL, B. National innovation systems—analytical concept and development tool. **Industry and Innovation**, 14(1), 95–119, 2007.

LUNDVALL, B.-Å. National innovation systems—analytical concept and development tool. **Industry and Innovation**, 14(1), 95–119, 2005.

LUNDVALL, B.-Å. **The learning economy and the economics of hope**. Anthem Press. 2016.

LUO, S.; SHI, Y.; SUN, Y.; ZHAO, Z.; ZHOU, G. Can FDI and ODI two-way flows improve the quality of economic growth? Empirical Evidence from China. **Applied Economics**, 53(44), 5028-5050, 2021.

MAÇANEIRO, M. B.; BATTISTI, P. S. S.; VIGORENA, D. A. L.; NETO, P. J. S.; CUNHA, S. K. Relationship Between Internationalization and Eco-Innovation Strategies: a Brazilian chemical industry study. **Desenvolvimento em Questão**, 17(46), 2019.

MADALENO, M.; ROBAINA, M.; DIAS, M. F.; MEIRELES, M. Dimension effects in the relationship between eco-innovation and firm performance: A European comparison. **Energy Reports**, 6, 631–637, 2020.

- MADY, K.; ABDUL HALIM, M. A. S.; OMAR, K. Drivers of multiple eco-innovation and the impact on sustainable competitive advantage: evidence from manufacturing SMEs in Egypt. **International Journal of Innovation Science**, 14(1), 40–61, 2022
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy** 31 (2), 247–264, 2002.
- MANIKAS, A. S.; KROES, J. R. The relationship between lean manufacturing, environmental damage, and firm performance. **Letters in Spatial and Resource Sciences**, 11, 141–155, 2018.
- MANSOUR, M., SALEH, M. W. A., MARASHDEH, Z., MAREI, A., ALKHODARY, D., AL-NOHOOD, S., & LUTFI, A. Eco-innovation and financial performance nexus: does company size matter? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1), 100244, 2024.
- MANSOURI, N. Y. **Carbon Management for Sustainable Development: An examination of potential transition paths for the Saudi Arabian ‘national system of innovation’ towards a cleaner energy economy**. Queen Mary University of London. 2013.
- MANTOVANI, A.; TAROLA, O.; VERGARI, C. End-of-pipe or cleaner production? How to go green in presence of income inequality and pro-environmental behavior. **Journal of Cleaner Production**, 160, 71–82, 2017.
- MARCO-LAJARA, B.; ÚBEDA-GARCÍA, M.; ZARAGOZA-SÁEZ, P.; MANRESAMARHUENDA, E. The impact of international experience on firm economic performance. The double mediating effect of green knowledge acquisition & eco-innovation. **Journal of Business Research**, 157, 113602, 2023.
- MARÍN-VINUESA, L. M.; SCARPELLINI, S.; PORTILLO-TARRAGONA, P.; MONEVA, J. M. The impact of eco-innovation on performance through the measurement of financial resources and green patents. **Organization & Environment**, 33(2), 285–310, 2018.
- MARINO, A.; QUATRARO, F. Leveraging global recombinant capabilities for green technologies: the role of ethnic diversity in MNEs’ dynamics. **The Journal of Technology Transfer**, 48(4), 1413–1445, 2023.
- MARTÍNEZ-ROS, E.; KUNAPATARAWONG, R. Green innovation and knowledge: The role of size. **Business Strategy and the Environment**, 28(6), 1045–1059, 2019.
- MARZUCCHI, A.; MONTRESOR, S. Forms of knowledge and eco-innovation modes: Evidence from Spanish manufacturing firms. **Ecological Economics**, 131, 208–221, 2017.
- MARZIA, K.; HASAN, M. F.; MIYAZAKI, T.; SAHA, B. B.; KOYAMA, S. Key factors of solar energy progress in Bangladesh until 2017, **Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy**, 2018.
- MATTES, J. Dimensions of proximity and knowledge bases: innovation between spatial and non-spatial factors. **Regional Studies** 46, 1085–1099, 2012.
- MAZZEI, J.; RUGHI, T.; VIRGILLITO, M. E. Knowing brown and inventing green? Incremental and radical innovative activities in the automotive sector. **Industry and Innovation**, 30(7), 824–863, 2023.

- MCDERMOTT, C. M.; O'CONNOR, G. C. Managing radical innovation: An overview of emergent strategy issues. **Journal of Product Innovation Management**, 19(6), 424–438, 2002.
- MERCADO-CARUSO, N.; SEGARRA-OÑA, M.; PEIRÓ-SIGNES, Á.; PORTNOY, I.; NAVARRO, E. Drivers of Eco-innovation in Industrial Clusters-A Case Study in the Colombian Metalworking Sector. **International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management**, 136–145, 2023.
- METCALFE, S.; RAMLOGAN, R. Innovation systems and the competitive process in developing economies. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, 48(2), 433–446, 2008.
- MEYER, K. E.; LI, C.; SCHOTTER, A. P. J. Managing the MNE subsidiary: Advancing a multi-level and dynamic research agenda. **Journal of International Business Studies**, 51, 538–576, 2020.
- MONTENEGRO, R. L. G.; RIBEIRO, L. C.; BRITTO, G. The effects of environmental technologies: evidences of different national innovation systems. **Journal of Cleaner Production**, 284, 124742, 2021.
- MOUGENOT, B.; DOUSSOULIN, J.-P. Conceptual evolution of the bioeconomy: A bibliometric analysis. **Environment, Development and Sustainability**, 24, 1031–1047, 2022.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1a edição, 2007.
- MIRANDA, P.; KOELLER, P.; LUSTOSA, M. C. **Ecoinovação no Brasil: o desempenho das empresas brasileiras no período 2000-2017**. Brasília: Ipea, jun. 2023. 66 p. (Texto para Discussão, n. 2892). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2892-port.2023>, 2023.
- MOGHADAM, H. E.; KARAMI, A. Green innovation: exploring the impact of environmental patents on the adoption and advancement of renewable energy. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 35(8), 1815–1835, 2024.
- MONEVA, J. M.; ORTAS, E. Corporate environmental and financial performance: a multivariate approach. **Industrial Management & Data Systems**, 110(2), 193–210, 2010.
- MUSCIO, A.; NARDONE, G.; STASI, A. How does the search for knowledge drive firms' eco-innovation? Evidence from the wine industry. **Industry and Innovation**, 24(3), 298–320, 2017.
- NIKOLOVA-ALEXIEVA, V.; ALEXIEVA, I.; VALEVA, K.; PETROVA, M. Model of the factors affecting the Eco-innovation activity of Bulgarian industrial enterprises. **Risks**, 10(9), 2022.
- NOAILLY, J.; RYFISCH, D. Multinational firms and the internationalization of green R&D: A review of the evidence and policy implications. **Energy Policy**, 83, 218–228, 2015.
- NOAILLY, J.; SMEETS, R. Financing energy innovation: Internal finance and the direction of technical change. **Environmental and Resource Economics**, 1–25, 2021.
- NORMAN, D.A.; VERGANTI, R. Incremental and Radical Innovation: Design Research vs. Technology and Meaning Change. **Des. Issues** 30, 78–96, 2014.

NUNES-PEREIRA, F.; MOURA, M. G. On the survival of a flawed theory of capital: mainstream economics and the Cambridge capital controversies. **Cambridge Journal of Economics**. 2024

OLADINRIN, O. T.; OJO, L. D. Characterisation of the drivers of environmental management system implementation. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 29(10), 3868–3892, 2022.

OLIVEIRA, S. R. M. Relationship between technological eco-innovation capacity and innovation performance: Evidence from most innovative firms in the USA. **13th International Management Conference on Management Strategies for High Performance (IMC)**, 163–178, 2019.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Eco-innovation in Industry: Enabling Green Growth**. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264077225-en>, 2019.

_____. **SMEs, entrepreneurship and innovation**. OECD, 2010.

ØSTERGAARD, C. R.; HOLM, J. R.; PARK, E. Firms' contribution to the green transition of the Danish national system of innovation—changes in technological specialisation, skills and innovation. In **Globalization, New and Emerging Technologies, and Sustainable Development: The Danish Innovation System in Transition** (pp. 231–252), 2021.

OYEBANJI, M. O.; CASTANHO, R. A.; GENC, S. Y.; KIRIKKALELI, D. Patents on environmental technologies and environmental sustainability in Spain. **Sustainability**, 14(11), 6670, 2022.

PAN, X.; GUO, S.; HAN, C.; WANG, M.; SONG, J.; LIAO, X. Influence of FDI quality on energy efficiency in China based on seemingly unrelated regression method. **Energy**, 192, 116463, 2020.

PANDEY, N.; CONINCK, H.; SAGAR, A. D. Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 11(2), e422, 2021.

PARRILLI, M. D.; BALAVAC-ORLIĆ, M.; RADICIC, D. Environmental innovation across SMEs in Europe. **Technovation**, 119, 102541, 2023.

PASSARO, R.; QUINTO, I.; SCANDURRA, G.; THOMAS, A. The drivers of eco-innovations in small and medium-sized enterprises: A systematic literature review and research directions. **Business Strategy and the Environment**, 32(4), 1432–1450, 2023.

PELAU, C.; CHINIE, A.-C. Cluster Analysis for the Determination of Innovative and Sustainable Oriented Regions in Europe. **Studia Universitatis „Vasile Goldis” Arad—Economics Series**, 28(2), 36–47, 2018.

PEÑASCO, C.; DEL RÍO, P.; ROMERO-JORDÁN, D. Analysing the role of international drivers for eco-innovators. **Journal of International Management**, 23(1), 56-71, 2017.

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

- PONCHEK, T. Does the Patent System Promote Scientific Innovation? Empirical Analysis of Patent Forward Citations. **Alb. LJ Science & Techonology.**, 25, 289, 2015.
- POPP, D. International technology transfer, climate change, and the clean development mechanism. **Review of Environmental Economics and Policy**, 5(1), 131–152, 2011.
- PORTILLO-TARRAGONA, P.; SCARPELLINI, S.; MONEVA, J. M.; VALERO-GIL, J.; ARANDA-USÓN, A. Classification and measurement of the firms' resources and capabilities applied to eco-innovation projects from a resource-based view perspective. **Sustainability**, 10(9), 3161, 2018.
- PRATO, G.; NEPELSKI, D. A framework for assessing innovation collaboration partners and its application to BRICs. **International Journal of Technology Management**, 62(2/3/4), 102–127, 2013.
- PRZYCHODZEN, J.; PRZYCHODZEN, W. Relationships between eco-innovation and financial performance—evidence from publicly traded companies in Poland and Hungary. **Journal of Cleaner Production**, 90, 253–263, 2015.
- QI, X.; YANG, Z. Drivers of green innovation in BRICS countries: exploring tripple bottom line theory. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, 36(3), 2150670, 2023.
- QUINTANE, E.; MITCH CASSELMAN; R., SEBASTIAN REICHE; B.; NYLUND, P. A. Innovation as a knowledge-based outcome. **Journal of Knowledge Management**, 15(6), 928–947, 2011.
- RABADÁN, A.; GONZÁLEZ-MORENO, Á.; SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J. Improving firms' performance and sustainability: The case of eco-innovation in the agri-food industry. **Sustainability**, 11(20), 5590, 2019.
- RABÊLO, O. S.; MELO, A. A. S. S. Drivers of multidimensional eco-innovation: Empirical evidence from the Brazilian industry. **Environmental Technology**, 2018.
- RADULESCU, M.; MOHAMMED, K. S.; KUMAR, P.; BALDAN, C.; DASCALU, N. M. Dynamic effects of energy transition on environmental sustainability: Fresh findings from the BRICS+ 1. **Energy Reports**, 12, 2441–2451, 2024.
- RASHID, L.; YAHYA, S.; SHAMEE, S. A.; JABAR, J.; SEDEK, M.; HALIM, S. Eco product innovation in search of meaning: Incremental and radical practice for sustainability development. **Asian Social Science**, 10(13), 78–88, 2014.
- RASTOGI, S.; SURESH, V.; LEONARD, D. Financial inclusion and demonetization: an empirical study using exploratory factor analysis. **Indian Journal of Commerce and Management Studies**, 8(1), 5, 2017.
- RENNINGS, K. Towards a theory and policy of eco-innovation-Neoclassical and (Co) Evolutionary Perspectives (No. 98-24). **ZEW Discussion Papers**, 1998.
- _____. Redefining innovation - eco-inovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological Economics**, v. 32, n.2, p. 319-332, 2000.
- RENNINGS, K.; MARKEWITZ, P.; VÖGELE, S. How clean is clean? Incremental versus radical technological change in coal-fired power plants. **Journal of Evolutionary Economics**, 23(2), 331–355, 2013.

- RENNINGS, K.; RAMMER, C. The impact of regulation-driven environmental innovation on innovation success and firm performance. **Industry and Innovation**, 18(03), 255–283, 2011.
- RITALA, P.; HURMELINNA-LAUKKANEN, P. Incremental and radical innovation in coopetition—The role of absorptive capacity and appropriability. **Journal of Product Innovation Management**, 30, 154–169, 2013.
- RODRIGUEZ-CLARE, A. Multinationals, linkages, and economic development. **The American Economic Review**, 852–873, 1996.
- RODRÍGUEZ-REBÉS, L.; NAVIO-MARCO, J.; IBAR-ALONSO, R. Influence of organisational innovation and innovation in general on eco-innovation in European companies. **Journal of Intellectual Capital**, 22(5), 840–867, 2021.
- ROHE, S. The regional facet of a global innovation system: Exploring the spatiality of resource formation in the value chain for onshore wind energy. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, 36, 331–344, 2020.
- ROJEC, M.; KNELL, M. Why is there a lack of evidence on knowledge spillovers from foreign direct investment?. **Journal of Economic Surveys**, 32(3), 579–612, 2018.
- ROMER, P.M. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy** 98, 71–102, 1990.
- ROODMAN, D. A note on the theme of too many instruments. *Oxford Bull. Economic Statistical* 71 (1), 135–158, 2009.
- ROODMAN, D. How to do xtabond2: an introduction to “Difference” and “System” GMM in Stata. **Working Paper Number** 103, Central for Global Development. 2006.
- ROZKRUT, D. Measuring eco-innovation: Towards better policies to support green growth. **Folia Oeconomica Stetinensia**, 14(1), 137–148, 2014.
- RUGGI, M.; KOHN, T. A. P. M. T.; NASCIMENTO, T. C.; TORRES, R. L. **Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: 20 anos de registros de patentes sustentáveis**, 2017.
- RUPIETTA, C.; BACKES-GELLNER, U. Combining knowledge stock and knowledge flow to generate superior incremental innovation performance—Evidence from Swiss manufacturing. **Journal of Business Research**, 94, 209–222, 2019.
- SACHS, J. D.; LAFORTUNE, G.; KROLL, C.; FULLER, G.; WOELM, F. **Sustainable development report 2022**. 2022.
- SÁEZ-MARTÍNEZ, F. J.; LEFEBVRE, G.; HERNÁNDEZ, J. J.; CLARK, J. H. Drivers of sustainable cleaner production and sustainable energy options. **Journal of Cleaner Production**, 138, 1–7, 2016.
- SALIM, A.; RAZAVI, M. R.; AFSHARI-MOFRAD, M. Foreign direct investment and technology spillover in Iran: The role of technological capabilities of subsidiaries. **Technological Forecasting and Social Change**, 122, 207–214, 2017.
- SANNI, M. Drivers of eco-innovation in the manufacturing sector of Nigeria. **Technological Forecasting and Social Change**, 131, 303–314, 2018.

SANTOS, D. F. L.; REZENDE, M. D. V.; BASSO, L. F. C. Eco-innovation and business performance in emerging and developed economies. **Journal of Cleaner Production**, 237, 117674, 2019.

SCARPELLINI, S.; ARANDA-USÓN, J.; MARCO-FONDEVILA, M.; ARANDA-USÓN, A.; LLERA-SASTRESA, E. Eco-innovation indicators for sustainable development: the role of the technology institutes. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, 10(1), 40–56, 2016.

SCARPELLINI, S.; PORTILLO-TARRAGONA, P.; MARIN-VINUESA, L. M. Green patents: a way to guide the eco-innovation success process? **Academia Revista Latinoamericana de Administración**, 2019.

SCHLAILE, M. P.; URMETZER, S.; BLOK, V.; ANDERSEN, A. D.; IMMERMANS, J.; MUELLER, M.; FAGERBERG, J.; PYKA, A. Innovation systems for transformations towards sustainability? Taking the normative dimension seriously. **Sustainability**, 9(12), 2253, 2017.

SCHOT, J.; STEINMUELLER, W. E. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, 47(9), 1554–1567, 2018.

SCHUMPETER, J. A. **The Theory of Economic Development**; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA, 1934.

SEGARRA OÑA, M. DEL V.; PEIRÓ SIGNES, A. Eco-innovation determinants in service industries. **Dirección y Organización**, 50, 5–16, 2013.

SELLITTO, M. A.; CAMFIELD, C. G.; BUZUKU, S. Green innovation and competitive advantages in a furniture industrial cluster: A survey and structural model. **Sustainable Production and Consumption**, 23, 94–104, 2020.

SEVIL, A.; CRUZ, A.; REYES, T.; VASSOLO, R. When being large is not an advantage: How innovation impacts the sustainability of firm performance in natural resource industries. **Sustainability**, 14(23), 16149, 2022.

SHI, J.; CHANG, B.; KHAN, F.; CHANG, Y.; ZHU, Y.; CHEN, G.; ZHANG, C. Stochastic explosion risk analysis of hydrogen production facilities. **International Journal of Hydrogen Energy**, 45(24), 13535–13550, 2020.

SHKOLNYKOVA, M.; KUDIC, M. Who benefits from SMEs' radical innovations?—empirical evidence from German biotechnology. **Small Business Economics**, 58(2), 1157–1185, 2022.

SILVA, R. F. B.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Socioeconomic changes and environmental policies as dimensions of regional land transitions in the Atlantic Forest, Brazil. **Environmental Science Policy** 74, 14–22, 2017.

SOHN, J.; LEE, J.; KIM, N. Going green inside and out: Corporate environmental responsibility and financial performance under regulatory stringency. **Sustainability**, 12(9), 3850, 2020.

SONG, W.; YU, H. Green innovation strategy and green innovation: The roles of green creativity and green organizational identity. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 25(2), 135–150, 2018.

SOUTO, J.E. Business model innovation and business concept innovation as the context of incremental innovation and radical innovation. **Tourism Management Journal** 51, 142–155,

2015.

SPEROTTO, F. Q.; TARTARUGA, I. G. P. The green side of industry: The drivers and the impacts of ECO-innovations in Brazil. **Sustainability**, 13(14), 8065, 2021.

STANDARD AND POOR'S. **Trucost Environmental Data Methodology Guide**. Corporate Environmental Performance. S&P Global. 2020.

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. Are There Limits to Growth? **International Economic Review** 39(1): p. 1–31, 1998.

SUMRIN, S.; GUPTA, S.; ASAAD, Y.; WANG, Y.; BHATTACHARYA, S.; FOROUDI, P. Eco-innovation for environment and waste prevention. **Journal of Business Research**, 122, 627–639, 2021.

TAMAYO-ORBEGOZO, U.; VICENTE-MOLINA, M. A.; VILLARREAL-LARRINAGA, O. Eco-innovation strategic model. A multiple-case study from a highly eco-innovative European region. **Journal of Cleaner Production**, 142, 1347–1367, 2017.

TANG, M.; LIAO, H.; WAN, Z.; HERRERA-VIEDMA, E.; ROSEN, M. A. Ten years of sustainability (2009 to 2018): A bibliometric overview. **Sustainability**, 10, 1655, 2018.

TERESHCHENKO, E.; HAPPONEN, A.; PORRAS, J.; VAITHILINGAM, C. A. Green growth, waste management, and environmental impact reduction success cases from small and medium enterprises context: A systematic mapping study. **IEEE Access**, 11, 56900–56920, 2023.

TOADER, L. A.; CHIȚU, F.; MIHAI PARASCHIV, D. The Relationship Between the Environmental Tax Revenues and the Greenhouse Gas Emission in Romania. **Ovidius University Annals, Series Economic Sciences**, 23(1), 2023.

TOLLIVER, C.; FUJII, H.; KEELEY, A. R.; MANAGI, S. Green innovation and finance in Asia. **Asian Economic Policy Review**, 16(1), 67-87, 2021.

TORRECILLAS, C.; FERNÁNDEZ, S. Exports and outward FDI as drivers of eco-innovations. An analysis based on Spanish manufacturing firms. **Journal of Cleaner Production**, 349, 131243, 2022.

TRIGUERO, A.; CÓRCOLES, D. Understanding innovation: An analysis of persistence for Spanish manufacturing firms. **Research Policy**, 42(2), 340–352, 2013.

TRIGUERO, Á.; CUERVA, M. C.; ÁLVAREZ-ALEDO, C. Environmental innovation and employment: Drivers and synergies. **Sustainability**, 9(11), 2057, 2017.

TRIGUERO, A.; MORENO-MONDÉJAR, L.; DAVIA, M. A. Eco-innovation by small and medium-sized firms in Europe: From end-of-pipe to cleaner technologies. **Innovation**, 17(1), 24–40, 2015.

TRUFFER, B.; COENEN, L. Environmental innovation and sustainability transitions in regional studies. **Regional Studies**, 46(1), 1–21, 2012.

TSOURI, M.; HANSON, J.; NORMANN, H. E. Does participation in knowledge networks facilitate market access in global innovation systems? The case of offshore wind. **Research Policy**, 50(5), 104227, 2021.

TSUKANOVA, T. Go international to become sustainable: Insights on internationalization, innovativeness, and green practices in SMEs. **Journal of the International Council for Small Business**, 4(1), 51–58, 2023.

UDEAGHA, M. C.; NGEPAH, N. The drivers of environmental sustainability in BRICS economies: do green finance and fintech matter? **World Development Sustainability**, 3, 100096, 2023.

ULLAH, S.; AKHTAR, P.; ZAEFARIAN, G. Dealing with endogeneity bias: The generalized method of moments (GMM) for panel data. **Industrial Marketing Management**, 71, 69–78, 208.

ULLAH, S.; NASIM, A. Do firm-level sustainability targets drive environmental innovation? Insights from BRICS Economies. **Journal of Environmental Management**, 294, 112754, 2021.

URBANIEC, M.; TOMALA, J.; MARTINEZ, S. Measurements and trends in technological eco-innovation: Evidence from environment-related patents. **Resources**, 10(7), 68, 2021.

VOEGTLIN, C.; SCHERER, A. G. Responsible innovation and the innovation of responsibility: Governing sustainable development in a globalized world. **Journal of Business Ethics**, 143(2), 227–243, 2017.

VUJATOVIĆ, M. J.; OGNJANOVIĆ, J.; POPOVIĆ, S. The role of eco-innovation in sustainable intellectual capital of the company. **Economics Of Sustainable Development**, Vol. 6, july-december, № 2, 2022.

WALLS, J. L.; BERRONE, P. The power of one to make a difference: How informal and formal CEO power affect environmental sustainability. **Journal of Business Ethics**, 145, 293–308, 2017.

WANG, Q.; QU, J.; WANG, B.; WANG, P.; YANG, T. Green technology innovation development in China in 1990–2015. **Science of the Total Environment**, 696, 134008, 2019.

WANG, W.; LU, N.; LI, Y.; WANG, D.; ZHANG, C. The eco-innovation mode in China and its impact on carbon emissions: From the exploration/exploitation perspective. **Chinese Journal of Population, Resources and Environment**, 18(2), 103–109, 2020.

WANG, Z.; YIN, F.; ZHANG, Y.; ZHANG, X. An empirical research on the influencing factors of regional CO₂ emissions: Evidence from Beijing city, China. **Applied Energy**, 100, 277–284, 2012.

WEHNERT, P.; KOLLWITZ, C.; DAIBERL, C.; DINTER, B.; BECKMANN, M. Capturing the Bigger Picture? Applying Text Analytics to Foster Open Innovation Processes for Sustainability-Oriented Innovation. **Sustainability**, 10, 3710, 2018.

- WICKI, S.; HANSEN, E. G. Clean energy storage technology in the making: An innovation systems perspective on flywheel energy storage. **Journal of Cleaner Production**, 162, 1118–1134, 2017.
- WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. MIT press, 2010.
- WURLOD, J.-D.; NOAILLY, J. The impact of green innovation on energy intensity: An empirical analysis for 14 industrial sectors in OECD countries. **Energy Economics**, 71, 47–61, 2018.
- WYDRA, S. Measuring innovation in the bioeconomy—Conceptual discussion and empirical experiences. **Technology in Society**, 61, 101242, 2020.
- XIANG, X.; GENG, Y. Assessing the impact of green patents on pollution reduction: A micro-level study of Chinese industrial firms. **Journal of Environmental Management**, 368, 122193, 2024.
- XIAO, D.; GAO, L.; XU, L.; WANG, Z.; WEI, W. Revisiting the Green Growth Effect of Foreign Direct Investment from the Perspective of Environmental Regulation: Evidence from China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 20(3), 2023.
- YAO, Q.; LIU, J.; SHENG, S.; FANG, H. Does eco-innovation lift firm value? The contingent role of institutions in emerging markets. **Journal of Business & Industrial Marketing**, 34(8), 1763–1778, 2019.
- YUE, S.; YANG, Y.; HU, Y.; CHOI, Y.; SONG, M.; MYEONG, S. Does Foreign Direct Investment Affect Green Growth? Evidence from China's Experience. **Sustainability** 2016, Vol. 8, Page 158, 8(2), 2016.
- YURDAKUL, M.; KAZAN, H. Effects of eco-innovation on economic and environmental performance: Evidence from Turkey's manufacturing companies. **Sustainability**, 12(8), 3167, 2020.
- ZAMANI, Z.; TAYEBI, S. K. Spillover effects of trade and foreign direct investment on economic growth: An implication for sustainable development. **Environment, Development and Sustainability**, 24(3), 3967–3981, 2022.
- ZHANG, J. A.; WALTON, S. Eco-innovation and business performance: the moderating effects of environmental orientation and resource commitment in green-oriented SME s. **R&D Management**, 47(5), E26–E39, 2017.
- ZHANG, Y.; KHAN, I.; ZAFAR, M. W. Assessing environmental quality through natural resources, energy resources, and tax revenues. **Environmental Science and Pollution Research**, 29(59), 89029–89044, 2022.
- ZHOU, K. Z.; LI, C.B. How knowledge affects radical innovation: Knowledge base, market knowledge acquisition, and internal knowledge sharing. **Strategy Managment Journal** 33, 1090–1102, 2012.
- ZHOU, Y.; HONG, J.; ZHU, K.; YANG, Y.; ZHAO, D. Dynamic capability matters: Uncovering its fundamental role in decision making of environmental innovation. **Journal of Cleaner Production**, 177, 516–526, 2018.

ZIOLO, M.; FILIPIAK, B. Z.; BAĞ, I.; CHEBA, K. How to design more sustainable financial systems: The roles of environmental, social, and governance factors in the decision-making process. *Sustainability*, 11(20), 5604, 2019.

APÊNDICE

Quadro A.1 – Classificação de Patentes Verdes (*IPC Green Inventory*)

A- Produção de Energia Alternativa (<i>ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION</i>)	
1-Biocombustíveis (<i>Bio-fuels</i>)	Classificação IPC
1.1-Combustíveis sólidos (<i>Solid fuels</i>)	C10L 5/00; C10L 5/40; C10L 5/41; C10L 5/42; C10L 5/43; C10L 5/44; C10L 5/45; C10L 5/46; C10L 5/47; C10L 5/48
1.1.1-Torrefação de biomassa (<i>Torrefaction of biomass</i>)	C10B 53/02 C10L 5/40; C10L 9/00
1.2-Combustíveis líquidos (<i>Liquid fuels</i>)	C10L 1/00; C10L 1/02; C10L 1/14
1.2.2-Óleos Vegetais (<i>Vegetable oils</i>)	C10L 1/02; C10L 1/19
1.2.3-Biodiesel (<i>Biodiesel</i>)	C07C 67/00; C07C 69/00; C10G; C10L 1/02; C10L 1/19; C10L 1/02; C10L 1/19; C11C 3/10; C12P 7/64
1.2.4-Bioetanol (<i>Bioethanol</i>)	C10L 1/02; C10L 1/182; C12N 9/24; C12P 7/06; C12P 7/08; C12P 7/10; C12P 7/12; C12P 7/14
1.3-Biogás (<i>Biogas</i>)	C02F 3/28; C02F 11/04; C10L 3/00; C12M 1/107; C12P 5/02
1.3.1-A partir de organismos geneticamente modificados (<i>From genetically engineered organisms</i>)	C12N 1/13; C12N 1/15; C12N 1/21; C12N 5/10; C12N 15/00; A01H
2-Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (<i>Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)</i>)	C10L 3/00; F02C 3/28
3-Células de combustível (<i>Fuel cells</i>)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98; H01M 8/00; H01M 8/02; H01M 8/04; H01M 8/06; H01M 8/08; H01M 8/10; H01M 8/12; H01M 8/14; H01M 8/16; H01M 8/18; H01M 8/20; H01M 8/22; H01M 8/24; H01M 12/00; H01M 12/02; H01M 12/04; H01M 12/06; H01M 12/08
3.1-Eletrodos (<i>Electrodes</i>)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98
3.1.1-Eletrodos inertes com atividade catalítica (<i>Inert electrodes with catalytic activity</i>)	H01M 4/86; H01M 4/88; H01M 4/90; H01M 4/92; H01M 4/94; H01M 4/96; H01M 4/98
3.1.2-Partes não ativas (<i>Non-active parts</i>)	H01M 2/00; H01M 2/02; H01M 2/04; H01M 8/00; H01M 8/02; H01M 8/04; H01M 8/06; H01M 8/08; H01M 8/10; H01M 8/12; H01M 8/14; H01M 8/16; H01M 8/18; H01M 8/20; H01M 8/22; H01M 8/24; 50/00-50/171
3.1.3-Dentro de células híbridas (<i>Within hybrid cells</i>)	H01M 12/00; H01M 12/02; H01M 12/04; H01M 12/06; H01M 12/08
4-Pirólise ou gaseificação (<i>Pyrolysis or gasification of</i>)	C10B 53/00; C10J
5-Aproveitamento de energia a partir de resíduos gerados pelo homem (<i>Harnessing energy from man made waste</i>)	Classificação IPC
5.1-Resíduos agrícolas (<i>Agricultural waste</i>)	C10L 5/00
5.1.1-Combustível a partir de resíduos animais e resíduos de plantações (<i>Fuel from animal waste and crop residues</i>)	C10L 5/42; C10L 5/43; C10L 5/44
5.1.2-Incineradores de campo, jardim ou de resíduos de madeira (<i>Incinerators for field, garden or wood waste</i>)	F23G 7/00; F23G 7/10
5.2-Gaseificação (<i>Gasification</i>)	C10J 3/02; C10J 3/46; F23B 90/00; F23G 5/027
5.3-Resíduos químicos (<i>Chemical waste</i>)	B09B 3/00; F23G 7/00
5.4-Resíduos industriais (<i>Industrial waste</i>)	C10L 5/48; F23G 5/00; F23G 7/00
5.4.1-Usando alto fornos a gás na produção de ferro-gusa (<i>Using top gas in blast furnaces to power pig-iron production</i>)	C21B 5/06
5.4.2-Licores de celulose (<i>Pulp liquors</i>)	D21C 11/00
5.4.3-Digestão anaeróbia de resíduos industriais (<i>Anaerobic digestion of industrial waste</i>)	A62D 3/02; C02F 11/04; C02F 11/14
5.4.4-Resíduos de madeira industrial (<i>Industrial wood waste</i>)	F23G 7/00; F23G 7/10
5.5-Resíduos hospitalares (<i>Hospital waste</i>)	B09B 3/00; F23G 5/00
5.6-Gás de aterro sanitário (<i>Landfill gas</i>)	B09B
5.6.1-Separação de componentes (<i>Separation of components</i>)	B01D 53/02; B01D 53/04; B01D 53/047; B01D 53/14; B01D 53/22; B01D 53/24

5.7-Resíduos sólidos urbanos (<i>Municipal waste</i>)	C10L 5/46; F23G 5/00
---	----------------------

6 -Hidroenergia (<i>Hydro energy</i>)	Classificação IPC
6.1-Geração de energia hidrelétrica (<i>Water-power plants</i>)	E02B 9/00; E02B 9/02; E02B 9/04; E02B 9/06
6.1.1-Centrals energéticas produzidas por ondas ou marés (<i>Tide or wave power plants</i>)	E02B 9/08
6.2-Máquinas ou motores utilizando líquidos (<i>Machines or engines for liquids</i>)	F03B; F03C
6.2.1-Utilização de energia produzida por onda ou maré (<i>Using wave or tide energy</i>)	F03B 13/12; F03B 13/13; F03B 13/14; F03B 13/15; F03B 13/16; F03B 13/17; F03B 13/18; F03B 13/19; F03B 13/20; F03B 13/21; F03B 13/22; F03B 13/23; F03B 13/24; F03B 13/25; F03B 13/26
6.3-Regulação, controle ou meios de segurança para máquinas e motores (<i>Regulating, controlling or safety means of machines or engines</i>)	F03B 15/00; F03B 15/02; F03B 15/04; F03B 15/06; F03B 15/08; F03B 15/10; F03B 15/12; F03B 15/14; F03B 15/16; F03B 15/18; F03B 15/20; F03B 15/22
6.4-Movimentação de embarcações que utilizam energia derivada do movimento da água (<i>Propulsion of marine vessels using energy derived from water movement</i>)	B63H 19/02; B63H 19/04
7- Conversão de energia térmica dos oceanos (<i>Ocean thermal energy conversion (OTEC)</i>)	F03G 7/05
8-Energia eólica (<i>Wind energy</i>)	F03D
8.1-Associação estrutural do gerador elétrico com motor de condução mecânica (<i>Structural association of electric generator with mechanical driving motor</i>)	H02K 7/18
8.2-Aspectos estruturais das turbinas eólicas (<i>Structural aspects of wind turbines</i>)	B63B 35/00; E04H 12/00; F03D 11/04
8.3-Movimentação de veículos utilizando a energia eólica (<i>Propulsion of vehicles using wind power</i>)	B60K 16/00
8.3.1-Propulsão elétrica de veículos utilizando energia eólica (<i>Electric propulsion of vehicles using wind power</i>)	B60L 8/00
8.4-Movimentação de embarcações por motores movidos a vento (<i>Propulsion of marine vessels by wind-powered motors</i>)	B63H 13/00
9-Energia Solar (<i>Solar energy</i>)	
9.1-Energia Fotovoltaica (<i>Photovoltaics (PV)</i>)	
9.1.1-Dispositivos adaptados para a conversão de energia da radiação em energia elétrica (<i>Devices adapted for the conversion of radiation energy into electrical energy</i>)	H01L 27/142; H01L 31/00; H01L 31/02; H01L 31/0203; H01L 31/0216; H01L 31/0224; H01L 31/0232; H01L 31/0236; H01L 31/024; H01L 31/0248; H01L 31/0256; H01L 31/0264; H01L 31/0272; H01L 31/028; H01L 31/0288; H01L 31/0296; H01L 31/0304; H01L 31/0312; H01L 31/032; H01L 31/0328; H01L 31/0336; H01L 31/0352; H01L 31/036; H01L 31/0368; H01L 31/0376; H01L 31/0384; H01L 31/0392; H01L 31/04; H01L 31/042; H01L 31/045; H01L 31/048; H01L 31/05; H01L 31/052; H01L 31/055; H01L 31/058; H01L 31/06; H01L 31/061; H01L 31/062; H01L 31/065; H01L 31/068; H01L 31/0687; H01L 31/0693; H01L 31/07; H01L 31/072; H01L 31/0725; H01L 31/073; H01L 31/0735; H01L 31/074; H01L 31/0745; H01L 31/0747; H01L 31/0749; H01L 31/075; H01L 31/076; H01L 31/077; H01L 31/078; H01G 9/20; H02N 6/00
9.1.1.1-Utilização de materiais orgânicos como a parte ativa (<i>Using organic materials as the active part</i>)	H01L 27/30; H01L 51/42; H01L 51/44; H01L 51/46; H01L 51/48
9.1.2-Conjunto da pluralidade de células solares (<i>Assemblies of a plurality of solar cells</i>)	H01L 25/00; H01L 25/03; H01L 25/16; H01L 25/18; H01L 31/042
9.1.3-Silício; crescimento de um único cristal de silício (<i>Silicon; single-crystal growth</i>)	C01B 33/02; C23C 14/14; C23C 16/24; C30B 29/06
9.1.4-Regulador da potência máxima disponível das células solares (<i>Regulating to the maximum power available from</i>	G05F 1/67
9.1.5-Dispositivos de iluminação elétrica ou dispositivos recarregáveis com células solares (<i>Electric lighting devices with, or rechargeable with, solar cells</i>)	F21L 4/00; F21S 9/03
9.1.6-Carregamento de baterias (<i>Charging batteries</i>)	H02J 7/35
9.1.7-Células solares sensibilizadas por corantes (<i>Dye-sensitised solar cells (DSSC)</i>)	H01G 9/20; H01M 14/00

9.2-Uso do calor solar (<i>Use of solar heat</i>)	F24J 2/00; F24J 2/02; F24J 2/04; F24J 2/05; F24J 2/06; F24J 2/07; F24J 2/08; F24J 2/09; F24J 2/10; F24J 2/12; F24J 2/13; F24J 2/14; F24J 2/15; F24J 2/16; F24J 2/18; F24J 2/20; F24J 2/22; F24J 2/23; F24J 2/24; F24J 2/26; F24J 2/28; F24J 2/30; F24J 2/32; F24J 2/34; F24J 2/36; F24J 2/38; F24J 2/40; F24J 2/42; F24J 2/44; F24J 2/46; F24J 2/48; F24J 2/50; F24J 2/51; F24J 2/52; F24J 2/54
---	---

9.2.1-Para sistemas domésticos de produção de água quente (<i>For domestic hot water systems</i>)	F24D 17/00
9.2.2-Para aquecimento de ambientes (<i>For space heating</i>)	F24D 3/00; F24D 5/00; F24D 11/00; F24D 19/00
9.2.3-Para piscinas (<i>For swimming pools</i>)	F24J 2/42
9.2.4-Painéis solares ascendentes (<i>Solar updraft towers</i>)	F03D 1/04; F03D 9/00; F03D 11/04; F03G6/00
9.2.5-Para tratamento de água, águas residuais e lodo (<i>For treatment of water, waste water or sludge</i>)	C02F 1/14
9.2.6-Usinas de turbina a gás que utilizam fonte de calor solar (<i>Gas turbine power plants using solar heat source</i>)	F02C 1/05
9.3-Sistemas termo-solares fotovoltaicos híbridos (<i>Hybrid solar thermal-PV systems</i>)	H01L 31/058
9.4-Movimentação de veículos que utilizam a energia solar (<i>Propulsion of vehicles using solar power</i>)	B60K 16/00
9.4.1-Propulsão elétrica de veículos que utilizam a energia solar (<i>Electric propulsion of vehicles using solar power</i>)	B60L 8/00
9.5-Produção de energia mecânica a partir da energia solar (<i>Producing mechanical power from solar energy</i>)	F03G6/00; F03G6/02; F03G6/04; F03G6/06
9.6-Materiais de cobertura com dispositivos coletores de energia (<i>Roof covering aspects of energy collecting devices</i>)	E04D 13/00; E04D 13/18
9.7-Geração de vapor utilizando calor solar (<i>Steam generation using solar heat</i>)	F22B 1/00; F24J 1/00
9.8-Refrigeração ou sistemas de bombas de calor (<i>Refrigeration or heat pump systems using solar energy</i>)	F25B 27/00
9.9-Uso da energia solar para secagem de materiais ou objetos (<i>Use of solar energy for drying materials or objects</i>)	F26B 3/00; F26B 3/28
9.10-Concentradores solares (<i>Solar concentrators</i>)	F24J 2/06; G02B 7/183
9.11-Tanques solares (<i>Solar ponds</i>)	F24J 2/04
10-Energia geotérmica (<i>Geothermal energy</i>)	Classificação CIP
10.1-Uso do calor geotérmico (<i>Use of geothermal heat</i>)	F01K; F24F 5/00; F24J 3/08; H02N 10/00; F25B 30/06
10.2-Produção de energia mecânica a partir de energia geotérmica (<i>Production of mechanical power from geothermal energy</i>)	F03G4/00; F03G4/02; F03G4/04; F03G4/06; F03G7/04
11-Outra produção ou uso do calor, não derivado da combustão, por exemplo, calor natural (<i>Other production or use of heat, not derived from combustion, e.g. natural heat</i>)	F24J 1/00; F24J 3/00; F24J 3/06
11.1-Bombas de calor em sistemas de aquecimento central utilizando calor acumulado em massas de armazenamento (<i>Heat pumps in central heating systems using heat accumulated in storage masses</i>)	F24D 11/02
11.2-Bombas de calor em sistemas de aquecimento doméstico ou outros espaços (<i>Heat pumps in other domestic- or space-heating systems</i>)	F24D 15/04
11.3-Bombas de calor em sistemas de abastecimento de água quente (<i>Heat pumps in domestic hot-water supply systems</i>)	F24D 17/02
11.4-Aquecedores de água ou ar utilizando bombas de calor (<i>Air or water heaters using heat pumps</i>)	F24H 4/00
12-Bombas de calor (<i>Heat pumps</i>)	F25B 30/00
12.1-Usando calor residual (<i>Using waste heat</i>)	
12.2-Para produzir energia mecânica (<i>To produce mechanical energy</i>)	F01K 27/00
12.3-De motores de combustão (<i>Of combustion engines</i>)	F01K 23/06; F01K 23/08; F01K 23/10; F01N 5/00; F02G5/00; F28D 5/02; F02G 5/04; F25B 27/02
12.4-De centrais de máquinas a vapor (<i>Of steam engine plants</i>)	F01K 17/00; F01K 23/04
12.5-De centrais de turbinas a gás (<i>Of gas-turbine plants</i>)	F02C 6/18

12.6-Como fonte de energia para instalações de refrigeração (<i>As source of energy for refrigeration plants</i>)	F25B 27/02
12.7-Para o tratamento de água, águas residuais ou de esgoto (<i>For treatment of water, waste water or sewage</i>)	C02F 1/16
12.8-Recuperação do calor residual na produção de papel (<i>Recovery of waste heat in paper production</i>)	D21F 5/20
12.9-Para a geração de vapor pela exploração do conteúdo de calor das baterias armazenadoras de calor (<i>For steam generation by exploitation of the heat content of hot heat carriers</i>)	F22B 1/02
12.10-Recuperação da energia térmica a partir da incineração de resíduos (<i>Recuperation of heat energy from waste incineration</i>)	F23G 5/46
12.11-Recuperação de energia no ar condicionado (<i>Energy recovery in air conditioning</i>)	F24F 12/00
12.12-Arranjos para a utilização de calor residual dos fornos, estufas, fogões ou retorta (<i>Arrangements for using waste heat from furnaces, kilns, ovens or retorts</i>)	F27D 17/00
12.13-Aparelho de troca de calor regenerativo (<i>Regenerative heat-exchange apparatus</i>)	F28D 17/00; F28D 17/02; F28D 17/04; F28D 19/00; F28D 19/02; F28D 19/04; F28D 20/00
12.14-De instalações de gaseificação (<i>Of gasification plants</i>)	C10J 3/86
13-Dispositivos para produção de energia mecânica a partir da energia muscular (<i>Devices for producing mechanical power from muscle energy</i>)	F03G5/00; F03G5/02; F03G5/04; F03G5/06; F03G5/08
B- TRANSPORTE (TRANSPORTATION)	Classificação IPC
1-Veículos em geral (<i>Vehicles in general</i>)	
1.1-Veículos Híbridos, por exemplo, veículos híbridos elétricos (<i>Hybrid vehicles, e.g. Hybrid Electric Vehicles (HEVs)</i>)	B60K 6/00; B60K 6/20
1.1.1-Sistemas de Controle (<i>Control systems</i>)	B60W 20/00
1.1.2-Gearings therefor	F16H 3/00; F16H 3/02; F16H 3/04; F16H 3/06; F16H 3/08; F16H 3/083; F16H 3/085; F16H 3/087; F16H 3/089; F16H 3/091; F16H 3/093; F16H 3/095; F16H 3/097; F16H 3/10; F16H 3/12; F16H 3/14; F16H 3/16; F16H 3/18; F16H 3/20; F16H 3/22; F16H 3/24; F16H 3/26; F16H 3/28; F16H 3/30; F16H 3/32; F16H 3/34; F16H 3/36; F16H 3/38; F16H 3/40; F16H 3/42; F16H 3/44; F16H 3/46; F16H 3/48; F16H 3/50; F16H 3/52; F16H 3/54; F16H 3/56; F16H 3/58; F16H 3/60; F16H 3/62; F16H 3/64; F16H 3/66; F16H 3/68; F16H 3/70; F16H 3/72; F16H 3/74; F16H 3/76; F16H 3/78; F16H 48/00; F16H 48/05; F16H 48/06; F16H 48/08; F16H 48/10; F16H 48/11; F16H 48/12; F16H 48/14; F16H 48/16; F16H 48/18; F16H 48/19; F16H 48/20; F16H 48/22; F16H 48/24; F16H 48/26; F16H 48/27; F16H 48/28; F16H 48/285; F16H 48/29; F16H 48/295; F16H 48/30;
1.2-Motores sem escova (<i>Brushless motors</i>)	H02K 29/08
1.3-Embreagens eletromagnéticas (<i>Electromagnetic clutches</i>)	H02K 49/10
1.4-Sistemas de travagem com recuperação de energia (<i>Regenerative braking systems</i>)	B60L 7/10; B60L 7/12; B60L 7/14; B60L 7/16; B60L 7/18; B60L 7/20; B60L 7/22
1.5-Propulsão elétrica com fonte de alimentação da força da natureza, por exemplo, Sol, vento (<i>Electric propulsion with power supply from force of nature, e.g. sun, wind</i>)	B60L 8/00
1.6-Propulsão elétrica com fonte de alimentação externa ao veículo (<i>Electric propulsion with power supply external to vehicle</i>)	B60L 9/00
1.6.1-Com fonte de alimentação de células de combustível, por exemplo, para veículos a hidrogênio (<i>With power supply from fuel cells, e.g. for hydrogen vehicles</i>)	B60L 11/18
1.7-Motores de combustão que operam com combustíveis gasosos, por exemplo, hidrogênio (<i>Combustion engines operating on gaseous fuels, e.g. hydrogen</i>)	F02B 43/00; F02M 21/02; F02M 27/02
1.8-Fonte de alimentação de força da natureza, por exemplo, Sol, vento (<i>Power supply from force of nature, e.g. sun, wind</i>)	B60K 16/00

1.9-Estações de carregamento para veículos elétricos (<i>Charging stations for electric vehicles</i>)	H02J 7/00
2-Veículos com exceção de veículos ferroviários (<i>Vehicles other than rail vehicles</i>)	Classificação CIP
2.1-Redução de atrito (<i>Drag reduction</i>)	B62D 35/00; B62D 35/02; B63B 1/34; B63B 1/36; B63B 1/38; B63B 1/40
2.2-Veículo com tração humana (<i>Human-powered vehicle</i>)	B62K; B62M 1/00; B62M 3/00; B62M 5/00; B62M 6/00
3-Veículos ferroviários (<i>Rail vehicles</i>)	B61
3.1-Redução de atrito (<i>Drag reduction</i>)	B61D 17/02
4-Propulsão marinha de navio (<i>Marine vessel propulsion</i>)	Classificação CIP
4.1-Dispositivos Propulsores diretamente ativos pelo vento (<i>Propulsive devices directly acted on by wind</i>)	B63H 9/00
4.2-Propulsão por motores movidos a vento (<i>Propulsion by wind-powered motors</i>)	B63H 13/00
4.3-Propulsão utilizando energia derivada do movimento da água (<i>Propulsion using energy derived from water movement</i>)	B63H 19/02; B63H 19/04
4.4-Propulsão pela força muscular (<i>Propulsion by muscle power</i>)	B63H 16/00
4.5-Propulsão derivada da energia nuclear (<i>Propulsion derived from nuclear energy</i>)	B63H 21/18
5-Veículos espaciais utilizando a energia solar (<i>Cosmonautic vehicles using solar energy</i>)	B64G 1/44
C- Conservação de Energia (ENERGY CONSERVATION)	Classificação CIP
1-Armazenamento de energia elétrica (<i>Storage of electrical energy</i>)	B60K 6/28; B60W 10/26; H01M 10/44; H01M 10/45; H01M 10/46; H01G 9/155; H02J 3/28; H02J 7/00; H02J 15/00
2-Circuito da fonte de alimentação (<i>Power supply circuitry</i>)	H02J
2.1-Com modos de economia de energia (<i>With power saving modes</i>)	H02J 9/00
3-Medição do consumo da eletricidade (<i>Measurement of electricity consumption</i>)	B60L 3/00; G01R
4-Armazenamento da energia térmica (<i>Storage of thermal energy</i>)	C09K 5/00; F24H 7/00; F28D 20/00; F28D 20/02
5-Iluminação de baixa energia (<i>Low energy lighting</i>)	Classificação CIP
5.1-Fontes de luz eletroluminescente, por exemplo, LEDs, OLEDs, PLEDs (<i>Electroluminescent light sources (e.g. LEDs, OLEDs, PLEDs)</i>)	F21K 99/00; F21L 4/02; H01L 33/00; H01L 33/02; H01L 33/04; H01L 33/06; H01L 33/08; H01L 33/10; H01L 33/12; H01L 33/14; H01L 33/16; H01L 33/18; H01L 33/20; H01L 33/22; H01L 33/24; H01L 33/26; H01L 33/28; H01L 33/30; H01L 33/32; H01L 33/34; H01L 33/36; H01L 33/38; H01L 33/40; H01L 33/42; H01L 33/44; H01L 33/46; H01L 33/48; H01L 33/50; H01L 33/52; H01L 33/54; H01L 33/56; H01L 33/58; H01L 33/60; H01L 33/62; H01L 33/64; H01L 51/50; H05B 33/00
6-Isolamento térmico de construção, em geral (<i>Thermal building insulation, in general</i>)	E04B 1/62; E04B 1/74; E04B 1/76; E04B 1/78; E04B 1/80; E04B 1/88; E04B 1/90
6.1-Elementos de isolamento de construção (<i>Insulating building elements</i>)	E04C 1/40; E04C 1/41; E04C 2/284; E04C 2/288; E04C 2/292; E04C 2/296
6.1.1-Para abertura de portas e janelas (<i>For door or window openings</i>)	E06B 3/263
6.1.2-Para paredes (<i>For walls</i>)	E04B 2/00 E04F 13/08
6.1.3-Para pisos (<i>For floors</i>)	E04B 5/00 E04F 15/18
6.1.4-Para telhados (<i>For roofs</i>)	E04B 7/00; E04D 1/28; E04D 3/35; E04D 13/16
6.1.5-Para teto (<i>For ceilings</i>)	E04B 9/00; E04F 13/08
7-Recuperando energia mecânica (<i>Recovering mechanical energy</i>)	F03G 7/08
7.1-Acumuladores mecânicos recarregáveis em veículos (<i>Chargeable mechanical accumulators in vehicles</i>)	B60K 6/10; B60K 6/30; B60L 11/16

D-GESTÃO DE RESÍDUOS (<i>WASTE MANAGEMENT</i>)	Classificação CIP
1-Eliminação de resíduos (<i>Waste disposal</i>)	B09B; B65F
2-Tratamento de resíduos (<i>Treatment of waste</i>)	Classificação CIP
2.1-Desinfecção ou esterilização (<i>Disinfection or sterilisation</i>)	A61L 11/00
2.2-Tratamento de resíduos perigosos ou tóxicos (<i>Treatment of hazardous or toxic waste</i>)	A62D 3/00, A62D 101/00
2.3-Tratamento de material radioativamente contaminado; disposições de descontaminação para esse efeito (<i>Treating radioactively contaminated material; decontamination arrangements therefor</i>)	G21F 9/00
2.4-Difícil separação (<i>Refuse separation</i>)	B03B 9/06
2.5-Recuperação de solos contaminados (<i>Reclamation of contaminated soil</i>)	B09C
2.6-Tratamento mecânico dos resíduos de papel (<i>Mechanical treatment of waste paper</i>)	D21B 1/08, D21B 1/32
3-Consumo de resíduos pela combustão (<i>Consuming waste by combustion</i>)	F23G
4-Reutilização de materiais desperdiçados (<i>Reuse of waste materials</i>)	Classificação CIP
4.1-Uso de resíduos de borracha em calçados (<i>Use of rubber waste in footwear</i>)	A43B 1/12, A43B 21/14
4.2-Fabricação de artigos a partir de resíduos de partículas de metal (<i>Manufacture of articles from waste metal particles</i>)	B22F 8/00
4.3-Produção de cimento hidráulico a partir de resíduos de materiais (<i>Production of hydraulic cements from waste materials</i>)	C04B 7/24; C04B 7/26; C04B 7/28; C04B 7/30
4.4-Uso de materiais de resíduos para preenchimento de argamassas e concretos (<i>Use of waste materials as fillers for mortars, concrete</i>)	C04B 18/04; C04B 18/06; C04B 18/08; C04B 18/10
4.5-Produção de fertilizantes a partir de resíduos ou rejeitos (<i>Production of fertilisers from waste or refuse</i>)	C05F
4.6-Recuperação ou colaboração de resíduos materiais (<i>Recovery or working-up of waste materials</i>)	C08J 11/00; C08J 11/02; C08J 11/04; C08J 11/06; C08J 11/08; C08J 11/10; C08J 11/12; C08J 11/14; C08J 11/16; C08J 11/18; C08J 11/20; C08J 11/22; C08J 11/24; C08J 11/26; C08J 11/28; C09K 11/01; C11B 11/00; C11B 13/00; C11B 13/02; C11B 13/04; C14C 3/32; C21B 3/04; C25C 1/00; D01F 13/00; D01F 13/02; D01F 13/04
4.6.1-Recuperação de materiais a partir de resíduos plásticos (<i>Recovery of plastics materials from waste</i>)	B29B 17/00
4.6.2-Desmontagem de veículos para a recuperação de peças aproveitáveis (<i>Disassembly of vehicles for recovery of salvageable parts</i>)	B62D 67/00
4.6.3-De polímeros (<i>Of polymers</i>)	C08J 11/04; C08J 11/06; C08J 11/08; C08J 11/10; C08J 11/12; C08J 11/14; C08J 11/16; C08J 11/18; C08J 11/20; C08J 11/22; C08J 11/24; C08J 11/26; C08J 11/28
4.6.4 - Produção de hidrocarbonetos líquidos a partir de resíduos de borracha (<i>Production of liquid hydrocarbons from rubber waste</i>)	C10G 1/10
4.6.5 - Combustíveis sólidos derivados de resíduos (<i>Solid fuels derived from waste</i>)	C10L 5/46, C10L 5/48
4.6.6 - Obtenção de metais a partir de sucata (<i>Obtaining metals from scrap</i>)	C22B 7/00; C22B 7/02; C22B 7/04; C22B 19/30; C22B 25/06
4.6.7 - Desintegração de materiais fibrosos para reutilização (<i>Disintegrating fibrous materials for reuse</i>)	D01G 11/00
4.6.8-Desencadeamento de resíduos de papel para a obtenção de celulose (<i>Working-up waste paper to obtain cellulose</i>)	D21C 5/02
4.6.9-Recuperação de componentes reaproveitáveis ou materiais a partir de tubos de descarga ou lâmpadas (<i>Reclaiming salvageable components or material from electric discharge tubes or lamps</i>)	H01J 9/50; H01J 9/52
4.6.10-Recuperação de peças reparáveis a partir de resíduos de baterias, pilhas ou carregadores (<i>Reclaiming serviceable parts of waste cells, batteries or accumulators</i>)	H01M 6/52, 10/54

5-Controle de poluição (<i>Pollution control</i>)	Classificação CIP
5.1-Captação e armazenamento de carbono (<i>Carbon capture and storage</i>)	B01D 53/14; B01D 53/22; B01D 53/62 B65G 5/00; C01B 31/20; E21B 41/00; E21B 43/16; E21F 17/16; F25J 3/02
5.2-Gestão da qualidade do ar (<i>Air quality management</i>)	Classificação CIP
5.2.1-Tratamento de resíduos de gases (<i>Treatment of waste gases</i>)	B01D 53/00; B01D 53/01; B01D 53/02; B01D 53/03; B01D 53/04; B01D 53/05; B01D 53/06; B01D 53/07; B01D 53/08; B01D 53/09; B01D 53/10; B01D 53/11; B01D 53/12; B01D 53/13; B01D 53/14; B01D 53/15; B01D 53/16; B01D 53/17; B01D 53/18; B01D 53/19; B01D 53/20; B01D 53/21; B01D 53/22; B01D 53/23; B01D 53/24; B01D 53/25; B01D 53/26; B01D 53/27; B01D 53/28; B01D 53/29; B01D 53/30; B01D 53/31; B01D 53/32; B01D 53/33; B01D 53/34; B01D 53/35; B01D 53/36; B01D 53/37; B01D 53/38; B01D 53/39; B01D 53/40; B01D 53/41; B01D 53/42; B01D 53/43; B01D 53/44; B01D 53/45; B01D 53/46; B01D 53/47; B01D 53/48; B01D 53/49; B01D 53/50; B01D 53/51; B01D 53/52; B01D 53/53; B01D 53/54; B01D 53/55; B01D 53/56; B01D 53/57; B01D 53/58; B01D 53/59; B01D 53/60; B01D 53/61; B01D 53/62; B01D 53/63; B01D 53/64; B01D 53/65; B01D 53/66; B01D 53/67; B01D 53/68; B01D 53/69; B01D 53/70; B01D 53/71; B01D 53/72; B01D 53/73; B01D 53/74; B01D 53/75; B01D 53/76; B01D 53/77; B01D 53/78; B01D 53/79; B01D 53/80; B01D 53/81; B01D 53/82; B01D 53/83; B01D 53/84; B01D 53/85; B01D 53/86; B01D 53/87; B01D 53/88; B01D 53/89; B01D 53/90; B01D 53/91; B01D 53/92; B01D 53/93; B01D 53/94; B01D 53/95; B01D 53/96
5.2.1.1-Aparelho de escape para motores de combustão com meios para o tratamento de gases de escape (<i>Exhaust apparatus for combustion engines with means for treating exhaust</i>)	F01N 3/00; F01N 3/01; F01N 3/02; F01N 3/021; F01N 3/022; F01N 3/023; F01N 3/025; F01N 3/027; F01N 3/028; F01N 3/029; F01N 3/031; F01N 3/032; F01N 3/033; F01N 3/035; F01N 3/037; F01N 3/038; F01N 3/04; F01N 3/05; F01N 3/06; F01N 3/08; F01N 3/10; F01N 3/18; F01N 3/20; F01N 3/22; F01N 3/24; F01N 3/26; F01N 3/28; F01N 3/30; F01N 3/32; F01N 3/34; F01N 3/36; F01N 3/38
5.2.1.2-Tornar os gases de escape inócuo (<i>Rendering exhaust gases innocuous</i>)	B01D 53/92; F02B 75/10
5.2.1.3-Eliminação de gases residuais e de partículas na produção de aço (<i>Removal of waste gases or dust in steel production</i>)	C21C 5/38
5.2.1.4-Aparelhos de combustão que utilizam a recirculação de gases de combustão (<i>Combustion apparatus using a recirculation of flue gases</i>)	C10B 21/18; F23B 80/02; F23C 9/00
5.2.1.5-Combustão de gases residuais e nocivos (<i>Combustion of waste gases or noxious gases</i>)	F23G 7/06
5.2.1.6-Sistema de controle elétrico para tratamento de gases de exaustão (<i>Electrical control of exhaust gas treating apparatus</i>)	F01N 9/00
5.3.1-Separação de partículas dispersas de gases e vapores (<i>Separating dispersed particles from gases or vapours</i>)	B01D 45/00; B01D 45/02; B01D 45/04; B01D 45/06; B01D 45/08; B01D 45/10; B01D 45/12; B01D 45/14; B01D 45/16; B01D 45/18; B01D 46/00; B01D 46/02; B01D 46/04; B01D 46/06; B01D 46/08; B01D 46/10; B01D 46/12; B01D 46/14; B01D 46/16; B01D 46/18; B01D 46/20; B01D 46/22; B01D 46/24; B01D 46/26; B01D 46/28; B01D 46/30; B01D 46/32; B01D 46/34; B01D 46/36; B01D 46/38; B01D 46/40; B01D 46/42; B01D 46/44; B01D 46/46; B01D 46/48; B01D 46/50; B01D 46/52; B01D 46/54; B01D 47/00; B01D 47/02; B01D 47/04; B01D 47/05; B01D 47/06; B01D 47/08; B01D 47/10; B01D 47/12; B01D 47/14; B01D 47/16; B01D 47/18; B01D 49/00; B01D 49/02; B01D 50/00; B03C 3/00
5.3.1.1-Remoção de partículas em fornos (<i>Dust removal from furnaces</i>)	C21B 7/22; C21C 5/38; F27B 1/18; F27B 15/12
5.4.1-Uso de aditivos para combustíveis ou incêndios para reduzir fumaça ou facilitar a remoção de fuligem (<i>Use of additives in fuels or fires to reduce smoke or facilitate soot removal</i>)	C10L 10/02; C10L 10/06; F23J 7/00
5.4.2-Modos de dispositivos para tratamento do cheiro ou queima nos aparelhos de combustão (<i>Arrangements of devices for treating smoke or fumes from combustion apparatus</i>)	F23J 15/00
5.4.3-Materiais que assentem ou absorvam a poeira (<i>Dust-laying or dust-absorbing materials</i>)	C09K 3/22
5.4.4-Alarmes de poluição (<i>Pollution alarms</i>)	G08B 21/12
5.5-Controle de poluição da água (<i>Control of water pollution</i>)	Classificação CIP
5.5.1-Tratamento de águas residuais ou de esgoto (<i>Treating waste-water or sewage</i>)	B63J 4/00; C02F
5.5.1.1-Para produção de fertilizantes (<i>To produce fertilisers</i>)	C05F 7/00
5.5.2-Materiais para tratamento de poluentes líquidos (<i>Materials for treating liquid pollutants</i>)	C09K 3/32
5.5.3-Remoção de poluentes em águas abertas (<i>Removing pollutants from open water</i>)	B63B 35/32; E02B 15/04
5.5.4-Instalação de canos para águas residuais (<i>Plumbing installations for waste water</i>)	E03C 1/12
5.5.5-Gestão de esgoto (<i>Management of sewage</i>)	C02F 1/00; C02F 3/00; C02F 9/00; E03F
5.6-Meios de prevenção de contaminação radioativa em caso de vazamento de reator (<i>Means for preventing radioactive contamination in the event of reactor leakage</i>)	G21C 13/10

E - Agricultura e Silvicultura (<i>AGRICULTURE / FORESTRY</i>)	Classificação CIP
1-Técnicas florestais (<i>Forestry techniques</i>)	A01G 23/00
2-Técnicas alternativas de irrigação (<i>Alternative irrigation techniques</i>)	A01G 25/00
3-Alternativas de pesticida (<i>Pesticide alternatives</i>)	A01N 25/00; A01N 25/02; A01N 25/04; A01N 25/06; A01N 25/08; A01N 25/10; A01N 25/12; A01N 25/14; A01N 25/16; A01N 25/18; A01N 25/20; A01N 25/22; A01N 25/24; A01N 25/26; A01N 25/28; A01N 25/30; A01N 25/32; A01N 25/34; A01N 27/00; A01N 29/00; A01N 29/02; A01N 29/04; A01N 29/06; A01N 29/08; A01N 29/10; A01N 29/12; A01N 31/00; A01N 31/02; A01N 31/04; A01N 31/06; A01N 31/08; A01N 31/10; A01N 31/12; A01N 31/14; A01N 31/16; A01N 33/00; A01N 33/02; A01N 33/04; A01N 33/06; A01N 33/08; A01N 33/10; A01N 33/12; A01N 33/14; A01N 33/16; A01N 33/18; A01N 33/20; A01N 33/22; A01N 33/24; A01N 33/26; A01N 35/00; A01N 35/02; A01N 35/04; A01N 35/06; A01N 35/08; A01N 35/10; A01N 37/00; A01N 37/02; A01N 37/04; A01N 37/06; A01N 37/08; A01N 37/10; A01N 37/12; A01N 37/14; A01N 37/16; A01N 37/18; A01N 37/20; A01N 37/22; A01N 37/24; A01N 37/26; A01N 37/28; A01N 37/30; A01N 37/32; A01N 37/34; A01N 37/36; A01N 37/38; A01N 37/40; A01N 37/42; A01N 37/44; A01N 37/46; A01N 37/48; A01N 37/50; A01N 37/52; A01N 39/00; A01N 39/02; A01N 39/04; A01N 41/00; A01N 41/02; A01N 41/04; A01N 41/06; A01N 41/08; A01N 41/10; A01N 41/12; A01N 43/00; A01N 43/02; A01N 43/04; A01N 43/06; A01N 43/08; A01N 43/10; A01N 43/12; A01N 43/14; A01N 43/16; A01N 43/18; A01N 43/20; A01N 43/22; A01N 43/24; A01N 43/26; A01N 43/28; A01N 43/30; A01N 43/32; A01N 43/34; A01N 43/36; A01N 43/38; A01N 43/40; A01N 43/42; A01N 43/44; A01N 43/46; A01N 43/48; A01N 43/50; A01N 43/52; A01N 43/54; A01N 43/56; A01N 43/58; A01N 43/60; A01N 43/62; A01N 43/64; A01N 43/66; A01N 43/68; A01N 43/70; A01N 43/72; A01N 43/74; A01N 43/76; A01N 43/78; A01N 43/80; A01N 43/82; A01N 43/84; A01N 43/86; A01N 43/88; A01N 43/90; A01N 43/92; A01N 45/00; A01N 45/02; A01N 47/00; A01N 47/02; A01N 47/04; A01N 47/06; A01N 47/08; A01N 47/10; A01N 47/12; A01N 47/14; A01N 47/16; A01N 47/18; A01N 47/20; A01N 47/22; A01N 47/24; A01N 47/26; A01N 47/28; A01N 47/30; A01N 47/32; A01N 47/34; A01N 47/36; A01N 47/38; A01N 47/40; A01N 47/42; A01N 47/44; A01N 47/46; A01N 47/48; A01N 49/00; A01N 51/00; A01N 53/00; A01N 53/02; A01N 53/04; A01N 53/06; A01N 53/08; A01N 53/10; A01N 53/12; A01N 53/14; A01N 55/00; A01N 55/02; A01N 55/04; A01N 55/06; A01N 55/08; A01N 55/10; A01N 57/00; A01N 57/02; A01N 57/04; A01N 57/06; A01N 57/08; A01N 57/10; A01N 57/12; A01N 57/14; A01N 57/16; A01N 57/18; A01N 57/20; A01N 57/22; A01N 57/24; A01N 57/26; A01N 57/28; A01N 57/30; A01N 57/32; A01N 57/34; A01N 57/36; A01N 59/00; A01N 59/02; A01N 59/04; A01N 59/06; A01N 59/08; A01N 59/10; A01N 59/12; A01N 59/14; A01N 59/16; A01N 59/18; A01N 59/20; A01N 59/22; A01N 59/24; A01N 59/26; A01N 61/00; A01N 61/02; A01N 63/00; A01N 63/02; A01N 63/04; A01N 65/00; A01N 65/02; A01N 65/04; A01N 65/06; A01N 65/08; A01N 65/10; A01N 65/12; A01N 65/14; A01N 65/16; A01N 65/18; A01N 65/20; A01N 65/22; A01N 65/24; A01N 65/26; A01N 65/28; A01N 65/30; A01N 65/32; A01N 65/34; A01N 65/36; A01N 65/38; A01N 65/40; A01N 65/42; A01N 65/44; A01N 65/46; A01N 65/48
4-Melhoria do solo (<i>Soil improvement</i>)	C09K 17/00; E02D 3/00
4.1-Adubos orgânicos derivados de resíduos (<i>Organic fertilisers derived from waste</i>)	C05F
F-Aspectos administrativos, regulamentares ou de design (<i>ADMINISTRATIVE, REGULATORY OR DESIGN ASPECTS</i>)	Classificação CIP
1-Comutação (<i>Commuting, e.g., HOV, teleworking, etc.</i>)	G06Q G08G
2-Comércio de emissões de carbono, por exemplo, créditos de poluição (<i>Carbon/emissions trading, e.g. pollution credits</i>)	G06Q
3-Concepção estrutural estática (<i>Static structure design</i>)	E04H 1/00
G-Geração de Energia Nuclear (<i>NUCLEAR POWER GENERATION</i>)	Classificação CIP
1-Engenharia Nuclear (<i>Nuclear engineering</i>)	G21
2-Reatores de fusão (<i>Fusion reactors</i>)	G21B
2.1-Reatores de fissão nuclear (<i>Nuclear (fission) reactors</i>)	G21C
2.2-Usina Nuclear (<i>Nuclear power plant</i>)	G21D
3-Usinas de turbina a gás que utilizem fonte de calor de origem nuclear (<i>Gas turbine power plants using heat source of nuclear origin</i>)	F02C 1/05

Fonte: *IPC Green Inventory (WIPO)*. Adaptado de Montenegro *et al.* (2022).

Quadro A.2 – Definição do índice de risco ambiental Trucost

Trucost geral e desagregações	Definição
Índice de Risco Ambiental Trucost	A pontuação ambiental Trucost representa a percentagem potencial de receita em risco dos custos ambientais totais das atividades da sua empresa. A pontuação é expressa em percentagem do volume de negócios, mas pode, na verdade, exceder 100%.
Gases Efeito Estufa (%)	A pontuação do efeito estufa representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa em relação a emissão de GEE.
Água (%)	A pontuação do uso da água representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa relacionados ao uso de água.
Resíduos (%)	A pontuação de resíduos representa a percentagem potencial de receita em risco proveniente dos custos de resíduos resultantes das atividades da empresa.
Poluentes Atmosféricos (%)	A pontuação dos poluentes atmosféricos representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa em relação aos poluentes atmosféricos.
Poluentes da Terra e da Água (%)	A pontuação dos poluentes terrestres e hídricos representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos das atividades da empresa com relação a poluentes terrestres e hídricos.
Recursos Naturais Utilizados (%)	A pontuação dos recursos naturais utilizados representa a percentagem potencial da receita em risco proveniente dos custos atividades da empresa com relação aos recursos naturais utilizados.

Fonte: Adaptado de Ahmadova *et al.* (2021)

Tabela A.1 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Padronizadas da Análise Multivariada

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Agricultura	0.197	0.189	0	1
Indústria	0.428	0.202	0	1
Receita dos Recursos Naturais	0.127	0.191	0	1
Emprego na Indústria	0.795	0.199	0	1
Ensino Superior	0.441	0.193	0	1
Patentes Verdes	0.084	0.216	0	1
P&D	0.323	0.239	0	1
Pesquisadores	0.436	0.282	0	1
Colaboração Internacional	0.100	0.233	0	1
Área Florestal	0.069	0.176	0	1
Emissões de GEE	0.057	0.155	0	1
Precificação de Carbono	0.495	0.245	0	1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela A.2 - Matriz de Correlação das Variáveis Utilizadas na Análise Multivariada

Variáveis	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12
Agricultura (x1)	1											
Indústria (x2)	0,2328	1										
Receita dos Recursos Naturais (x3)	0,3402	-0,0872	1									
Emprego na Indústria (x4)	-0,8636	-0,2973	-0,1677	1								
Ensino Superior (x5)	-0,3145	-0,1715	-0,0659	0,3306	1							
Patentes Verde (x6)	-0,1341	0,2408	-0,1745	0,0851	0,0581	1						
P&D (x7)	-0,4284	0,1642	-0,2873	0,3864	0,2872	0,5486	1					
Pesquisadores (x8)	-0,5858	-0,0169	-0,2997	0,6147	0,389	0,2104	0,7963	1				
Colaboração Internacional (x9)	0,0175	0,2828	-0,1385	-0,0776	0,0326	0,9153	0,5419	0,1782	1			
Área Florestal (x10)	0,1195	-0,0779	0,5974	-0,0261	0,013	0,1601	-0,025	-0,1498	0,1899	1		
Emissões de GEE (x11)	0,29	0,2575	0,0997	-0,3238	-0,1176	0,5631	0,1499	-0,1822	0,6073	0,4077	1	
Precificação de Carbono (x12)	-0,5886	-0,0979	-0,5226	0,4978	0,2346	-0,0959	0,3784	0,6381	-0,0959	-0,4782	-0,3869	1

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados

Quadro A.3 – Configuração dos Países pela Carga Fatorial da AF

Posição	Fator 1 (Emprego e Qualificação)	Fator 2 (Capacidade Inovativa Ambiental)	Fator 3 (Estratégias Ambientais)
1	Noruega	China	Rússia
2	Dinamarca	EUA	Brasil
3	Suécia	Coreia do Sul	Austrália
4	Austrália	Japão	EUA
5	EUA	Alemanha	Canadá
6	Áustria	Índia	Chile
7	Finlândia	Suécia	Noruega
8	Coreia do Sul	França	Malásia
9	Hong Kong	Áustria	China
10	Suíça	Suíça	África do Sul
11	Holanda	Finlândia	Colômbia
12	Rússia	Dinamarca	Indonésia
13	Cingapura	Irlanda	Letônia
14	Bélgica	Tailândia	Argentina
15	Islândia	Reino Unido	Hong Kong
16	França	Canadá	Chipre
17	Canadá	República Tcheca	Estônia
18	Reino Unido	Bélgica	Nova Zelândia
19	Alemanha	Rússia	Polônia
20	Luxemburgo	Eslovênia	Malta
21	Japão	Brasil	Suécia
22	Eslovênia	Holanda	México
23	Grécia	Itália	Croácia
24	Espanha	Turquia	Turquia
25	Estônia	Indonésia	Grécia
26	Portugal	Cingapura	Finlândia
27	Nova Zelândia	Hungria	Costa Rica
28	Chipre	Malásia	Espanha
29	Irlanda	Islândia	Índia
30	Lituânia	Polônia	Bélgica
31	Letônia	Espanha	Japão
32	Malta	México	Reino Unido
33	Itália	Eslováquia	Dinamarca
34	República Tcheca	Austrália	Holanda
35	Croácia	Portugal	França
36	Polônia	Nova Zelândia	Portugal
37	Hungria	Romênia	Lituânia
38	Eslováquia	Estônia	Romênia
39	Chile	Lituânia	Áustria
40	Argentina	Argentina	Islândia

41	Turquia	Grécia	Eslováquia
42	Brasil	Croácia	Hungria
43	Costa Rica	África do Sul	Alemanha
44	África do Sul	Noruega	República Tcheca
45	Romênia	Colômbia	Cingapura
46	México	Costa Rica	Tailândia
47	Malásia	Luxemburgo	Itália
48	Colômbia	Letônia	Luxemburgo
49	Tailândia	Malta	Eslovênia
50	China	Chile	Suíça
51	Indonésia	Hong Kong	Coreia do Sul
52	Índia	Chipre	Irlanda

Fonte: Elaboração própria.

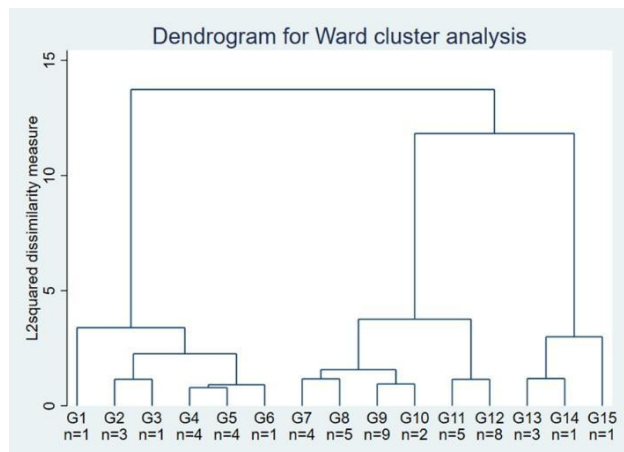
Quadro A.4 - Resultados dos Agrupamentos pelos Métodos Hierárquicos

Número de grupos	Métodos Hierárquicos											
	Método de Ward			Método Single Linkage			Complete Linkage			Average Linkage		
	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²	Pseudo F	Je(2)/Je(1)	Pseudo T ²
1	n.d.	0,7532	16,39	n.d.	0,9242	4,11	n.d.	0,8013	12,40	n.d.	0,9240	4,11
2	16,39	0,6226	21,82	4,11	0,9246	4,00	12,40	0,8385	8,86	4,11	0,9246	4,00
3	20,82	0,7362	11,11	4,18	0,9060	4,98	11,61	0,6865	20,09	4,18	0,7621	14,98
4	17,82	0,6792	5,67	4,67	0,9609	1,91	16,80	0,5635	6,97	8,57	0,7585	14,01
5	16,76	0,4302	3,97	4,05	0,9013	5,04	15,54	0,7745	9,61	11,58	0,5575	2,38
6	16,48	0,6857	5,04	4,52	0,8943	5,32	15,94	0,0000	n.d.	9,99	0,4782	2,19
7	16,10	0,7706	5,36	5,01	0,8598	7,18	14,80	0,4772	2,19	8,87	0,9505	2,03
8	15,43	0,4772	2,19	5,91	0,0000	n.d.	13,66	0,6941	9,69	8,06	0,4370	2,58
9	14,66	0,6164	4,36	5,19	0,9566	1,91	14,64	0,7297	4,08	7,39	0,6504	20,42
10	14,21	0,3908	3,12	4,92	0,9558	1,90	13,93	0,7047	3,35	11,70	0,3455	1,89
11	14,00	0,6852	5,05	4,72	0,9655	1,43	13,80	0,3455	1,89	10,95	0,7746	4,07
12	14,03	0,5745	6,66	4,46	0,8404	7,41	13,17	0,7238	3,43	10,93	0,8661	3,40
13	13,96	0,6987	3,02	5,36	0,9457	2,13	13,24	0,5992	3,35	10,92	0,8177	2,68
14	14,03	0,6282	3,55	5,26	0,0000	n.d.	13,18	0,5484	3,29	10,59	0,6483	10,85
15	14,05	0,3455	1,89	4,86	0,9766	0,86	13,57	0,7401	3,51	12,67	0,6825	5,12

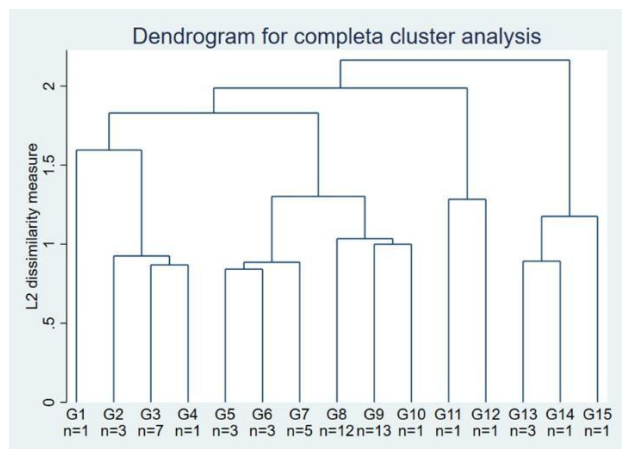
Fonte: Elaboração própria a partir do Stata 15.0

Figura A.1 - Análise dos Dendogramas para os Métodos Hierárquicos

Dendograma para o método hierárquico *Ward*

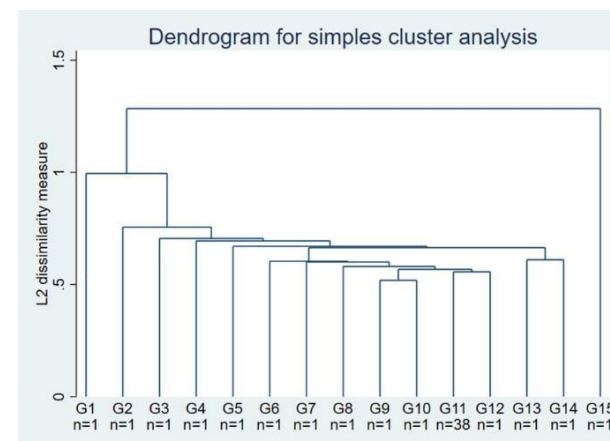


Dendograma para o método hierárquico complete linkage

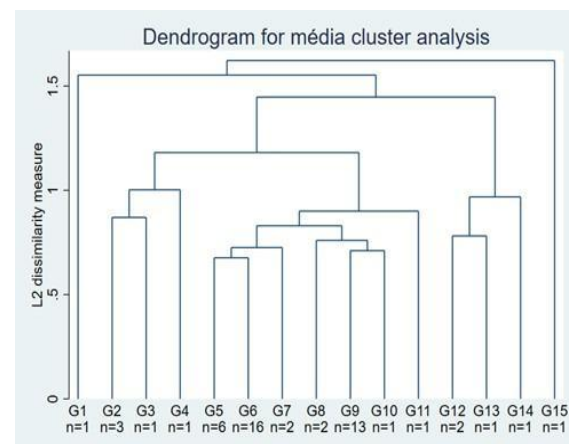


Fonte: Elaboração própria a partir do Stata 15.0

Dendograma para o método hierárquico *single linkage*



Dendograma para o método hierárquico *average linkage*



**Tabela A.3 – Estatísticas Descritivas das Variáveis Utilizadas no
Modelo Econométrico (2016-2018)¹⁷**

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Trucost _t	0,606	1,201	-1,514	8,064
PatentesVerdes _{t-1}	0,014	0,199	0	8,644
PatentesVerdes _{t-2}	0,017	0,218	0	8,644
IntVerde _{t-1}	0,0007	0,029	0	10
IntVerde _{t-2}	0,0009	0,032	0	10
Lucro _{t-1}	8,797	2,216	-9,239	22,426
Lucro _{t-2}	8,774	2,205	-10,529	22,426
Tamanho _{t-1}	5,452	2,159	-5,809	14,648
Qualidade _{t-1}	0,0002	0,031	0	16
(PatenteVerde*Tamanho)	0,073	0,870	-0,248	20,681
Internacionalização	0,009	0,095	0	1

Fonte: Elaboração Própria

¹⁷ A fim de amenizar a escala das variáveis, todas foram colocadas em *ln* na realização das estimações.

Tabela A.4 - Matriz de Correlação das Variáveis Utilizadas no Modelo Econométrico

Variáveis	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Trucost (x1)	1									
Patente Verde _{t-1} (x2)	0,0026	1								
Patente Verde _{t-2} (x3)	0,0021	0,9446	1							
IntVerde _{t-1} (x4)	-0,0039	0,2496	0,198	1						
IntVerde _{t-2} (x5)	-0,005	0,1857	0,2215	0,5366	1					
Lucro _{t-1} (x6)	-0,0354	0,1565	0,1585	0,0444	0,0456	1				
Lucro _{t-2} (x7)	-0,0428	0,1539	0,1568	0,0423	0,0459	0,8851	1			
Tamanho _{t-1} (x8)	0,0684	0,1407	0,149	0,0381	0,0396	0,5038	0,506	1		
Qualidade _{t-1} (x9)	0,0016	0,1007	0,1067	0,0099	0,0109	0,0265	0,0268	0,0235	1	
(PatenteVerde*Tamanho) (x10)	0,0088	0,8149	0,8073	0,2023	0,1792	0,1814	0,1785	0,1759	0,1212	1
Internacionalização (x11)	0,0047	0,0098	0,0119	-0,0016	0,0033	0,0648	0,0641	0,0573	0,0032	0,0236

Fonte: Elaboração Própria