



VIII ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e
Inovação

POLÍTICA INDUSTRIAL E
ECONOMIA DO CONHECIMENTO:
NOVAS ESTRATÉGIAS DE
DESENVOLVIMENTO PARA O BRASIL

20 a 23 de Maio de 2024



***Drivers* Externos para a Redução da Intensidade de Emissões da Firma**

Leonardo Schmitz Mosca¹

Rosa Livia Gonçalves Montenegro²

Resumo: Este artigo tem o intuito de investigar a influência dos *drivers* externos para a redução de gases causadores do efeito estufa. O estudo é conduzido observando o comportamento dos determinantes das emissões no período de 2015 até 2019, as unidades de observação são as próprias firmas emissoras. A literatura entende que tanto os *drivers* internos quanto externos impactam o grau de emissões das firmas. Os *drivers* externos são aqueles que a firma não pode controlar, advindos de fatores do ambiente onde ela está inserida. Emprega-se então a metodologia de dados em painel com efeitos aleatórios para realizar as estimações. Estima-se um modelo geral, sem distinguir o setor, e modelos específicos para sete setores da indústria. Os resultados obtidos estão em consonância com a maioria da literatura.

Palavras-chave: Emissões; Eco-inovação; Dados em painel.

Código JEL: Q55; Q58

Área Temática: 7.2 Eco-inovações

External Drivers for Reducing Firm's Emissions Intensity

Abstract: The purpose of this article is to investigate the influence of external factors on the reduction of greenhouse gas emissions. The study is conducted by observing the behavior of the determinants of emissions in the period from 2015 to 2019, the observation units are the issuing companies themselves. According to the literature, both internal and external drivers affect the level of emissions of companies. The external drivers are those that are beyond the control of the company and result from factors in the environment in which it operates. The random effects panel data methodology is then used to perform the estimations. A general model is estimated without distinguishing the sector, and specific models are estimated for seven sectors of the industry. The results obtained are in line with most of the literature.

Keywords: Emissions; Eco-innovation; Panel data.

¹Doutorando no PPGEA (Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada) da Universidade Federal de Juiz de Fora. Contato: lschmitzmosca@gmail.com

²Professora do PPGEA da Universidade Federal de Juiz de Fora. Contato: rosa.livia@ufjf.br

1. Introdução

Ecoinoações são um conjunto complexo de tecnologias, métodos e sistemas que buscam diminuir o efeito ambiental da produção ou do uso de um produto (Rennings, 2000). James (1997) define a ecoinoação como novos produtos ou processos que oferecem valor ao comprador, mas, diminuindo de forma significativa o impacto ambiental. A adoção destas tecnologias nem sempre se dá de forma direta pelas empresas. Assim como toda a inovação, incentivos são necessários para que a firma invista para adequar sua produção à uma configuração mais sustentável. A complexidade da inovação ambiental é, com frequência, analisada na literatura. Tem-se as inovações destinadas ao tratamento resíduos gerados diminuindo assim o impacto da produção, essas inovações são chamadas de *end of pipe*. Já as inovações que melhoram a produção como um todo, ao tornar a produção mais eficiente ou deixando de produzir os rejeitos danosos é chamada de *cleaner production* (Fronzel et al., 2007).

O intuito deste trabalho é analisar como as influências no nível macro (ambiente institucional do país, grau de inovação do país, nível de desenvolvimento e o grau de regulação ambiental), afetam as emissões das firmas contidas nestes locais. Compreender como o ambiente no qual a firma está inserida afeta a intensidade da geração de gases do efeito estufa (variável dependente deste trabalho) é primordial para avaliar quais são as políticas corretas para gerar melhorias em determinados setores da economia. Parte da literatura em ecoinoações busca compreender como a cultura interna da firma ou sua estrutura impacta na adoção ou desenvolvimento de tecnologias limpas (Cai e Li, 2018; Bossle et al., 2016; Hojnik e Ruzzier, 2016; Keshminder e del Río, 2019). Os *drivers* externos, por sua vez, são configurados como as regulações estatais ou as preferências dos consumidores (Cai e Zhou, 2014; Bossle et al., 2016).

Este artigo tem como objetivo analisar a maneira que incentivos do ambiente externo da firma, afetam a intensidade das emissões de gases causadores do efeito estufa de sua produção e processo. Entende-se que a intensidade em emissões pode ser uma *proxy* para o impacto ambiental da empresa (Bonesmo et al., 2012; Feng et al., 2017; Rokhmawati et al., 2017, 2015). Utilizando a abordagem de dados em painel com as variáveis selecionadas, é possível compreender como os mecanismos externos afetam a intensidade em dano ambiental da firma. A escolha pela investigação dos mecanismos externos se dá pela configuração da base de dados, retirada de Serafeim e Velez Caicedo (2022), que agrega informações sobre emissões de firmas de diversos países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento.

O artigo utiliza como variáveis: medidas de inovação verde nacional, uma *dummy* para pertencimento da OECD³, o grau de severidade da legislação ambiental, o PIB *per capita* do país e o tamanho da firma. Com isso, espera-se controlar em parte os mecanismos que influenciam a intensidade em emissões da firma. Ao conhecer de maneira mais específica como cada *driver* externo afeta a firma seria possível recomendar políticas públicas mais focalizadas para o setor.

Encontram-se resultados convergentes para a maioria dos setores, com o papel das inovações sendo significativo e negativo para a intensidade de emissões da firma. Além disso, teve-se um efeito dicotômico para a variável que representa a OECD e para a variável de PIB *per capita*, com a primeira variável sendo positiva e significativa e a segunda sendo negativa e significativa. Encontrou-se que o tamanho das firmas impacta negativamente na intensidade de emissões, dando indícios de que a escala da firma pode afetar esta dinâmica, no mesmo sentido que previsto na literatura (Caravella e Crespi, 2020; Hojnik e Ruzzier, 2016). Também em concordância com a literatura (Wagner e Llerena, 2011), encontra-se que as regulações estatais (exógenas às firmas), também possuem um efeito significativo e negativo para alguns setores. Para os setores que não tiveram um sinal esperado, entende-se que o curto período do painel pode ser responsável por este resultado.

Este presente estudo está construído da seguinte maneira: a literatura da área está contida na Subseção 1.1, a metodologia (juntamente de ponderações sobre a base de dados),

³Tentativa inicial de *proxy* para o nível de desenvolvimento institucional do país na análise.

está na Seção 2. Por sua vez, os resultados preliminares se encontram na Seção 3 e a Seção 4 expõe as considerações finais e sugestões de ajustes futuros para o presente artigo.

1.1 Literatura

Bossle et al. (2016) fazem uma tentativa de compreender os *drivers*⁴ da ecoinovação. Os autores argumentam que, em diversos casos, a adoção da inovação ambiental pode não ser economicamente atrativa. Segundo o modelo teórico proposto pelos autores, o tamanho; setor e presença regulatória do governo podem servir como *drivers* para a adoção de ecoinovações. Contudo, com uma pressão regulatória bem desenhada por um agente responsável pela regulação, a firma pode passar a adotar estas inovações para reduzir seu impacto ambiental. Além disso, Bossle et al. (2016) entendem que a adoção de uma prática mais amigável às práticas sustentáveis é causada por uma conjunção de fatores, com a firma respondendo ao incentivo que for mais forte.

Cai e Zhou (2014) analisam os *drivers* internos e externos para a geração e adoção de ecoinovações em firmas chinesas. Os *drivers* internos são os fatores que fazem com que a empresa, de maneira independente, busque ampliar a sua capacidade de produção sustentável e adotar processos mais limpos. Isso pode ter como motivação, além de uma racionalização altruísta, utilizar seus insumos de maneira mais eficiente e consequentemente ser mais produtiva. Por outro lado, os *drivers* externos são advindos de regulações estatais e pressões do mercado consumidor, seja ele externo ou interno. Um questionário é empregado por Cai e Zhou (2014) para verificar a influência dos *drivers* internos e externos nas firmas, encontra-se que há uma correlação entre os fatores internos e externos. Além disso, entende-se que a capacidade integrativa⁵ da firma também é um fator importante para a adoção e para o desenvolvimento de ecoinovações.

O trabalho de Fernández et al. (2021) busca compreender quais são os determinantes para a adoção de inovações ambientais, em uma economia de um país em desenvolvimento e exportador de *commodities*, no caso, o Chile. Segundo os autores, os *drivers* para países em desenvolvimento podem não ser os mesmos que para países desenvolvidos. Para as empresas chilenas, tem-se que a aquisição de equipamentos, máquinas e *softwares*, acrescidos de cooperações externas, estão entre os principais incentivos para a adoção de inovações por parte das firmas. O método utilizado por Fernández et al. (2021) foi o de um *probit* multivariado.

Díaz-García et al. (2015) fazem uma revisão sistemática da literatura, tendo o intuito de expor as contribuições mais importantes no campo e dar destaque aos trabalhos feitos até o momento da revisão. Segundo os autores há um aumento considerável no número de publicações após o ano de 2007. Entende-se que o uso do termo deveria abranger todo o ciclo de produção e insumos de uma inovação ecológica, ou seja, todas as características internas e externas do processo. Também é ressaltada a importância relativa de fatores locais onde tem-se uma maior densidade de inovação e *spillovers* de conhecimento. A falta de dados para lidar com a questão dos *drivers* da inovação em nível micro (ou seja, da firma), também é levantada pelos autores.

Já García-Granero et al. (2018) fazem uma revisão crítica da literatura sobre indicadores ambientais, sendo estas as variáveis utilizadas nos trabalhos para medir o impacto ambiental, a qualidade de inovações, a propensão da firma a inovar, etc. A diminuição de emissões e o melhor uso de recursos, é exposta como um dos fatores constantemente utilizados na literatura para estimar o impacto ambiental de uma firma. Isso auxilia a definir a escolha pela variável independente neste presente trabalho, dado que a

⁴Os *drivers* são as motivações que levam uma firma a adotar ou desenvolver uma inovação ambiental, podendo ter origem em regulações, prospectos de lucro, pressão dos consumidores e outros tipos de influências.

⁵Capacidade da firma de adotar e internalizar uma inovação desenvolvida ou adquirida, (Teece et al., 1997).

intensidade na emissão de gases causadores do efeito estufa possui a capacidade de sintetizar essa informação.

Cai e Li (2018) expõe alguns dos fatores considerados como importantes para a firma optar por adotar inovações ambientais. Entre os *drivers* internos se destaca a capacidade dessa firma de fazer uso da tecnologia, dado que os autores ainda afirmam que é indispensável oferecer um ambiente institucional que auxilie as firmas a investir de maneira conjunta e com cooperação. Entende-se que a capacidade de absorver conhecimento passa pela oferta de formação técnica, dado que a absorção das inovações requer que ao menos parte da mão de obra seja qualificada para isso.

Analizando e comparando Alemanha, Polônia e Ucrânia Hrabynskyi et al. (2017) afirmam que as principais barreiras ao desenvolvimento de inovações são identificadas como a falta de recursos financeiros dentro das empresas, falta de financiamento externo, demanda incerta no mercado, retorno incerto do investimento, regulamentações sem propósito claro e a falta de conhecimento e experiência. A análise dos autores foi feita com base em um questionário, metodologia comum para verificar *drivers* internos das firmas. A comparação entre os países também ajuda a compreender como diferentes ambientes institucionais podem ajudar ou prejudicar a adoção de tecnologias verdes. Os autores também apontam, como *drivers* positivos importantes, a reputação da empresa, capacidade de redução de custos da tecnologia e as regulações governamentais.

Hojnik e Ruzzier (2016) utilizam de questionários para compreender onde estão os facilitadores e os entraves da adoção de ecoinovações de firmas eslovenas ativas no ramo de conhecimento sustentável. Entende-se que, segundo os autores, os drivers internos e externos são importantes para a adoção de inovações. Porém, as limitações internas são mais importantes que as externas para o processo ser barrado e a inovação não ir em frente. Como se tratam de apenas cinco firmas, os autores fazem uma análise individualizada dos resultados de cada uma, indicando quais os principais *drivers* e quais as individualidades de cada. As firmas não eram homogêneas em porte, reforçando que algum tipo de controle por tamanho é importante para a aplicação de métodos econométricos.

Alos-Simo et al. (2020) abordam a falta de consenso sobre como a eco-inovação impacta o desempenho, explorando sua influência nas receitas da empresa por meio de inovações de produtos. Diferentes estudos apresentam visões conflitantes sobre a relação entre eco-inovação e desempenho, com alguns sugerindo efeitos positivos na participação de mercado, mas não no crescimento das vendas. O estudo aprofunda-se em análises em nível de setor e organizacionais, comparando dados de indústrias com diferentes níveis de tecnologia. A fundação teórica baseia-se na Visão Baseada em Recursos Naturais (NRBV), que estende a Visão Baseada em Recursos (RBV). A NRBV considera a interação entre organizações e o ambiente natural, enfatizando a necessidade de usar recursos e capacidades sustentáveis. A pesquisa descobre que todos os cinco setores apresentam um impacto positivo dos objetivos de eco-inovação nos resultados da empresa, especificamente em termos de receita, dois anos após a implementação das estratégias de eco-inovação.

Em Caravella e Crespi (2020) encontramos várias contribuições notáveis. Em primeiro lugar, fornece uma representação mais abrangente do panorama de inovação ambiental (EI) na Itália, identificando padrões de inovação distintos. Em segundo lugar, revela que o impacto das políticas públicas em estimular práticas de EI varia em sinal e magnitude entre diferentes ferramentas e modelos de políticas de EI. Essa descoberta adiciona novas dimensões ao discurso sobre inovação em políticas ambientais, enfatizando a necessidade de ações políticas adaptadas com base em metas específicas de tecnologia. Caravella e Crespi (2020) sugerem que os formuladores de políticas devem selecionar cuidadosamente domínios focais para evitar respostas contraditórias das metas políticas, destacando a importância de alinhar o design das políticas com o potencial transformador. Apesar dessas contribuições, o estudo reconhece limitações, enfatizando a necessidade de mais pesquisas para explorar aspectos específicos de diferentes ferramentas de políticas, avaliar o impacto monetário das políticas de inovação e comparar resultados com outros países para avaliar a generalização.

Costantini et al. (2015) investiga o impacto de instrumentos de políticas de demanda e impulso tecnológico nas atividades de inovação no setor de biocombustíveis. Analisando patentes internacionais e políticas em nível de país, os resultados sugerem que uma combinação de ambos os tipos de políticas é essencial para uma evolução tecnológica positiva. Instrumentos de implementação baseados em preço têm um impacto maior na inovação do que os baseados em quantidade, com variações baseadas na maturidade das tecnologias de biocombustíveis. Os resultados informam o debate em andamento sobre reforma de políticas de energia renovável e defendem designs de políticas adaptadas para estimular a inovação no setor de biocombustíveis. O estudo destaca a necessidade de mais pesquisas sobre o design de misturas de políticas, derramamentos de políticas internacionais e seu impacto na mudança tecnológica em domínios ambientais.

Ghisetti e Pontoni (2015) examina o papel da intervenção política e pesquisa e desenvolvimento (P&D) como determinantes da inovação ambiental (EI). Através de uma revisão qualitativa e análise de meta-regressão de 43 artigos empíricos, os resultados revelam que a rigorosidade regulatória tem mais probabilidade de influenciar a EI em comparação com outros tipos de políticas. Além disso, ao analisar a P&D, as especificações transversais têm menos probabilidade de identificá-la como um determinante da EI. O estudo enfatiza a importância de considerar uma perspectiva temporal na análise de P&D e sugere que os formuladores de políticas devem se concentrar na coordenação de padrões regulatórios comuns para aprimorar a EI. O estudo pede pesquisas futuras para harmonizar métricas para melhor replicabilidade e reconhece as limitações da análise atual.

Kivimaa (2007) explica que os mecanismos de desenvolvimento da inovação e o impacto de incentivos públicos no desempenho ambiental são complexos. As políticas ambientais nem sempre levam a resultados esperados, e a relação entre políticas e inovação é influenciada por fatores de mercado, tecnologia e heterogeneidade das empresas. Inovações podem preceder políticas, influenciando o processo de formulação de políticas. O autor sugere que as políticas devem ser elaboradas para promover melhor as inovações ambientais. A discussão deve mudar da adequação de instrumentos políticos específicos para identificar características comuns que apoiam a inovação em várias abordagens políticas. Na indústria de papel e embalagem nórdica, políticas ambientais têm um impacto direto em inovações de processo, mas afetam o desenvolvimento de produtos indiretamente, estabelecendo tendências e bases de desempenho ambiental. A inovação de processo é mais provável quando as regulamentações visam processos de produção, enquanto as inovações de produto podem surgir quando as políticas se concentram em produtos, como visto na indústria automobilística.

O trabalho realizado por Wagner e Llerena (2011) oferece quatro insights principais sobre eco-inovação, o primeiro é que a regulamentação frequentemente atua como um facilitador para o aumento da difusão de eco-inovações. Pesquisas futuras devem explorar as interações entre fatores socioeconômicos, demanda de mercado e drivers relacionados ao contexto institucional para entender o efeito de aumento de difusão das eco-inovações. Em segundo lugar, há uma natureza ascendente para a eco-inovação, as bases de conhecimento relacionadas a ela são dependentes do caminho. Em terceiro lugar, há o reconhecimento do papel de ONGs e cooperação, especialmente em relação às capacidades das empresas e cooperação com partes interessadas como ONGs ambientais. Por último, Wagner e Llerena (2011) menciona o contexto da indústria e setorial, afirmando que diferenças culturais nacionais são raramente observadas, sugerindo que os contextos setoriais importam mais. Pesquisas futuras devem explorar as diferenças entre indústrias, particularmente entre setores como indústrias químicas e automobilísticas, para melhorar a compreensão de como elas moldam a regulamentação e a formulação de políticas em direção à eco-inovação.

2. Metodologia

2.1 Base de dados

Este artigo valeu-se de uma abordagem de dados em painel, indexando as observações por firma e por ano. Dadas limitações⁶ na disponibilidade de dados para algumas variáveis da base da OECD, estimou-se um painel para os anos de 2015 até 2019. Inicialmente, optou-se por rodar um modelo único com todas as firmas. Após esta estimação, dividiu-se a amostra em diversos setores industriais e foram realizadas estimações específicas para cada um dos setores. A análise setorial se faz necessária pela conhecida heterogeneidade desta temática, com cada indústria respondendo à incentivos de maneira diferente (Alos-Simo et al., 2020; Laforet, 2013).

Os dados utilizados para o estudo são retirados do trabalho de Serafeim e Velez Caicedo (2022), que oferecem um indicador de intensidade da firma em gases causadores do efeito estufa, da OECD⁷ que oferece os países membros da OECD e o número de patentes ambientais para o país de cada firma analisada. Como relatado anteriormente, este presente artigo se limita a analisar os *drivers* a nível macro que afetam a firma. Essa limitação da base de dados direciona o trabalho para o caminho descrito anteriormente.

Dada a característica da base de dados, que apresenta informações de firmas para diversos anos, optou-se pela abordagem de dados em painel. A estatística descritiva das variáveis utilizadas encontram-se disponíveis no Apêndice A.

2.2 Estratégia de estimação

A Equação 1 apresenta o modelo a ser estimado neste presente trabalho, sendo este um modelo de dados em painel com efeitos fixos. O modelo de efeitos fixos foi escolhido para todos os modelos, dado que se considera este modelo mais eficiente quando o valor do testes de Hausman, é superior à 0.05, (Wooldridge, 2010).

$$GHGIntensity_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 \times \log(lag(inov_{i,t-1})) + \beta_2 \times OECD_{i,t} + \beta_3 \times \log(lag(pol_{i,t-1})) + \beta_4 \times \log(pibpc_{i,t}) + \beta_5 \times \log(tamanho_{i,t}) + \mu_{i,t} \quad (1)$$

A variável dependente, $GHGIntensity_{i,t}$ é a intensidade de emissões de gases do efeito estufa da firma i em relação às suas vendas no período t . A variável $inov$ indica quantas patentes foram registradas no país de origem da firma i no período t . Já a variável $OECD$ é uma *dummy* que indica se o país da firma i é membro desta organização. Em $pol_{i,t-1}$ tem-se a severidade das regulações ambientais no país da firma i no período t . Sabe-se ainda que α é o parâmetro desconhecido a ser estimado e $\mu_{i,t}$ é o termo de erro do modelo.

Para verificar qual era o modelo mais eficiente, o teste de Hausman foi empregado para verificar qual o mais eficiente entre os resultados dos modelos de efeitos fixos e os modelos de efeitos aleatórios. Em todos os casos⁸, foi recomendada a adoção de efeitos fixos. Este modelo é mais eficiente que o de efeitos aleatórios quando os efeitos individuais são correlacionados com os outros regressores (Greene, 2011). Além disso, tem-se a utilização da estimação por *Feasible Generalized Least Squares*⁹ (FGLS), com o intuito de lidar com a heterocedasticidade detectada nos modelos originais. A utilização deste estimador pode ser complementar à análise feita com o painel de efeitos fixos tradicionais, dado que o FGLS pode ser útil para chegar a coeficientes eficientes, porém, pode ter problemas para testar a validade das hipóteses (Hansen, 2007; Reed e Ye, 2011). Assim, além da estimação via FGLS, apresentam-se neste trabalho, resultados para painéis de efeito fixo convencionais. Espera-se que, dada uma convergência entre os modelos, tenha-se a possibilidade de interpretar os resultados de uma forma mais assertiva.

⁶Não há informações disponíveis para muitos países no período pré 2014.

⁷Disponíveis em <https://data.oecd.org>.

⁸Para todos os setores estudados neste artigo e também para o modelo geral.

⁹Também conhecido como estimador de Park.

3. Resultados

Os resultados aqui apresentados são característicos de um estudo feito para diversos setores, com peculiaridades individuais para alguns deles, mas, com uma convergência entre algumas variáveis com efeitos bem estabelecidos pela literatura. Entende-se, preliminarmente, que alguns *drivers* parecem ser mais importantes que outros. Encontrou-se que, em um nível macro, as inovações possuem um efeito menor em comparação a outras variáveis que afetam as emissões. Outras características externas à firma aparentam possuir efeitos maiores, como o tamanho, pertencimento à OECD e o PIB *per capita*.

Os resultados do modelo geral mostram uma significância positiva da variável OECD, indicando que países membros dessa organização tendem a ser mais intensivos em emissões. Os resultados do modelo geral mostram uma significância positiva da variável OECD, indicando que países membros desta organização tendem a ter uma intensidade de emissões maior. A interpretação desta variável pode ser dada pelo fato de que as economias dos membros desta organização tendem a possuir um setor produtivo mais desenvolvido industrialmente, potencialmente concentrando atividades intensivas em emissões. Há certo contraste ao se comparar este resultado com a da variável que mensura a influência do PIB *per capita*. Entende-se que países com nível de renda mais elevado podem ter maior facilidade em encontrar mão de obra qualificada para utilizar inovações ambientais e respeitar regulações impostas pelo governo.

Tabela 1. Resultados para o modelo geral

<i>Variável dependente: Intensidade de emissões</i>		
	(Efeitos fixos via FGLS)	(Efeitos fixos)
log(lag(inov))	0.035*** (0.0004)	0.035 (0.049)
OECD	1.662*** (0.003)	1.657*** (0.529)
log(lag(pol))	-0.095*** (0.002)	-0.093 (0.178)
log(pibpc)	-0.388*** (0.002)	-0.385 (0.276)
log(tamanho)	-0.046*** (0.0002)	-0.046 (0.058)
R ²	0.0196	0.0183
Número	1938	1938

Fonte: Elaboração própria.

Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Ainda na Tabela 1, ressalta-se o baixo valor do R^2 da estimação, o que corrobora a hipótese de que há uma grande heterogeneidade entre os setores. Como cada setor responde à estímulos de maneira diferente, a relação entre as variáveis explicativas com a variável dependente fica prejudicada.

Já na Tabela 2, tem-se o resultados das estimações para setores desagregados da base geral. A desagregação setorial é bem aceita na literatura, com diversos autores sugerindo que cada tipo de indústria possui um incentivo distinto para a adoção de inovações ambientais (Bossle et al., 2016; Fernández et al., 2021; Cai e Zhou, 2014). Para o setor elétrico, químico e de mineração, tem-se um efeito significativo e negativo da inovação ambiental. Ou seja, quanto mais conhecimento em inovações ambientais é produzido no país da firma i , menor é sua intensidade em emissão de gases causadores do efeito estufa. Dentre todos os resultados obtidos, destaca-se este, dado que há uma clara indicação que inovações ambientais mostram uma correlação com uma diminuição relativamente rápida (dado o curto período analisado), da intensidade de emissões das firmas destes setores.

A *dummy* que indica se o país é membro da OECD foi positiva e significativa para todos os modelos. Isso indica que, para diversas indústrias, ser membro da OECD está relacionado a ser mais intensa em emissões de gases causadores do efeito estufa. Este resultado pode ser explicado pela maior concentração de atividades intensivas em emissões em países mais economicamente desenvolvidos (Díaz-García et al., 2015; Bossle et al., 2016). Em muitos aspectos, considera-se que a OECD pode ser um indicativo de saúde institucional para os países. Assim, entende-se que este alto nível de desenvolvimento institucional pode estar relacionado a uma capacidade maior em absorver inovações e regulações. No caso da presente pesquisa, talvez pelo curto período analisado, não foi encontrada esta correlação. Apesar disso, sabe-se que o bloco agrega países relativamente distintos e os resultados devem ser interpretados com cautela.

A severidade da política ambiental apresentou sinais diferentes para cada setor. Os setores elétricos, de mineração e de manufaturas foram positivos e significativos nos painéis de efeito fixo estimados (o que não era esperado). Já para a estimação via FGLS, teve-se um efeito negativo e significativo para o setor químico e de construção. Nos demais setores, teve-se um efeito positivo e significativo. Esses resultados inconsistentes podem decorrer da relativa limitação do período analisado. Sabe-se que regulações podem demorar a surtir efeito e/ou podem ser ofertar períodos de adaptação. Conclui-se que esta variável possui resultados parcialmente contraditórios (Alos-Simo et al., 2020; Caravella e Crespi, 2020; Hrabynskyi et al., 2017) e que mais estudos são necessários para compreender a dinâmica presente neste componente das regressões.

A variável de PIB *per capita* apresenta um resultado interessante, percebe-se que ela é negativamente correlacionada com a intensidade de emissões para todos os modelos. Isso é um indicativo que empresas de países com maior renda possuem maiores incentivos ou capacidades para mitigar a intensidade de suas emissões. Esse fato pode ser fruto de um ambiente institucional mais consolidado ou da facilidade de obtenção de capital humano qualificado para enfrentar as regulações necessárias ou as inovações geradas. Apesar de um aparente contraste com a variável que indica se o país é membro da OECD, entende-se que o PIB *per capita* capta de maneira mais eficiente determinadas capacidades educacionais e sociais do país. Além disso, é possível que países de maior renda sofram uma maior pressão de seus habitantes para a redução das emissões. Esta pressão pode ser um fator chave para compreender a reação das firmas (Rokhmawati et al., 2017; Costantini et al., 2015).

Ao se analisar os resultados da variável que controla o tamanho da firma, entende-se que o sinal negativo e significativo para todos os modelos estimados é condizente com o esperado (Bossle et al., 2016; Laforet, 2013). Sabe-se que, primeiramente, tem-se a incidência de ganhos de escala ao se produzir, potencialmente reduzindo a intensidade em carbono por esse meio. Além disso, grandes empresas possuem uma maior quantidade de

recursos e, conseqüentemente, podem se adaptar à inovações ou regulações de maneira mais eficiente. Aliado a isso, tem-se a capacidade de atrair mão de obra qualificada (o que facilita adoção de inovações), como um fator importante que explica esse efeito negativo sobre a intensidade das emissões. As principais diferenças dos resultados entre a Tabela 2 (efeitos fixos) e a Tabela 3 (Efeitos fixos via FGLS) são as diferenças no nível de significância para a variável de inovações. Com os resultados do modelo FGLS sendo significativo para todos os setores, exceto o de manufaturas. Isso pode ser fruto de uma possível tendência dos modelos FGLS em super estimar a significância em determinadas circunstâncias (Reed e Ye, 2011). Porém, percebe-se que há uma convergência e semelhança entre os resultados para os setores elétrico, mineração e petróleo e gás. Essa convergência indica que não há uma diferença que leve à suspeitas de que há erros sistemáticos entre os resultados apresentados.

Além disso, há uma diferença considerável entre ambos os modelos ao se observar a variável que se refere à regulação ambiental (*lag(pol)*). Isso indica que, como reforçado anteriormente, o comportamento dessa variável é objeto de curiosidade nesta investigação. Entende-se que muita dessa heterogeneidade dos resultados pode ser fruto do curto período analisado. Sabe-se que regulações tendem a demorar para entrar em vigor e que seu efeito pode não ser imediato. Um estudo que utiliza-se uma base de dados com um maior período histórico em análise poderia ser esclarecedora para compreender a importância das regulações sobre a intensidade de emissões.

Entende-se que os modelos estimados via FGLS corrigem possíveis problemas de heterogeneidade em uma estimação, com o risco de super estimar a significância de determinados coeficientes. Assim, ao se empregar ambas as metodologias, é possível observar se há uma divergência considerável entre os resultados, o que não foi observado neste caso para a maioria das variáveis. Assim, sugere-se observar os resultados de ambas as Tabelas 2 e 3 como, em muitos aspectos, complementares.

Além disso, ambas as estimações indicam que, em um panorama geral, há uma relativa heterogeneidade setorial, com diversas variáveis possuindo efeitos distintos a depender do setor onde estão inseridas. Isso referenda a maioria da literatura de inovações ambientais Assim, (Alos-Simo et al., 2020; Caravella e Crespi, 2020; Laforet, 2013; Kivimaa, 2007). Compreender a heterogeneidade setorial é um passo importante para a elaboração de políticas e estratégias que tenham como objetivo a redução de emissões e a adoção de tecnologias mais limpas por parte das firmas.

Tabela 2: Resultados do modelo (Efeitos fixos)

<i>Variável dependente: Intensidade das emissões</i>								
<i>Setor:</i>	(Manufatura)	(Petróleo e gás)	(Química)	(Transportes)	(Papel e madeira)	(Mineração)	(Construção)	(Elétrico)
log(lag(inov))	−0.0003 (0.008)	−0.032 (0.061)	−0.036*** (0.008)	−0.003 (0.005)	0.003 (0.004)	−0.114** (0.048)	0.018 (0.034)	−0.231*** (0.041)
OECD	1.788*** (0.232)	0.995*** (0.359)	0.721*** (0.149)	0.811*** (0.153)	0.111*** (0.028)	4.547*** (0.928)	2.510** (1.023)	0.390 (0.284)
log(lag(pol))	0.152* (0.092)	1.504 (1.101)	−0.121 (0.182)	0.004 (0.022)	0.031 (0.025)	1.993*** (0.545)	−0.141 (0.107)	0.195* (0.116)
log(pibpc)	−0.717*** (0.065)	−0.575** (0.243)	−0.311*** (0.099)	−0.465*** (0.054)	−0.032** (0.013)	−1.408*** (0.456)	−1.820** (0.799)	−0.108 (0.391)
tamanho	−0.364*** (0.065)	−0.043*** (0.015)	−0.208*** (0.028)	−0.086*** (0.016)	−0.083*** (0.003)	0.452** (0.228)	−0.438*** (0.100)	−0.140*** (0.020)
R ² Múltiplo	0.113	0.017	0.111	0.116	0.426	0.121	0.176	0.112
Número	1714	290	267	299	126	263	306	380

Fonte: Elaboração própria.
 Note: * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

Tabela 3: Resultados do modelo (Efeitos fixos via FGLS)

<i>Variável dependente: Intensidade das emissões</i>								
<i>Setor:</i>	(Manufatura)	(Petróleo e gás)	(Química)	(Transportes)	(Papel e madeira)	(Mineração)	(Construção)	(Elétrico)
log(lag(inov))	−0.0004 (0.0004)	−0.025*** (0.003)	−0.036*** (0.0001)	−0.002*** (0.00003)	0.005*** (0.0002)	−0.151*** (0.009)	0.020*** (0.002)	−0.224*** (0.004)
OECD	1.894*** (0.017)	2.769*** (0.184)	0.712*** (0.011)	0.823*** (0.004)	0.136*** (0.003)	5.039*** (0.142)	2.597*** (0.096)	0.419*** (0.036)
log(lag(pol))	0.138*** (0.002)	1.333*** (0.032)	−0.121*** (0.002)	0.002*** (0.001)	0.026*** (0.001)	2.017*** (0.048)	−0.129*** (0.022)	0.176*** (0.011)
log(pibpc)	−0.762*** (0.003)	−0.643*** (0.022)	−0.308*** (0.005)	−0.474*** (0.002)	−0.048*** (0.002)	−1.878*** (0.086)	−1.917*** (0.079)	−0.107*** (0.023)
log(tamanho)	−7.822*** (0.013)	−1.800*** (0.097)	−0.207*** (0.0005)	−0.087*** (0.0003)	−1.598*** (0.015)	0.432*** (0.016)	−0.449*** (0.010)	−0.141*** (0.003)
R ² Múltiplo	0.109	0.024	0.143	0.146	0.452	0.158	0.210	0.116
Número	1714	290	267	299	126	263	306	380

Fonte: *Elaboração própria.
 Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01.

4. Considerações Finais

Entende-se que o presente trabalho possui algumas limitações, como a ausência de certas variáveis de controle consideradas importantes pela literatura. A falta destas variáveis pode ser um fator importante para os problemas econométricos encontrados neste artigo, a inserção destas variáveis devem, ao menos em parte, mitigá-los. É importante uma ampliação da discussão teórica para justificar algumas escolhas empíricas e, conjuntamente, contribuir com a literatura no plano teórico. Entende-se que a adoção deecoinovações é um fenômeno multicausal, logo, o cuidado com as variáveis de controle é um dos principais objetivos dos trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

Uma das principais conclusões e contribuições do trabalho reforça ideia de que a heterogeneidade observada entre os países não pode ser considerada sob a forma de políticas generalizadas, sem distinção entre os setores. Em outras palavras, o artigo inova em analisar características intrínsecas entre os setores, em que se identificou firmas de setores como o de mineração e o elétrico, sendo contrários ao processo de transição de desenvolvimento tecnológico ambiental. No caso do setor de mineração, deve-se atentar ao fato da expansão econômica mundial, especialmente após o período pandêmico, ampliar a demanda em setores como o de bens de capital e automobilísticos. Em outras palavras, setores que são grandes consumidores do setor minero-metalúrgica, por exemplo. Além disso, os países em desenvolvimento, em decorrência das vantagens de custo e menores restrições ambientais comparativamente aos países desenvolvidos. No caso do setor elétrico, por mais que os países se esforcem para compensar os impactos ambientais provocados e acelerar o processo de transição de energia sustentável, deve-se considerar a dependência de alguns países, como a China, em matrizes de energia altamente poluente, como no caso de combustíveis fósseis (carvão).

Em resumo, ambos os setores (mineração e elétrico) ainda representam e dificultam um cenário promissor no campo da sustentabilidade, dificultando uma análise mais ampla da capacidade das firmas em superar seus entraves ambientais. Nesse âmbito, é importante investigar de forma mais aprofundada tanto os determinantes externos e internos às firmas, quanto às suas questões ambientais, de forma mais específica e localizada. Mais especificamente, fatores como a pauta ambiental e a busca pela redução nos custos de produção, como uma maneira de ampliar a competitividade, poderiam estar na pauta tecnológica dos respectivos setores.

A ampliação de políticas ambientais e industriais, no contexto internacional, visando a diminuição das emissões de gases poluentes, faz aumentar a importância das firmas nesse processo, conjuntamente com a responsabilidade dos *policy makers*. Dessa forma, com o objetivo de propor ações aos planejadores de políticas públicas, enfatiza-se que o foco nos investimentos em redução dos impactos ambientais deve permanecer no lugar de um discurso de competitividade setorial pura e simples. Ou seja, é necessário incluir o conceito de investimentos em P&D e capacidades ambientais tecnológicas e inovadoras específicas para cada setor. Ademais, é importante ressaltar o intuito de transformar estruturalmente a base tecnológica e ambiental de cada nação, especialmente a dos países em desenvolvimento. Além disso, as políticas que deverão assumir ser assumidas devem possuir um caráter mais estratégico e seletivo, com definição de foco e prioridades em setores com maiores contribuições tecnológicas ambientais, por exemplo. Algumas soluções podem estimular a viabilidade de instrumentos eficazes, e entre estas, seria possível concentrar nas seguintes ações, sejam setoriais ou não:

Orientações estratégicas específicas para cada país, com atenção aos setores, associadas a um compromisso com práticas ambientalmente sustentáveis e de baixo carbono;

Para o setor de transportes, deve-se considerar uma visão integrada de todo o processo. Em outras palavras, equilibrar o planejamento com as particularidades de cada modal, adaptando-os às normas, à manutenção e às metas estabelecidas, monitoradas e aprimoradas a médio e longo prazo. Mais especificamente, para o respectivo setor, seria necessário adequar-se aos cenários socioeconômicos e aos parâmetros das políticas setoriais. Assim, os benefícios e as vantagens ao longo do tempo seriam visíveis, não somente em termos ambientais, como também, nas condições de demanda por deslocamentos, ao tempo de viagem e aos gastos com o uso da infraestrutura;

Quanto ao setor da indústria química, é possível destacar as inúmeras oportunidades para a inserção competitiva das empresas no setor, no aspecto ambiental. Entre elas, as janelas de oportunidades criadas em mercados globais, com a química verde e a biotecnologia. No entanto, as empresas do respectivo setor devem se preparar, sobretudo de maneira sustentável. Nesse caso, seria importante as empresas ampliarem sua base produtiva, tanto por investimentos, quanto pela diversificação da sua produção doméstica,

No âmbito do setor de petróleo e gás, as empresas do setor são mais suscetíveis quanto aos investimentos em P&D, com o intuito de estar sempre na fronteira do conhecimento, quanto a sua capacidade de adaptação, expansão e extração do insumo. Nesse sentido, a adaptação e o acompanhamento quanto ao cenário externo, permitirão as empresas tomarem decisões com base nas suas perspectivas dos mercados de petróleo e gás. Além disso, entender quais seriam os determinantes futuros dos preços desses produtos torna-se necessário, especialmente em relação as necessidades de satisfação da demanda crescente, adequando-se às novas fronteiras produtivas.

No caso do setor de construção, por parte das empresas, a adoção de programas internos de qualificação, treinamento de trabalhadores menos qualificados, reciclagem, além de esforços na produção de empreendimentos sustentáveis ganham importância à medida que influenciam nos ganhos de eficiência e de competitividade do setor, além de impactar as decisões de consumo dos agentes. Nesse aspecto, tanto as políticas ambientais e industriais, além dos investimentos em tecnologias sustentáveis são fundamentais para a evolução do setor de construção, no caráter ambiental.

No contexto do setor de papel, o cenário internacional é bastante competitivo, seja em termos de produtividade e preço, quanto em termos de qualidade. Seria importante destacar, contudo, as características do setor, especialmente quanto aos gargalos e dificuldades encontradas por algumas empresas, especialmente as de pequeno porte, como problemas de escala de produção e desatualização tecnológica. Nos países em desenvolvimento, geralmente, as empresas possuem suas exportações concentradas em poucos produtos e com a capacidade-financeira limitada aos principais concorrentes externos, impedindo investimentos para redesenhar novas estratégias para produtos mais sustentáveis e para o aumento da competitividade do respectivo setor.

Ainda com os problemas neste trabalho inicial, entende-se que algumas considerações podem ser feitas. A principal destas contribuições é a de se desagregar os setores para a análise dos determinantes. Percebeu-se que, em alguns casos, as indústrias podem possuir *drivers* diferentes o que justifica dividir as firmas por setor. Nos trabalhos futuros, pensa-se em dividir o bloco de manufaturas apresentado neste presente trabalho, dadas as diferenças intra-setorial e o tamanho relativo do bloco frente aos outros na análise.

Referências bibliográficas

Alos-Simo, L., Verdu-Jover, A. J., e Gomez-Gras, J. M. (2020). Does activity sector matter for the relationship between eco-innovation and performance? implications for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 263:121544.

- Bonesmo, H., Skjelvåg, A. O., Janzen, H. H., Klakegg, O., e Tveito, O. E. (2012). Greenhouse gas emission intensities and economic efficiency in crop production: A systems analysis of 95 farms. *Agricultural Systems*, 110:142–151.
- Bossle, M. B., de Barcellos, M. D., Vieira, L. M., e Sauvée, L. (2016). The drivers for adoption of eco-innovation. *Journal of Cleaner production*, 113:861–872.
- Cai, W. e Li, G. (2018). The drivers of eco-innovation and its impact on performance: Evidence from china. *Journal of Cleaner Production*, 176:110–118.
- Cai, W.-g. e Zhou, X.-l. (2014). On the drivers of eco-innovation: empirical evidence from china. *Journal of Cleaner Production*, 79:239–248.
- Caravella, S. e Crespi, F. (2020). Unfolding heterogeneity: The different policy drivers of different eco-innovation modes. *Environmental Science & Policy*, 114:182–193.
- Costantini, V., Crespi, F., Martini, C., e Pennacchio, L. (2015). Demand-pull and technology-push public support for eco-innovation: The case of the biofuels sector. *Research Policy*, 44(3):577–595.
- Díaz-García, C., González-Moreno, Á., e Sáez-Martínez, F. J. (2015). Eco-innovation: insights from a literature review. *Innovation*, 17(1):6–23.
- Feng, T.-t., Yang, Y.-s., Xie, S.-y., Dong, J., e Ding, L. (2017). Economic drivers of greenhouse gas emissions in china. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78:996–1006.
- Fernández, S., Torrecillas, C., e Labra, R. E. (2021). Drivers of eco-innovation in developing countries: the case of chilean firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 170:120902.
- Fronzel, M., Horbach, J., e Rennings, K. (2007). End-of-pipe or cleaner production? an empirical comparison of environmental innovation decisions across oecd countries. *Business strategy and the environment*, 16(8):571–584.
- García-Granero, E. M., Piedra-Muñoz, L., e Galdeano-Gómez, E. (2018). Eco-innovation measurement: A review of firm performance indicators. *Journal of cleaner production*, 191:304–317.
- Ghisetti, C. e Pontoni, F. (2015). Investigating policy and r&d effects on environmental innovation: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 118:57–66.
- Greene, W. H. (2011). *Econometric Analysis*, volume 52. Springer Nature BV.
- Hansen, C. B. (2007). Generalized least squares inference in panel and multilevel models with serial correlation and fixed effects. *Journal of econometrics*, 140(2):670–694.
- Hojnik, J. e Ruzzier, M. (2016). Drivers of and barriers to eco-innovation: a case study. *International Journal of Sustainable Economy*, 8(4):273–294.
- Hrabynskiy, I., Horin, N., e Ukrayinets, L. (2017). Barriers and drivers to eco-innovation: Comparative analysis of germany, poland and ukraine. *Ekonomicko-manazerske spektrum*, 11(1):13–24.
- James, P. (1997). The sustainability cycle: a new tool for product development and design. *The Journal of Sustainable Product Design*, Página 52–57.

Keshminder, J. e del Río, P. (2019). The missing links? the indirect impacts of drivers on eco-innovation.

Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 26(5):1100–1118.

Kivimaa, P. (2007). The determinants of environmental innovation: the impacts of environmental policies on the nordic pulp, paper and packaging industries. *European Environment*, 17(2):92–105.

Laforet, S. (2013). Organizational innovation outcomes in smes: Effects of age, size, and sector. *Journal of World business*, 48(4):490–502.

Reed, W. R. e Ye, H. (2011). Which panel data estimator should i use? *Applied economics*, 43(8):985– 1000.

Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, 32(2):319–332.

Rokhmawati, A., Gunardi, A., e Rossi, M. (2017). How powerful is your customers' reaction to carbon performance? linking carbon and firm financial performance. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(6):85.

Rokhmawati, A., Sathye, M., e Sathye, S. (2015). The effect of ghg emission, environmental performance, and social performance on financial performance of listed manufacturing firms in indonesia. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 211:461–470.

Serafeim, G. e Velez Caicedo, G. (2022). Machine learning models for prediction of scope 3 carbon emissions. *Available at SSRN*.

Teece, D. J., Pisano, G., e Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic management journal*, 18(7):509–533.

Wagner, M. e Llerena, P. (2011). Eco-innovation through integration, regulation and cooperation: comparative insights from case studies in three manufacturing sectors. *Industry and Innovation*, 18(8):747–764.

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

A Estatísticas Descritivas

A.1: Manufatura

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	1,715	0.951	0.216	0	1
inov	1,715	5,117.797	3,888.754	24.080	9,662.750
pol	1,715	3.317	0.681	0.583	4.556
pibpc	1,715	47,798.470	13,059.250	5,580.513	89,846.690
tamanho	1,715	21.006	2.561	15.307	33.339
GHG_Intensity	1,715	-0.594	2.827	-64.367	-0.001

Fonte: Elaboração própria

A.2: Construção

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	307	0.935	0.247	0	1
inov	307	3,343.567	3,665.847	24.080	9,662.750
pol	307	3.318	0.803	0.583	4.556
pibpc	307	45,309.250	12,084.260	5,580.513	89,846.690
tamanho	307	20.683	2.157	16.166	32.364
GHG_Intensity	307	-0.577	2.099	-21.748	-0.006

Fonte: Elaboração própria

A.3: Elétrico

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	381	0.892	0.310	0	1
inov	381	3,492.196	3,859.905	24.500	9,662.750
pol	381	2.931	0.853	0.583	4.556
pibpc	381	44,899.550	14,703.940	5,580.513	70,252.740
tamanho	381	23.203	2.923	15.834	33.024
GHG_Intensity	381	-1.560	1.675	-17.208	-0.017

Fonte: Elaboração própria

A.4: Mineração

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	264	0.731	0.444	0	1
inov	264	3,380.657	3,890.972	24.080	9,662.750
pol	264	2.829	1.021	0.861	4.556
pibpc	264	38,257.800	18,743.490	5,580.513	89,846.690
tamanho	264	21.752	3.936	4.050	32.997
GHG_Intensity	264	-2.212	5.844	-78.089	-0.088

Fonte: Elaboração própria

A.5: Papel e madeira

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	127	0.843	0.366	0	1
inov	127	3,384.871	4,077.698	24.080	9,662.750
pol	127	2.912	1.048	0.583	3.944
pibpc	127	45,288.470	16,133.160	13,942.000	89,846.690
tamanho	127	20.980	1.499	16.027	23.677
GHG_Intensity	127	-0.356	0.197	-1.038	-0.020

Fonte: Elaboração própria

A.6: Petróleo e gás

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	291	0.921	0.270	0	1
inov	291	2,960.765	3,766.109	24.080	9,662.750
pol	291	3.024	0.806	0.583	4.556
pibpc	291	47,886.800	13,032.660	5,580.513	89,846.690
tamanho	291	23.298	3.536	16.180	33.109
GHG_Intensity	291	-1.485	2.720	-42.496	-0.014

Fonte: Elaboração própria

A.7: Químico

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	268	0.955	0.207	0	1
inov	268	5,476.549	3,745.127	24.080	9,662.750
pol	268	3.308	0.647	0.861	4.556
pibpc	268	50,517.310	12,715.270	5,580.513	72,668.730
tamanho	268	21.247	2.103	17.346	32.437
GHG_Intensity	268	-0.586	1.227	-11.123	-0.007

Fonte: Elaboração própria

A.8: Transportes

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
OECD	300	0.917	0.277	0	1
inov	300	3,912.157	3,945.498	24.080	9,662.750
pol	300	3.072	0.884	0.583	4.556
pibpc	300	46,738.300	13,132.080	7,103.831	70,688.840
tamanho	300	21.355	1.937	16.406	29.753
GHG_Intensity	300	-0.435	0.547	-4.146	-0.018

Fonte: Elaboração própria