

Energia renovável na indústria de transformação: efeitos do investimento estrangeiro

Área 10: Empreendedorismo, redes, arranjos produtivos e inovação

Carolina Fumie Sumikawa Yamazaki

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Economia na Universidade Federal de Viçosa (PPG-ME/UFV),
carolina.yamazaki@ufv.br

Elaine Aparecida Fernandes

Professora de Economia (UFV), eafernandes@ufv.br

Michelle Márcia Viana Martins

Professora de Economia (UFV), michelle.viana@ufv.br

Resumo: Este artigo investiga os determinantes da adoção de energias renováveis pela indústria de transformação brasileira, com ênfase no papel do investimento estrangeiro direto (IED). Utilizando microdados da Pesquisa de Inovação (PINTEC 2017) e um modelo logit multinível, a análise considera características das firmas e fatores contextuais setoriais. Os resultados indicam que variáveis como porte da empresa, qualificação da mão de obra, presença de sistema de gestão ambiental e uso de fontes externas de informação estão positivamente associadas à adoção de fontes renováveis. Por outro lado, a variável "origem do capital", representando o IED, não apresentou significância estatística, sugerindo que o capital estrangeiro, isoladamente, não atua como fator determinante da transição energética. O estudo também revela disparidades regionais, com menor probabilidade de adoção nas regiões Norte e Centro-Oeste. As evidências indicam que políticas públicas mais robustas, com foco em inovação verde, capacitação e integração tecnológica, são essenciais para ampliar o uso de energias renováveis na indústria e orientar o IED para objetivos sustentáveis.

Palavras-chave: Transição energética, Eco-inovação, PINTEC 2017.

Renewable energy in the manufacturing industry: effects of foreign investment

Abstract: This paper examines the drivers of renewable-energy adoption in Brazilian manufacturing, with a special focus on foreign direct investment. Micro-level evidence is drawn from the 2017 Innovation Survey (PINTEC), covering 4 928 firms across twenty-four two-digit industries. A two-level logit model is estimated: the first level captures firm attributes, while the second reflects sectoral research and development intensity. Results show that larger firms, a highly qualified workforce, formal environmental-management systems and extensive external information networks are associated with a higher likelihood of using renewable sources. Government support and sector-wide research efforts also raise that probability. In contrast, foreign ownership does not display a statistically discernible effect when considered in isolation, suggesting that inward investment alone is not enough to steer the energy transition. Regional heterogeneity persists, with lower adoption rates in the North and Centre-West. The findings stress the need for coordinated policies that blend green innovation incentives, human-capital formation and targeted support aimed at aligning foreign capital with sustainable objectives.

Keywords: Energy transition, Eco-innovation, Brazilian Innovation Survey

JEL codes: C25, F21, L60, Q42

1. Introdução

Em 2020, ao reafirmar seu compromisso com a mitigação das mudanças climáticas, o Brasil revisou e atualizou as metas estabelecidas em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, em inglês), do Acordo de Paris. Entre as estratégias para a redução das

emissões de gases de efeito estufa (GEE), foi proposta a ampliação da participação das energias renováveis na matriz energética nacional (Observatório do Clima, 2024). Em 2023, os setores de energia e processos industriais do país representaram cerca de 22% das emissões brutas totais (Seeg, 2024). A tendência mundial aponta para crescente mobilização de recursos direcionados a projetos de descarbonização. Alemanha e Coreia do Sul já destinaram, respectivamente, US\$ 45 bilhões e US\$ 48 bilhões a iniciativas voltadas para a economia de baixo carbono, reforçando a necessidade de o Brasil atrair recursos para acelerar a transição para uma produção industrial mais sustentável (CNI, 2023b).

Os investimentos em modernização da infraestrutura produtiva se justificam pela necessidade de redução da dependência dos combustíveis fósseis (Observatório do Clima, 2024). Desde 2010, estudos têm investigado como as empresas do setor industrial brasileiro implementaram mudanças tecnológicas e adotaram práticas produtivas sustentáveis para responder aos desafios ambientais e à crescente demanda por eficiência no uso dos recursos naturais (Betarelli Junior et al., 2020; Carrer et al., 2024; Ervilha et al., 2019; Lucchesi et al., 2016; V. Pinsky & Kruglianskas, 2017).

Ainda que o debate sobre inovação voltada à sustentabilidade, chamada deecoinovação¹, já esteja presente no país há mais de uma década, a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2023b) estabelece que a indústria de transformação brasileira apresenta grande potencial para integrar as dimensões ambientais aos processos produtivos. Dados da Pesquisa de Inovação (PINTEC 2015–2017) apontam que a maior taxa de ecoinovação em produtos e processos ocorre no setor de transformação (IBGE, 2020), favorecendo práticas de produção mais limpas e economia de baixo carbono.

Os países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) lideram programas e incentivos financeiros para descarbonizar suas economias. No entanto, parcerias internacionais são uma possibilidade adicional para viabilizar a transferência de tecnologias de baixo carbono (Pinsky & Kruglianskas, 2017; Yasmeen et al., 2022). Conforme a Agência Internacional de Energia Renovável, o financiamento privado, doméstico ou internacional, e os recursos provenientes da dívida, são fontes relevantes para a transição energética, demonstrando que os recursos financeiros estão disponíveis, desde que ocorra uma realocação de capital para o setor das energias renováveis (Irena, 2023).

O investimento doméstico público e privado não parece atender integralmente às atuais necessidades de expansão em energias limpas. Nesse cenário, o investimento estrangeiro direto (IED) pode suprir essa lacuna por constituir uma fonte de capital e de outras capacidades que fomentam a transição energética (OECD, 2009; UNCTAD, 2023). O Brasil tem a possibilidade de atrair IED para renovar suas cadeias produtivas devido a fatores como a dimensão de seu mercado interno, a disponibilidade de recursos naturais e o potencial para o desenvolvimento de energias limpas (CNI, 2023a; CNI & CEPAL, 2023).

A aplicação do IED na transição energética ocorreria no país para alcançar dois objetivos: garantir o fornecimento de energia verde e assegurar seu acesso em âmbito global. Embora haja tendência ascendente no investimento estrangeiro em energias renováveis, estimativas indicam que é necessário aporte adicional no mundo de US\$ 5,7 trilhões por ano para alcançar as metas energéticas previstas para 2030 (UNCTAD, 2023).

O fluxo de IED, todavia, possui natureza ambígua (Castellani et al., 2022; Yasmeen et al., 2022). O IED pode atuar como um catalisador da inovação, impulsionando a adoção de tecnologias limpas e práticas de gestão ambiental que reduzam a intensidade das emissões de carbono por meio da transferência de conhecimento e de capital tecnológico, Além de favorecer

¹ A ecoinovação pode ser definida como a criação ou implementação de novos produtos, processos, serviços ou métodos de negócios que, ao longo de seu ciclo de vida, reduzem os impactos ambientais. Reduz riscos, poluição e o uso ineficiente dos recursos, quando comparados com alternativas convencionais (Fussler e James, 1996).

o uso de tecnologias obsoletas e elevar as emissões de GEE. Isso é acentuado quando investidores estrangeiros optam por localizações com normas ambientais flexíveis.

O capital externo tem particular relevância porque apresenta atributos que o distinguem do capital doméstico. Além de aportarem recursos para a expansão da capacidade produtiva, investidores estrangeiros podem difundir conhecimentos, tecnologias, práticas gerenciais avançadas, padrões ambientais mais altos e adoção de certificações de Qualidade e Gestão Ambiental (como o Quality Management System, QMS; International Organization for Standardization sobre Sistema de Gestão Ambiental, ISO 14001; Eco-Management and Audit Scheme, EMAS; etc.). É comum, por exemplo, que grandes multinacionais sejam submetidas a auditorias ambientais rígidas em seus países de origem. Isso reflete em operações mais limpas nas subsidiárias estrangeiras (Cuerva et al., 2014).

O Brasil ainda não explora integralmente suas vantagens no setor energético, como a diversidade de fontes de energia limpa e a alta disponibilidade de recursos naturais (CNI & CEPAL, 2023). Por essa razão, tem potencial para se estabelecer como polo de inovação ambiental. A partir de incentivos adequados, espera-se maior inserção de tecnologias limpas na indústria de transformação no país. Contudo, para evitar que este se torne um “paraíso de poluição”, é necessário o desenvolvimento de políticas públicas que não apenas incentivem a eficiência energética e a adoção de tecnologias de baixo carbono, mas que criem ambiente de negócios favorável à atração de IED “verde”.

Embora existam estudos que relacionam as entradas de capital estrangeiro e variáveis ambientais, carece-se de análises que abordem como, ao nível da firma, ocorre a adoção de soluções renováveis, utilizando bases de dados abrangentes, como da Pesquisa de Inovação (PINTEC), capazes de detalhar os processos de inovação. A investigação a partir de dados de empresas, em vez de setores agregados, possibilita evidenciar elementos microeconômicos (capacidades gerenciais, estratégias de inovação, fontes de financiamento) que podem explicar a variabilidade na adoção de energias renováveis.

A questão central dessa pesquisa é: o IDE é um determinante importante para que empresas da indústria de transformação brasileira invistam em energias renováveis? Para responder a esse questionamento, o presente estudo propõe análise detalhada de 4.928 empresas do setor de transformação, a partir de informações quanto às práticas de inovação, gasto em P&D e origem do capital da empresa (nacional ou estrangeiro). Em síntese, o IED pode afetar a indústria de transformação brasileira de forma diferente do investimento nacional porque esse tipo de capital costuma trazer maior exposição aos padrões internacionais, acesso a novas tecnologias e possíveis pressões ambientais exercidas por matrizes estrangeiras, o que pode acelerar a modernização e a adoção de fontes limpas.

O objetivo geral deste artigo é analisar, para as empresas da indústria de transformação brasileira, a inter-relação entre a produção de energias renováveis e o investimento direto estrangeiro. Especificamente, busca-se: (a) caracterizar a indústria de transformação em termos de produção de energias renováveis; (b) investigar o efeito dos determinantes da produção de energias renováveis, com ênfase no papel do IED. A justificativa ocorre sob a premissa de que, ao compreender como os fluxos de capital estrangeiro influenciam a adoção de soluções de energia limpa, pode-se subsidiar políticas públicas e estratégias corporativas alinhadas às metas globais de redução de emissões. Tais políticas devem associar o crescimento industrial brasileiro com as metas estabelecidas nas NDC, de modo que a modernização da indústria de transformação, impulsionada pelo IED, amplie a competitividade do setor e promova uma transição energética que beneficie o meio ambiente e gere desenvolvimento econômico.

A hipótese principal, fundamentada em estudos sobreecoinovação e das discussões sobre o efeito ambíguo do IED, é que a origem estrangeira do capital reforça a probabilidade de a empresa produzir energias renováveis, pela via do acesso a tecnologias mais limpas e a padrões ambientais mais exigentes, além de eventuais pressões de mercado internacional.

Assim, espera-se encontrar associação positiva entre a origem do capital estrangeiro e a adoção de energias renováveis. No entanto, é igualmente válido considerar que a inexistência de pressões ambientais sólidas ou de mecanismos de política para promover energias renováveis pode reduzir ou mesmo anular esse efeito.

2 Aspectos teóricos e empíricos da relação energias renováveis e IED

2.1 Aspectos teóricos

A compreensão dos determinantes da inovação ambiental na indústria de transformação brasileira passa, inevitavelmente, pela articulação de abordagens teóricas que dialogam de forma interdependente. Nesse contexto, a relação entre inovação tecnológica em energias renováveis e o IED denota área de investigação que abrange tanto as condições internas das empresas (fatores micro) quanto os fatores externos (fatores macroeconômicos), como o ambiente regulatório e as pressões de mercado.

Os estudos que discutem a trajetória da inovação para a sustentabilidade (V. Pinsky & Kruglianskas, 2017) enfatizam a importância dos mecanismos de transferências e dos incentivos para aecoinovação (Cuerva et al., 2014; Stern & Valero, 2021; Yasmeen et al., 2022), para construir uma perspectiva sobre como o capital estrangeiro pode influenciar a modernização das cadeias produtivas e a adoção de fontes de energia renovável. A inovação verde é impulsionada pelo “technology push”, ou seja, por meio dos investimentos em P&D e da capacidade tecnológica; e pelo “market pull”, proveniente das demandas do mercado e das pressões institucionais, refletidas externamente pelos clientes, governos, fornecedores, concorrentes e financiadores (Cuerva et al., 2014; Ervilha et al., 2019).

Essa interação não se restringe à disponibilidade de recursos, mas envolve a capacidade de absorção e a adequação das tecnologias às especificidades do setor industrial brasileiro. A ideia é que investimentos que aprimorem os recursos internos da empresa (por exemplo, P&D e capital humano) elevam a capacidade de absorver inovações. A entrada de IED pode ser mais impactante do que o investimento interno caso o investidor estrangeiro traga práticas gerenciais diferenciadas e acesso a redes de conhecimento e tecnologias (Stern & Valero, 2021).

O governo atua como um facilitador institucional, por meio de incentivos fiscais e políticas públicas para reduzir os custos e os riscos associados à inovação ambiental. Os IEDs também refletem um aspecto do “market pull” ao sinalizar que empresas com capital estrangeiro possam estar mais expostas a padrões internacionais e pressões globais por práticas sustentáveis (Cuerva et al., 2014; Stern & Valero, 2021). Além disso, tais empresas podem enfrentar exigências mais rigorosas nos mercados de origem ou buscar certificações internacionais, o que aumenta o escopo para inovações de baixo carbono.

Nos países em desenvolvimento, os IEDs podem catalisar transformações produtivas ao transferir tecnologias limpas (Forero-Pineda et al., 2011), mas a eficácia dessas transferências depende de um ambiente institucional alinhado às políticas que estimulem a competitividade ambiental. Sem esses mecanismos, a transferência tecnológica pode ser limitada ou resultar em efeitos ambientais negativos, como a realocação de indústrias poluentes para países com regulação ambiental menos rigorosa (“paraíso da poluição”) (Demena & Afesorgbor, 2020; Singhanian & Saini, 2021). No entanto, se os IEDs são acompanhados por padrões ambientais elevados, podem fomentar a adoção de melhores práticas ambientais (“halo² da poluição”) (Castellani et al., 2022).

² O termo original, em inglês, é *halo pollution*, que pode ser traduzido para “efeito indutor de boas práticas ambientais”.

Ao integrar essas dimensões, a transferência de capital estrangeiro pode representar fonte de recursos e conhecimento para impulsionar a modernização dos processos produtivos, promovendo a adoção de tecnologias energéticas mais limpas. Entretanto, também pode ser direcionada para setores com regulamentação ambiental menos rigorosa, ampliando a intensidade das emissões (Singhania & Saini, 2021; Yasmeen et al., 2022).

2.2 Evidências empíricas

A relação entre IED e inovação ambiental pode ganhar contornos ainda mais complexos quando se observa o comportamento do setor energético brasileiro e o volume de emissões do país. O Brasil se destaca pelo amplo setor de energia renovável, com cerca de 70% de sua matriz energética composta por fontes limpas (SEEG, 2024). Como signatário do Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de carbono em 37% até 2030 e 43% até 2035, tomando 2005 como referência (Observatório do Clima, 2024).

Apesar desse potencial, o Brasil encontra-se entre os maiores emissores de carbono do mundo, ocupando a 6ª posição global (Udemba & Tosun, 2022). Embora a principal fonte de emissões no país esteja relacionada ao desmatamento excessivo e ao uso inadequado da terra, setores como produção industrial, energia, transporte e edificações contribuem para as emissões, contrastando com os compromissos ambientais assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris (Seeg, 2023). Desse modo, expandir a produção de energias renováveis na indústria de transformação não elimina todos os problemas ambientais, mas pode apoiar a redução de emissões industriais e incentivar trajetórias mais sustentáveis.

A partir desse contexto, as evidências empíricas para a indústria de transformação, em particular, demonstram que a adoção de práticas deecoinovação está intimamente relacionada à capacidade tecnológica das empresas e ao apoio institucional que recebem. Estudos que analisam dados da PINTEC indicam que, apesar das limitações nos investimentos em P&D e da prevalência de indústrias de baixa tecnologia, há potencial de modernização que pode ser acelerado por meio da incorporação de capital estrangeiro e da implementação de políticas públicas focadas em sustentabilidade (Carrer et al., 2024; Ervilha et al., 2019; Medeiros et al., 2012). A integração entre fatores internos e externos, além de melhorar a eficiência dos processos produtivos, contribui para a redução dos impactos ambientais, reforçando a ideia de que o IED pode ser um agente transformador na reestruturação do setor, com prevalência da hipótese do halo de poluição.

O debate acerca da diversificação da matriz energética brasileira oferece perspectiva adicional para a discussão. Estudos que analisam as tendências e os desafios do setor elétrico apontam que, embora o Brasil possua matriz com elevada participação de fontes renováveis, sobretudo hidrelétricas, a intermitência das fontes solares e eólicas impõe desafios para a estabilidade do sistema (Belançon, 2021; Martins et al., 2020; Udemba & Tosun, 2022).

Essa situação demanda investimentos em fontes alternativas, como a energia hidrelétrica bombeada e tecnologias emergentes que possibilitem a integração de fontes intermitentes, sem comprometer a confiabilidade do fornecimento. A literatura sobre inovação tecnológica orientada para a sustentabilidade reforça que a adoção de novas técnicas tende a ocorrer de forma mais rápida quando combinada com políticas públicas de fomento, voltadas à capacitação de mão de obra, à redução de custos de P&D ou à criação de incentivos para a comercialização de produtos verdes (Nemet, 2009; V. Pinsky & Kruglianskas, 2017). Nesse sentido, os subsídios governamentais para as práticas deecoinovação e a regulação ambiental mais rigorosa podem estimular a competitividade das empresas, sobretudo quando a imposição de padrões ambientais intensifica o uso de tecnologias inovadoras e aumenta a eficiência produtiva (Nidumolu et al., 2009; Porter & Linde, 1995).

A experiência internacional demonstra que as economias que conseguiram articular incentivos fiscais e subsídios às iniciativas tecnológicas limpas, revelaram efeitos positivos sobre a redução das emissões e sobre a modernização dos processos produtivos (Hou et al., 2025). Essa lição é particularmente relevante para o Brasil, onde o desafio consiste em reorientar os fluxos de IED para que sejam compatíveis com os objetivos de desenvolvimento sustentável e com a necessidade de modernização da indústria de transformação.

Entretanto, há casos em que o financiamento externo não está efetivamente direcionado para a adoção de inovações limpas, mas para ampliar capacidades produtivas sem alterações no padrão de emissões. Belin et al. (2011) investigaram empresas francesas e observaram que o capital externo pode estar direcionado para expansão da capacidade produtiva sem alterar o padrão de emissões. Em linha semelhante, Shao (2018) argumenta que, mesmo com a presença de capital estrangeiro, algumas empresas mantêm modelos de produção pouco inovadores em termos ambientais, sobretudo quando o arcabouço regulatório não induz à adoção de tecnologias menos poluentes. Dessa forma, é papel do Estado direcionar esses recursos para setores estratégicos. Medidas como a criação de zonas industriais verdes, a imposição de contrapartidas ambientais para empresas estrangeiras que desejam se instalar no país e a oferta de crédito específico para investimentos em tecnologias menos poluentes, são exemplos de caminhos recomendados na literatura (Horbach et al., 2012; Medeiros et al., 2012).

Horbach et al. (2012), ao examinar a indústria alemã, destacam que políticas governamentais orientadas e a colaboração com universidades e institutos de pesquisa tendem a estimular as empresas a buscarem métodos de produção mais limpos, principalmente quando há pressões competitivas e exigências regulatórias mais restritivas. Já na China, experiências relatadas em Cuerva et al. (2014) indicam que a atuação de empresas multinacionais, quando associada a requisitos de transferência de conhecimento, pode catalisar a adoção de tecnologias ecoeficientes e intensificar a pesquisa local em energias renováveis.

Apesar de alguns estudos ressaltarem a preponderância do ambiente institucional sobre a simples origem do capital (Belin et al., 2011), há evidências de que a entrada de IED detentor de tecnologia avançada favorece a atualização de processos produtivos e a adoção de fontes energéticas renováveis, principalmente quando a regulação e as exigências ambientais do país hospedeiro reforçam tais investimentos.

No Brasil, embora alguns estudos sugiram haver relação positiva entre abertura ao capital estrangeiro e inovações mais sustentáveis (Ervilha et al., 2019; Medeiros et al., 2012), persistem casos em que o IED não promove melhorias ambientais. Essa ambiguidade reflete, em boa parte, o regime institucional e a atuação das políticas públicas. Em algumas circunstâncias, como mostram Belin et al. (2011), se as contrapartidas ambientais não forem claras, o capital investido pode não direcionar melhorias em processos de produção, mantendo estável o nível de emissões. Em contraste, quando se adota um conjunto bem definido de incentivos fiscais, metas de redução de poluentes e mecanismos de reporte mais transparentes (como relatórios de sustentabilidade ou balanços socioambientais), o efeito tende a ser a elevação da competitividade aliada ao menor impacto ambiental (Hou et al., 2025).

A existência de competências tecnológicas locais também denota o fator que corrobora para o aproveitamento potencial de spillovers tecnológicos (Cuerva et al., 2014). Em contextos em que a indústria local apresenta baixa qualificação da mão de obra ou escasso investimento em P&D, a incorporação de tecnologias importadas pode ser limitada, pois faltam condições de absorver, adaptar e aprimorar as soluções oferecidas por empresas transnacionais (Borghesi et al., 2011; Cuerva et al., 2014). Políticas públicas de longo prazo, que incluam investimentos na formação de capital humano, formação de redes de cooperação entre empresas e estímulo ao desenvolvimento regional, são apontadas como caminhos que podem fortalecer a base local de inovação e, por consequência, potencializar efeitos positivos do IED na sustentabilidade (Hou et al., 2025; V. C. Pinsky et al., 2015).

Outro aspecto importante é o papel das normas ambientais na competição entre países por capital estrangeiro. A hipótese do “paraíso da poluição” sugere que, em nações de renda mais baixa ou com menor rigor regulatório, há tendência de atração de indústrias poluentes que buscam reduzir custos de conformidade ambiental. Xie & Bui (2024) observam esse efeito em um estudo para a China, notando que o aumento de IED e abertura comercial estão associados à maiores emissões de GEE. Uche et al. (2023) notaram, no contexto dos países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), que o IED, quando analisado isoladamente, tende a aumentar as emissões de GEE. Contudo, o IED associado a avanços tecnológicos tem o potencial de mitigar esses impactos, promovendo um efeito de “halo de poluição” no longo prazo.

A hipótese do “halo de poluição” postula que as empresas de matriz estrangeira tendem a adotar padrões ambientais mais altos, o que favorece a transferência de tecnologias limpas. Isso é ressaltado em Pradhan et al. (2022), que mostram que os IEDs, ao promover a transferência de tecnologia e o compartilhamento de conhecimento das economias desenvolvidas, contribui para a redução das emissões de GEE para os países do BRICS.

O mesmo é observado por Paramati et al. (2016), que sustentam que os fluxos de capital estrangeiro têm um efeito benéfico sobre o meio ambiente ao promover a transferência de tecnologias mais limpas e a eficiência energética. Um aumento de 1% nas entradas de IED aumenta o uso de energia limpa em cerca de 0,07% em economias de mercado emergentes, embora também esteja associado a um aumento de 0,128% nas emissões. Especificamente para o Brasil, as elasticidades de longo prazo apontam que o coeficiente do IED na equação de consumo de energia limpa é praticamente zero (-0,002) e estatisticamente insignificante. Isso sugere que no Brasil os fluxos de IED não têm um efeito relevante em estimular o uso de energia limpa.

O caso brasileiro reflete certa ambiguidade dos IEDs. Embora existam setores com real potencial de incorporar tecnologias limpas, também persistem áreas de expansão de fronteira agrícola e industrial onde os parâmetros ambientais podem estar mais fragilizados. Ao analisar o setor energético, referenciado como um dos principais alvos de investimento estrangeiro, detecta-se a relevância de políticas que tenham capacidade de coordenar a expansão da matriz com as demandas de segurança do sistema e de sustentabilidade (Martins et al., 2020). Uma vez que o Brasil tem grande potencial hidrelétrico, alcançou um índice expressivo de geração renovável na sua matriz elétrica; mas ainda assim, o crescimento da demanda, a variação no regime de chuvas e a expansão de indústrias energointensivas demonstram que a dependência de fontes fósseis permanece considerável, com implicações sobre a emissão de GEE (Belançon, 2021).

Para os estudos sobre o Brasil, a heterogeneidade setorial e regional adiciona outro nível de complexidade. Na indústria de transformação, especificamente, há diferentes níveis de competitividade e capacidade de inovar a depender da região em que as empresas estão inseridas. Em áreas com maior densidade tecnológica, onde há maior investimento em P&D e políticas públicas de fomento à inovação, os IEDs tendem a potencializar o surgimento de processos produtivos menos poluentes. Esses polos, caracterizados por melhores indicadores de qualificação da mão de obra e maior integração com centros de pesquisa, absorvem tecnologias estrangeiras de maneira mais efetiva, conforme argumentam Ervilha et al. (2019).

Por sua vez, regiões em que a indústria se baseia em setores de menor intensidade tecnológica podem apresentar maior dificuldade de internalizar ganhos ambientais (Santos et al., 2023). Isso resulta em um desequilíbrio regional, no qual as firmas localizadas em centros dinâmicos capturam mais facilmente os spillovers de conhecimento, enquanto localidades menos desenvolvidas podem permanecer ancoradas em padrões produtivos convencionais.

A literatura examinada indica que a atração de capitais estrangeiros pode contribuir para a modernização produtiva e para a adoção de soluções ambientalmente adequadas, mas isso não

ocorre de maneira isolada ou homogênea. O papel das políticas públicas e da regulação ambiental surge como determinante: quanto mais alinhadas às metas de redução de emissões e promoção deecoinovações, maiores são as chances de os recursos externos efetivamente contribuírem para objetivos de sustentabilidade.

Além disso, há consenso sobre a relevância do desenvolvimento de capacidades tecnológicas locais, pois sem uma base interna de conhecimento, torna-se difícil assimilar e replicar inovações. Ambientes colaborativos de P&D e a formação de recursos humanos especializados podem aumentar o efeito benéfico do IED em direção à economia de baixo carbono. Ademais, sem um conjunto coerente de políticas demand-pull, que incentive o consumo de produtos mais limpos ou estimule as compras públicas de tecnologias ambientais, o mercado tende a não internalizar os custos e riscos associados às inovações sustentáveis (Kemp, 2000; Nemet, 2009).

3 Metodologia

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada para alcançar o objetivo do estudo, que busca analisar, para as empresas da indústria de transformação brasileira, a inter-relação entre a produção de energias renováveis e os IEDs. Em primeiro lugar, expõe-se os modelos estimados, depois, a fonte de dados e as variáveis utilizadas.

3.1 Modelo logit e logit multinível

É consenso que a estimação de uma regressão linear tem o objetivo de entender o quanto uma variável dependente varia a partir da variação de uma ou mais variáveis explicativas. No entanto, em regressões lineares, a variável dependente possui valor contínuo e, com isso, este tipo de regressão não pode ser usado para a análise no presente estudo, já que a variável “energia renovável” é qualitativa. Neste caso, necessita-se de um modelo que calcule a probabilidade condicional de produção de energia renovável assumir os valores 1 ou 0, conforme variações nas variáveis explicativas (X_i).

Para resolver esse problema, utilizou-se a regressão logística, conforme expressão (1).

$$P(\text{energiarenovável}_i = 1) = \frac{\exp(B_0 + B_1X_i)}{1 + \exp(B_0 + B_1X_i)} \quad (1)$$

em que $P(\text{energiarenovável}_i = 1)$ é a probabilidade condicional de *energiarenovável*_{*i*} ser igual a 1 para a empresa *i*; $\exp(B_0 + B_1X_i)$ é a função exponencial de $B_0 + B_1X_i$.

Para facilitar a interpretação de (1), aplica-se a transformação logit para convertê-la em uma reta. É previsto, então, o logit da probabilidade condicional de *energiarenovável*_{*i*} = 1 sobre a probabilidade de que *energiarenovável*_{*i*} = 0. Isso é chamado *log-odds* ou logit das probabilidades, conforme expressão (2).

$$\text{logit}(\text{odds}) = \beta_0 + \beta_1X_1 \quad (2)$$

Nesse caso, a variação de uma unidade em X_i implica em uma variação de β_1 pontos na probabilidade de *energiarenovável*_{*i*} = 1. Entretanto, de acordo com Sommet e Morselli (2017), se as observações analisadas estiverem alocadas, de forma aleatória, em grupos com característica próprias, deve-se atentar para o fato de a empresa *i* pertencer ao grupo *j* poder modificar a probabilidade de *energiarenovável*_{*i*} = 1; e o efeito de uma variável explicativa poder ser distinto entre grupos. Por essa razão, a regressão logística simples não será adequada. Isso acontece porque é violada a suposição de independência dos resíduos atrelada ao modelo

linear. Nesses casos, é utilizado o modelo logístico multinível.

Para identificar os determinantes da produção de energia renovável, foi considerando, além das características individuais, as características dos setores em que as empresas estão alocadas. A depender do setor em que a empresa se encontra, é possível que esta seja mais ou menos incentivada a produzir energia renovável. Desta forma, o uso da regressão logística multinível é recomendado por existirem dois níveis empregados na análise: firma e setor.

O primeiro nível se refere às características das empresas da indústria de transformação. As variáveis selecionadas para esta caracterização são origem do capital, tamanho da empresa, fonte de informação, capacidade tecnológica, apoio do governo, intensidade de pesquisa e desenvolvimento, região de localização da empresa e gestão ambiental. Para as variáveis de nível dois (CNAE a dois dígitos), é utilizada a variável P&D setorial. Do ponto de vista estatístico, para verificar a necessidade da inclusão de variáveis de nível dois, o modelo nulo ou vazio foi estimado, conforme expressão (3).

$$energiarenovável_{ij} = \beta_0 + u_0 \quad (3)$$

em que $energiarenovável_{ij}$ é igual a 1 se a empresa i , pertencente ao setor j , produziu no triênio 2015-2017 algum tipo de energia renovável e 0, caso contrário. Quanto maior for a variância de u_0 , maior será a variação das probabilidades logarítmicas de produzir energia renovável de um setor para outro.

A partir da estimação do modelo nulo, calcula-se o coeficiente de correlação intraclasse (ICC) que varia de 0 a 1 e representa a proporção da variação entre os grupos no total da variação. Se o ICC for igual a 0, os resíduos são perfeitamente independentes, ou seja, as chances de $energiarenovável_i = 1$ não dependem dos grupos. Desse modo, utiliza-se a regressão logística simples. Caso o ICC seja exatamente 1, existe interdependência perfeita entre os resíduos. O requisito para a utilização do modelo logístico multinível é o ICC ser maior do que zero e mais próximo de 1 possível (Park; Lake, 2005; Kamruzzaman et al., 2015). A expressão (4) ilustra o cálculo do ICC.

$$ICC = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \frac{\pi^2}{3}} \quad (4)$$

Se for constatada a necessidade de se adicionar o nível dois, é utilizado o modelo logístico multinível, conforme expressão (5).

$$\begin{aligned} energiarenovável_{ij} &= a_{00} + a_1 capital + a_2 pessoal + a_3 interna + a_4 externa + a_5 captec + a_7 gov \\ &+ a_8 intpd + a_9 centrooeste + a_{10} nordeste + a_{11} sudeste + a_{12} norte \\ &+ a_{13} gestao + a_{14} agua + a_{15} energia + a_{16} impambiente + pdsetorial + u_0 \end{aligned} \quad (5)$$

As variáveis da expressão 5 estão descritas no Quadro 1, na próxima seção.

3.2 Fonte de dados: PINTEC e suas variáveis

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos junto à PINTEC de 2017. São consideradas 4.928 empresas da indústria de transformação que compõem 24 setores conforme a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE). A amostra selecionada pela Pintec corresponde às empresas com 10 ou mais pessoas ocupadas e que fizeram algum tipo de inovação voltada para o mercado nacional.

A PINTEC tem como propósito criar indicadores setoriais, nacionais e regionais que contemplam práticas inovadoras nas empresas da indústria. Também fornece indicadores

nacionais que avaliam as atividades de inovação nas empresas nos setores de eletricidade e gás, e serviços selecionados (IBGE, 2017).

Para integrar a base de empresas analisadas pela PINTEC, é necessário que a firma tenha registro no Cadastro Central de Empresas (CEMPRE), exerça atividades classificadas em seções da CNAE, esteja situada no território nacional e possua natureza empresarial. A avaliação considera a ocorrência de inovações ao longo de um período de três anos, bem como indicadores quantitativos, como os dispêndios com P&D, a realização de exportações e as modificações nos produtos ofertados, entre outros aspectos. A definição de empresas inovadoras adotada na PINTEC baseia-se no Manual de Oslo (2006), que as caracteriza como aquelas que tenham implementado ao menos uma inovação nos três anos anteriores à coleta das informações.

O Quadro 1 descreve as variáveis utilizadas no estudo, suas descrições, sinal esperado e aplicação em outros estudos.

Quadro 1. Variáveis selecionadas para a análise.

Variáveis	Descrição	Sinal esperado	Autores
<i>energiarenovável</i>	<i>Dummy</i> : valor = 1 se a empresa produziu algum tipo de energia renovável entre 2015 e 2017 e valor = 0, caso contrário.	Variável dependente	-
Variáveis explicativas de nível 1			
<i>Capital</i>	<i>Dummy</i> : valor = 1, se a origem do capital controlador da empresa é estrangeira ou mista; e valor = 0, caso contrário.	Positivo ou negativo	Cole; Elliott; Shimamoto, 2006; Ervilha; Cruz; Fernandes, 2019
<i>Pessoal</i>	Logaritmo do número de trabalhadores no final do ano de 2017. <i>Proxy</i> para o tamanho da empresa.	Positivo	Lustosa, 2011
<i>Interna</i>	<i>Dummy</i> : valor = 1 se, pelo menos, uma resposta das perguntas 'fonte de informação, utilizando-se o departamento de P&D da empresa ou outra informação interna' tiver importância 'alta'; e valor = 0, caso contrário.	Positivo	Forero-Pineda; Laureiro-Martinez; Marín, 2011
<i>Externa</i>	<i>Dummy</i> : valor = 1 se, pelo menos, uma resposta das questões 'outra empresa do grupo, fornecedores, consumidores, concorrentes e empresas de consultoria' tiver importância 'alta'; e valor = 0, caso contrário.	Positivo	Forero-Pineda; Laureiro-Martinez; Marín, 2011; Triguero; Moreno-Mondejar; Davia, 2013
<i>Captec - capacidade Tecnológica</i>	Razão entre o número de empregados de nível superior e o número total de empregados.	Positivo	Halila e Rundquist, 2011; Cuerva; Triguero-Cano; Córcoles, 2014
<i>Gov - apoio do governo</i>	<i>Dummy</i> : valor = 1 se, pelo menos, uma das questões (incentivos fiscais a P&D e inovação tecnológica; incentivo fiscal Lei da Informática; subvenção econômica a P&D e inovação tecnológica; financiamento exclusivo para compras de máquinas e equipamentos utilizados para inovar; financiamento de projetos de P&D e inovação tecnológica; bolsas oferecidas por fundações de amparo à pesquisa; e compras públicas junto às empresas inovadoras) obteve resposta positiva; e valor = 0, caso contrário.	Positivo	Cuerva; Triguero-Cano; Córcoles, 2014; Triguero; Moreno-Mondejar; Davia, 2013; Pinsky; Kruglianskas, 2017; Horbach; Rammer; Rennings, 2012
<i>Intpd - intensidade de pesquisa</i>	Razão entre investimentos em P&D e receita líquida com vendas.	Positivo	Forero-Pineda; Laureiro-Martinez; Marín, 2011
<i>Gestão - gestão Ambiental</i>	Parte gerencial que determina e implementa a política de meio ambiente na empresa	Positivo	Dias Angelo; Jabbour; Galina, 2012
<i>Regiões</i>	Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Norte são <i>dummies</i> de região. Referência: Sudeste.	Positivo	Abrahão 2021; Ervilha; Vieira; Fernandes, 2019
<i>Água</i>	<i>Dummy</i> que assume valor igual a 1 se houve redução no consumo de água e 0 caso contrário.	Positivo	
<i>Energia</i>	<i>Dummy</i> que assume valor igual a 1 se houve redução no consumo de energia e 0 caso contrário.	Positivo	
<i>Impambiente</i>	Importância dos impactos das inovações de produto e processo implementadas na redução do impacto sobre o meio ambiente	Positivo	
Variável explicativa de nível 2			
<i>Pdset - intensidade tecnológica setorial</i>	Somatório dos gastos das empresas com P&D e inovação do setor CNAE a 2 dígitos dividido pelo somatório da receita líquida com vendas do mesmo setor.	Positivo	

Fonte: Elaboração própria.

4 Resultados e discussão

Nesta seção, são apresentados os resultados dos efeitos individuais das variáveis do modelo, destacando a discussão para os efeitos significativos e para o IED. A Tabela 1 mostra que o resultado do ICC foi de 0,425, o que indica que aproximadamente 42,5% da variação na adoção de energia renovável entre as empresas pode ser atribuída às diferenças entre os setores industriais (nível 2 da análise). Assim, o setor econômico ao qual a firma pertence, exerce influência significativa sobre a probabilidade de adoção de práticas sustentáveis. Isso sugere que há elementos setoriais, como características tecnológicas, regulamentações específicas e padrões de concorrência, que afetam o engajamento das empresas em estratégias voltadas à produção de energia limpa.

Tabela 1. Modelo logit multinível estimado para energia renovável.

Variáveis selecionadas	Modelo nulo	Razão de chance
Origem do capital		1,209 (0,186)
Intensidade de pesquisa e desenvolvimento		1,000 (0,00108)
Capacidade tecnológica		1,1703* (0,051)
Tamanho da empresa		1,579*** (0,117)
Fonte de informação interna		0,947 (0,0890)
Fonte de informação externa		1,197* (0,170)
Apoio do governo		1,280*** (0,114)
Centro-Oeste		0,774 (0,271)
Nordeste		1,020* (0,274)
Sul		0,974*** (0,183)
Norte		0,428*** (0,117)
Gestão		1,459*** (0,174)
Importância da redução de impactos ambientais		1,482** (0,260)
Redução no consumo de energia		1,346* (0,240)
Redução no consumo de água		1,484** (0,257)
Pesquisa e desenvolvimento setorial		1,213*** (0,023)
Constante	0,956*** (0,347)	0,003*** (0,0009)
Observações	4,908	
Qui-quadrado	1806,100***	
ICC	0,425 (0,0633)	

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: ***, **, * significativo a 1, 5 e 10%. Os valores entre parênteses são os desvios padrões robustos.

Os resultados do modelo logit multinível, expressos na coluna ‘Razão de Chance’, evidenciam os principais determinantes associados à adoção de fontes de energia renovável na indústria de transformação brasileira. A análise dos efeitos estimados é fundamentada na literatura empírica, de modo a contextualizar os achados deste estudo em relação às investigações anteriores sobreecoinovação e investimento estrangeiro direto. Considerando que o foco central da pesquisa está na influência do capital externo, o primeiro resultado

discutido refere-se à variável ‘origem do capital’, com o intuito de examinar o papel do IED como potencial indutor da transição energética no setor industrial nacional e a práticas empresariais mais alinhadas à sustentabilidade e à inovação tecnológica.

As demais variáveis, usadas como controle para os determinantes da inovação em energia renovável apresentaram resultados interessantes. A intensidade P&D, definida como a razão entre os investimentos e a receita líquida de vendas da empresa, não apresentou resultados significantes. Esse achado é coerente com alguns estudos que destacam a complexidade envolvida na transformação de investimentos em P&D em inovação ambiental efetiva. Schappo, Ferreira e Bellen (2021) observaram que empresas com matrizes energéticas ainda não 100% renováveis tendem a apresentar níveis mais elevados de investimento em P&D. Isso sugere que há uma dificuldade em mensurar os retornos econômicos e sociais dos investimentos em inovação sustentável, o que pode desestimular sua alocação estratégica conforme apontaram (Bin et al., 2015; Frishammar et al., 2019).

Outro fator que pode explicar a ausência de significância é que parte da inovação ambiental depende de P&D colaborativo ou direcionado por políticas públicas específicas, e não apenas de investimentos internos da empresa. Sem articulação entre o esforço interno, um ecossistema favorável, como incentivos públicos e regulamentações ambientais ou pressão de mercado, os resultados desses investimentos tendem a ser difusos ou diluídos em áreas que não se traduzem em ganhos ambientais diretos. Esse resultado indica a necessidade de políticas direcionadas aos investimentos empresariais em P&D, ao alcance de metas ambientais. Instrumentos como editais temáticos, exigência de contrapartidas verdes ou prioridade a projetos voltados à transição energética para obtenção de créditos diferenciados, são alguns exemplos de políticas.

A capacidade tecnológica das empresas, medida pela proporção de empregados com ensino superior, mostrou-se significativa e positivamente associada à produção de energia renovável: empresas mais qualificadas apresentam 17,03% mais chances de adoção de energias verdes. Esse resultado corrobora estudos que apontam o papel do capital humano na absorção de inovações tecnológicas e na internalização de práticas sustentáveis (Cuerva et al., 2014). A qualificação técnica dos trabalhadores facilita a integração de soluções energéticas inovadoras e reforça o argumento de que o investimento em capital humano é condição essencial para o avanço daecoinovação no setor industrial (de Cássia Fucci-Amato & Amato Neto, 2008).

O tamanho da empresa também se destacou como variável relevante. Observou-se que empresas maiores apresentaram 57,9% mais chances de produzir energia renovável. A literatura enfatiza que firmas de maior porte têm mais recursos financeiros, capacidade de investimento, estrutura de governança e pressão pública para adotar práticas ambientais avançadas (Penrose, 2009; Hamilton, 2012). Além disso, grandes corporações mudam a postura ambiental e buscam operar em mercados mais regulados e competitivos (Lopes, 2016).

Outro fator que afeta o uso de energia renovável é o uso de fontes de informação externa, como fornecedores, concorrentes e consultorias, que ampliam em 19,7% a chance de adoção desse modal energético. Essa evidência está alinhada com o conceito de *spillovers* de conhecimento, segundo o qual a troca de experiências e a difusão de boas práticas entre empresas favorecem a inovação ambiental (Moralles, 2012; Li, Lian & Xu, 2023). A circulação de conhecimento em redes produtivas dinâmicas tende a impulsionar a adoção de soluções tecnológicas sustentáveis, especialmente em setores onde a inovação é crítica.

Em contrapartida, a fonte de informação interna não apresentou significância estatística, indicando que o conhecimento desenvolvido exclusivamente dentro da firma não exerce, isoladamente, efeito significativo sobre a decisão de adotar energias renováveis. Esse resultado é contrário às conclusões de Seidler-de Alwis e Hartmann (2008), que discutem que a inovação é mais eficaz quando o conhecimento interno é complementado por fontes externas. Neste estudo, entretanto, nota-se que isso não ocorre na indústria de transformação no Brasil pois

parece que apenas os estímulos externos contribuem para o sucesso de estratégias inovadoras em energia renovável.

O apoio do governo mostrou-se um importante indutor de práticas sustentáveis. Empresas que receberam incentivos públicos apresentaram 28% mais chances de adotar energia renovável. Esse resultado reforça a literatura sobre o papel estratégico do Estado no direcionamento de esforços inovadores e na superação de falhas de mercado (Cuerva et al., 2014; Hou et al., 2025) por meio de subsídios, crédito facilitado, incentivos fiscais e compras públicas sustentáveis são necessárias para criar um ambiente institucional que favoreça a transição energética. O setor energético, em particular, enfrenta desafios que exigem investimentos contínuos em P&D (Gordon e Cassiolato, 2019). Portanto, é essencial que os principais agentes envolvidos com o setor aproveitem incentivos do governo para impulsionar sua capacidade de inovação.

A adoção de práticas ambientais sistematizadas também teve efeito significativo. Empresas com gestão ambiental estruturada tiveram 45,9% mais chances de produzir energia renovável. Esse resultado reforça o compromisso com a sustentabilidade como um dos pilares da mudança organizacional (Paiva & Giesta, 2019; Souza & Costa, 2012). Gestão ambiental eficaz tende a alinhar os objetivos econômicos da empresa com preocupações ecológicas econômicas e sociais, promovendo melhorias operacionais e redução de custos.

Do ponto de vista das ações práticas de sustentabilidade, a redução no consumo de energia e de água foi associada, respectivamente, a aumentos de 34,6% e 48,4% em fontes renováveis. Essas variáveis funcionam como indicadores no compromisso mais amplo com a eficiência de recursos e refletem a internalização de práticas ambientais em diferentes dimensões da operação empresarial. Estudos de Estender & Pitta (2008) e Moretto et al. (2012) apontam que ações de eficiência hídrica e energética são frequentemente integradas às estratégias de diversificação da matriz energética, especialmente em países com forte presença de hidrelétricas, como o Brasil.

A valorização da dimensão ambiental no processo de inovação também apresentou efeito positivo. Empresas que atribuem maior importância à redução de impactos ambientais têm 48,2% mais chances de utilizar energias renováveis. Esse resultado sinaliza o papel da cultura organizacional e da percepção ambiental como determinantes daecoinovação. A variável ambiental no núcleo estratégico das empresas contribui para ampliar a legitimidade institucional e a aceitação social das firmas (Ghobadian et al., 1995; Hoffman, 2000).

A considerar as regiões brasileiras, observou-se diferenças estatisticamente significativas na probabilidade de adoção de energias renováveis. O que indica que o contexto geográfico importa para a incorporação de práticas sustentáveis pelas empresas. Para a região Centro-Oeste, por exemplo, verificou-se resultado não significativo. Apesar da expansão da agroindústria e da produção de biocombustíveis, a matriz energética da região ainda é pouco diversificada e depende fortemente da biomassa e de usinas termelétricas podendo restringir o engajamento em fontes como solar e eólica (Lourenzani et al., 2016; Costa, 2017).

Para a região Norte, observou-se resultado significativo: as empresas da região possuem 57,2% menos chances de adotar energia renovável em relação às do Sudeste. Isso pode ser explicado pelo baixo aproveitamento do grande potencial energético da região, apesar de sua elevada capacidade hidrelétrica. Robazzi (2015) aponta que, embora o Norte concentre cerca de 60% do potencial hidráulico nacional, barreiras regulatórias, baixa diversificação da matriz e infraestrutura limitada podem restringir a modernização do parque industrial.

No Sul do país, a razão de chance foi significativa e apresentou magnitude de 0,974, que representa uma redução de 2,6% na chance de adoção de renováveis. Embora a região conte com uma matriz relativamente limpa, com usinas hidrelétricas e energia eólica (especialmente no Rio Grande do Sul), seu desempenho abaixo do Sudeste pode estar relacionado a diferenças na densidade tecnológica ou nas estratégias corporativas regionais (Siffert, 2014). Em

contrapartida, o Nordeste foi a única região com que apresentou aumento de 2% na chance de adoção de energias renováveis, em relação ao Sudeste. O destaque do Nordeste está associado à sua liderança na produção de energia solar e eólica, beneficiada por condições climáticas favoráveis e incentivos públicos em infraestrutura (Bezerra, dos Santos, 2017; Matsubara, 2020). Ainda que o efeito seja modesto, confirma o papel estratégico da região na transição energética brasileira. Bezerra, dos Santos (2017) e Matsubara (2020) destacam que os incentivos fiscais, os leilões de energia promovidos pelo governo federal e a atração de capitais privados têm consolidado o Nordeste como polo nacional de geração eólica e solar. Ademais, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica ABSOLAR (2024), aponta que a baixa variabilidade dos ventos e a elevada irradiação solar tornam a região especialmente atrativa para investimentos em fontes limpas.

Portanto, reforça-se a hipótese de que a localização geográfica, quando acompanhada de políticas públicas eficazes, pode funcionar como catalisadora da transformação produtiva, estimulando a internalização de padrões ambientais mais exigentes e o alinhamento das firmas com as metas da transição energética (Cuerva et al., 2014; Carrer et al., 2024). Essas variações podem ser atribuídas a fatores como infraestrutura energética, maturidade tecnológica, e disponibilidade de recursos naturais.

Por último, a variável de nível setorial (P&D setorial), diferentemente da variável de intensidade de P&D em nível de empresa, é significativa. Isso mostra que empresas inseridas em setores mais intensivos em P&D apresentam 21,3% mais chances de adotar fontes renováveis. Isso demonstra que o ambiente setorial é relevante na difusão de práticas sustentáveis e que as externalidades tecnológicas, quando combinadas com políticas setoriais específicas, podem fomentar a modernização das firmas (Ervilha et al., 2019; Carrer et al., 2024).

De forma geral, os resultados encontrados indicam que a adoção de energias renováveis pelas empresas da indústria de transformação brasileira está associada a um conjunto articulado de fatores estruturais, organizacionais e contextuais. Destacam-se como principais determinantes: o porte da empresa, a qualificação da força de trabalho, a existência de sistemas de gestão ambiental, o uso de informações externas e o apoio governamental. Esses elementos, combinados, contribuem para a formação de um ambiente propício à inovação sustentável. Por outro lado, a ausência de significância estatística da variável 'origem do capital' evidencia que o investimento estrangeiro direto, embora relevante, não atua isoladamente como vetor da transição energética. Além disso, as diferenças regionais observadas reforçam que políticas públicas direcionadas, especialmente no Norte e Centro-Oeste, fundamentais para atenuar assimetrias territoriais e ampliar os efeitos positivos da inovação ambiental em todo o país.

5. Considerações finais

A urgência em mitigar as mudanças climáticas tem atraído a atenção da comunidade global e mobilizados governos, investidores e demais partes interessadas no estabelecimento de soluções renováveis para conter o aquecimento global e reduzir os impactos causados pela degradação ambiental. Entre as estratégias adotadas pelas empresas, é proposta a redução da dependência global de combustíveis fósseis e a substituição da matriz energética por fontes renováveis de energia. Para isso, as partes interessadas têm buscado atrair capital estrangeiro para fomentar a modernização de empresas da indústria de transformação.

Assim, este estudo buscou analisar a relação entre o IED e a adoção de energias renováveis por empresas da indústria de transformação. Para isso, foram utilizados os dados de taxas de inovação apresentadas pela Pintec de 2017, aplicados em modelos logit multinível, a fim de captar o efeito do capital estrangeiro na adoção de energia renovável nas empresas do setor de indústria de transformação.

Já é de conhecimento que a matriz energética brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis de energia. Esse cenário, além de representar uma vantagem competitiva para a economia nacional, constitui em um avanço no processo de transição energética, especialmente considerando o compromisso do país com a redução das emissões de carbono. No entanto, o Brasil ainda figura como um dos principais emissores globais, portanto, é necessário mobilizar uma série de fatores estruturais, institucionais e econômicos, para estimular o desenvolvimento sustentável nas indústrias de transformação.

No setor industrial, a transição energética não depende apenas da origem do capital, mas resulta de uma combinação de fatores internos e externos, o que reforça a importância de uma transformação verde ampla e integrada. É essencial promover a formação de capital humano qualificado, oferecer incentivos fiscais e linhas de crédito voltadas especialmente quanto à inovação sustentável. Além disso, é necessário estabelecer ambientes regulatórios estáveis e transparentes, principalmente em regiões com menor propensão à energia limpa. Políticas que incentivem a criação de zonas industriais verdes, com exigências ambientais mais rigorosas para atrair IED de qualidade, também se mostram relevantes. Soma-se, o fortalecimento dos Arranjos Produtivos Locais (APLs) e das redes de cooperação entre empresas, universidades e centros de pesquisa.

Apesar dos resultados apresentados, o estudo apresentou algumas limitações. Quanto ao período analisado restringe-se ao triênio de 2015 a 2017, o que pode não refletir mudanças mais recentes nos padrões de investimento e inovação. Além disso, a utilização de uma base de dados transversal (dados de corte) impede inferências causais robustas. Outra limitação relevante refere-se ao potencial viés de subnotificação de práticas sustentáveis nas respostas da PINTEC.

Dessa forma, como sugestões para pesquisas futuras, propõe-se a realização de estudos longitudinais que investiguem a evolução do comportamento empresarial quanto à adoção de fontes renováveis de energia em diferentes setores da economia. Também são recomendados estudos qualitativos que explorem os mecanismos internos de decisão empresarial em relação aos investimentos sustentáveis. Por fim, sugere-se a condução de análises comparativas com outros países emergentes, a fim de verificar se os efeitos do IED são semelhantes em contextos institucionais distintos.

Referências

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Brasil alcança marco histórico em energia solar e Pernambuco amplia participação. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-www-ne9-com-br-brasil-alcanca-marco-historico-em-energia-solar-e-pernambuco-amplia-participacao/>. Acesso em: 8 abr. 2025.

Belin, J., Horback, J., & Oltra, V. (2011). Determinants and Specificities of Eco-innovations – An Econometric Analysis for the French and German Industry based on the Community Innovation Survey (Cahiers du GREThA (2007-2019)).

Betarelli Junior, A. A., Faria, W. R., Gonçalves Montenegro, R. L., Bahia, D. S., & Gonçalves, E. (2020). Research and development, productive structure and economic effects: Assessing the role of public financing in Brazil. *Economic Modelling*, 90, 235–253. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.04.017>

Bezerra, F. D., & dos Santos, L. S. (2017). Potencialidades da energia eólica no nordeste: v. 2 n. 9 (2017). *Caderno Setorial ETENE*, v. 2 n. 9.

Bin. A. et al. (2015). Da P&D à inovação: desafios para o setor elétrico brasileiro. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 22, n. 3, p. 552-564. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1294-14>

Borghesi, S., Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2011). Brown sunsets and green dawns in the industrial sector: eco innovations, firm behavior and the European emission trading (3; Working Paper).

Carrer, D. A., Barbosa, M. R., & Fernandes, E. A. (2024). Ecoinovações e indústria de transformação brasileira: uma análise a partir dos dados da PINTEC 2017. 52o Encontro Nacional de Economia, 1–17.

Castellani, D., Marin, G., Montresor, S., & Zanfei, A. (2022). Greenfield foreign direct investments and regional environmental technologies. *Research Policy*, 51(1), 104405.

CNI, & CEPAL. (2023). Tendências, desafios e oportunidades da ecoinovação para a indústria no Brasil. https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/62/4e/624ec17c-a0e2-4398-a979-ed8d24aac239/tendencias_desafios_e_oportunidades_da_ecoinovacao_para_a_industria_no_brasil.pdf

CNI. (2023a). Indústria com novo DNA: ecoinovações reduzem o impacto ambiental e aumentam a competitividade da indústria. *Revista Da Indústria Brasileira*, 81(8), 8–18.

CNI. (2023b). Mapa estratégico da indústria 2023-2032: o caminho para a nova indústria (Edição Revista). <https://www.mapadaindustria.cni.com.br/download>

Cole, M. A., Elliott, R. J., & Shimamoto, K. (2006). Globalization, firm-level characteristics and environmental management: A study of Japan. *Ecological Economics*, 59(3), 312-323.

Costa, N. L. (2017). Biocombustíveis: produção, transporte, uso final e emissões de gases de efeito estufa na região centro-oeste.

Cuerva, M. C., Triguero-Cano, Á., & Córcoles, D. (2014). Drivers of green and non-green innovation: empirical evidence in Low-Tech SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 68, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.049>

de Cássia Fucci-Amato, R., & Amato-Neto, J. (2008). A influência do capital humano e do capital intelectual no desenvolvimento de aglomerações de empresas e redes de cooperação produtiva. *Journal of Technology Management & Innovation*, 3(2), 56-66.

Demena, B. A., & Afesorgbor, S. K. (2020). The effect of FDI on environmental emissions: Evidence from a meta-analysis. *Energy Policy*, 138, 111192. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111192>

Dias Angelo, F., Jose Chiappetta Jabbour, C., & Vasconcellos Galina, S. (2012). Environmental innovation: in search of a meaning. *World journal of entrepreneurship, management and sustainable development*, 8(2/3), 113-121.

Ervilha, G. T., Vieira, W. D. C., & Fernandes, E. A. (2019). Determinantes da ecoinovação nas empresas brasileiras: uma análise empírica. *Economia Aplicada*, 23(4), 145–174. <https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea161617>

Estender, A. C., & Pitta, T. D. T. M. (2008). O conceito do desenvolvimento sustentável. *Revista Terceiro Setor & Gestão de Anais-UNG-Ser*, 2(1), 22-28.

Forero-Pineda, C., Laureiro-Martinez, D., & Marín, A. (2011). Innovation patterns and intellectual property in SMEs of a developing country. *Innovar*, 21(42), 113–127.

Frishammar, J., Richtner, A., Brattström, A., Magnusson, M., & Björk, J. (2019). Opportunities and Galbiatti-Silveira, P. (2018). Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. *Opinião Jurídica*, 17(33), 123-147.

Fussler, C., & James, P. (1996). Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability. (No Title).

Ghobadian, A., Viney, H., James, P., & Lui, J. (1995). The influence of environmental issues in strategic analysis and choice: A review of environmental strategy among top UK corporations. *Management Decision*, 33(10), 46-58.

Gonçalves, J. E. L. (1984). Responsabilidade social da empresa. *RAE - Revista De Administracao De Empresas*, 24(4), 226–240. Retrieved from <https://periodicos.fgv.br/rae/article/view/39224>

Gordon, J. L., & Cassiolato, J. E. (2019). O papel do Estado na política de inovação a partir dos seus instrumentos: uma análise do plano inova empresa. *Revista de Economia Contemporânea*, 23(03), e192334.

Halila, F., & Rundquist, J. (2011). The development and market success of eco-innovations: A comparative study of eco-innovations and “other” innovations in Sweden. *European Journal of Innovation Management*, 14(3), 278-302.

Hamilton, R. T. (2012). How firms grow and the influence of size and age. *International Small Business Journal*, 30(6), 611-621.

Hoffman, A. J. (2000). Integrating environmental and social issues into corporate practice. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 42(5), 22-33.

Horbach, J., Rammer, C., & Rennings, K. (2012). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.005>

Hou, H., Wu, D., Wang, X., & Kong, D. (2025). Foreign direct investment, environmental regulation, and energy transition—An empirical study based on data from 38 OECD countries worldwide. *Managerial and Decision Economics*, 46(1), 573–589. <https://doi.org/10.1002/mde.4392>

IBGE. (2020). Pesquisa de inovação 2017. Análise complementar: sustentabilidade e inovação ambiental (2017; Pesquisa de Inovação). <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101732.pdf>

IRENA. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway (Volume 1). <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>

Kemp, R. (2000). Technology and Environmental Policy: Innovation Effects of Past Policies and Suggestions for Improvement. In Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (Ed.), *Innovation and the Environment*. OECD Publishing.

Li, J., Lian, G., & Xu, A. (2023). How do ESG affect the spillover of green innovation among peer firms? Mechanism discussion and performance study. *Journal of Business Research*, 158, 113648.

Lopes, M. C., & Taques, F. H. (2016). O desafio da energia sustentável no Brasil. *Revista Cadernos de Economia*, 20(36), 71-96.

Lourenço, T. M. D. S. P. (2015). A importância da formação profissional enquanto investimento em capital humano (Master's thesis, Universidade de Coimbra (Portugal)).

Lourenzani, W. L., Bernardo, R., & Caldas, M. M. (2016). Produção de biocombustível e alteração da composição agropecuária no Centro-Oeste do Brasil. *Interações (Campo Grande)*, 17(4), 561-575.

Lucchesi, A., Cole, M. A., Elliot, R. J. R., & Menezes-Filho, N. A. (2016). Determinants of environmental innovation in Brazilian manufacturing industries. *XLII Encontro Nacional de Economia*.

Martins, V. W. B., Rampasso, I. S., Siltori, P. F. S., Cazeri, G. T., Anholon, R., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2020). Contributions from the Brazilian industrial sector to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122762>

Matsubara, G. C. (2020). Impactos das mudanças climáticas futuras sobre a geração de energia renovável no Nordeste brasileiro.

Medeiros, A. M. R. (2022). Análise do Desempenho de Empresas do Setor Energético no Mercado de Capitais Brasileiro entre 2015 e 2019. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Medeiros, J. F. de, Ribeiro, J. L. D., & Cruz, C. M. L. (2012). Inovação ambientalmente sustentável e fatores de sucesso na percepção de gestores da indústria de transformação.

Cadernos EBAPE.BR, 10(3), 652–676. <https://doi.org/10.1590/S1679-39512012000300011>

Morales, H. F. (2012). Desenvolvimento sócio-econômico, infraestrutura de transportes e inovação: um estudo econométrico espacial dos efeitos de spillover nos estados brasileiros. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/T.18.2012.tde-15012013-092001. Recuperado em 2025-04-06, de www.teses.usp.br.

Moretto, E. M., Gomes, C. S., Roquetti, D. R., & Jordão, C. D. O. (2012). Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. *Ambiente & Sociedade*, 15, 141-164.

Nemet, G. F. (2009). Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change. *Research Policy*, 38(5), 700–709. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.01.004>

Nidumolu, R., Prahalad, C. K., & Rangaswami, M. R. (2009). Why Sustainability Is Now the Key Driver of Innovation. *Harvard Business Review*, 87(9), 57–64.

Observatório do Clima. (2024). Bases para proposta de 2a NDC para o Brasil (2030-2035) (4; Brasil 2045: Construindo Uma Potência Ambiental). https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/12/Brasil2045_Bases_NDC.pdf

OECD. (2009). OECD Benchmark Definition of Foreign Direct Investment 2008 (Fourth Edition; OECD Publishing). <https://doi.org/10.1787/9789264045743-en>

Paiva, F. C. D. S., & Giesta, L. C. (2019). Gestão socioambiental em micro e pequenas indústrias de Pau dos Ferros-RN. *Gestão & Produção*, 26(2), e2984.

Paramati, S. R., Ummalla, M., & Apergis, N. (2016). The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies. *Energy Economics*, 56, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.008>

Park, S., & Lake, E. T. (2005). Multilevel modeling of a clustered continuous outcome: nurses' work hours and burnout. *Nursing research*, 54(6), 406-413.

Penrose, E. T. (2009). *The Theory of the Growth of the Firm*. Oxford university press.

Pinsky, V. C., Moretti, S. L. D. A., Kruglianskas, I., & Plonski, G. A. (2015). Sustainable Innovation: A Perspective of Comparative International and National Literature. *Review of Administration and Innovation - RAI*, 12(3), 226. <https://doi.org/10.11606/rai.v12i3.101486>

Pinsky, V., & Kruglianskas, I. (2017). Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. *Estudos Avançados*, 31(90), 107–126. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190008>

Porter, M. E., & Linde, C. van der. (1995). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>

Pradhan, A. K., Sachan, A., Sahu, U. K., & Mohindra, V. (2022). Do foreign direct investment inflows affect environmental degradation in BRICS nations? *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 690–701. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15678-5>

Robazzi, J. V. S. (2015). Análise do crescimento energético brasileiro com enfoque no potencial energético da região Norte (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Recuperado de https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/b961b71a-5c5b-45a6-bf4c-656de49947e6/Robazzi_Joao_Vitor_Silva-tcc.pdf

Santos, M. A., Santos, E. C. dos, & Maia, M. de F. R. (2023). Produtividade e inovação ambiental. *Revista Brasileira de Inovação*, 22, 1–31. <https://doi.org/10.20396/rbi.v22i00.8667755>

Santos, M. F. S. D., Monteiro, G. F. O., Silva, I. P. D., & Silva, G. F. D. (2024). O papel da legislação na aceleração da adoção de energia renovável no Nordeste. In *Anais do V*

Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (CONEPETRO).

Schappo, F. dos, Ferreira, D. M., & Bellen, H. M. V. (2021). Pesquisa e desenvolvimento (P&D): Investimentos realizados pelas empresas brasileiras geradoras de energia e sua relação com a matriz energética. 21 USP International Conference in Accounting, São Paulo, SP, Brasil.

Seeg. (2023). Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil.

Seeg. (2024). Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>

Seidler-de Alwis, R., & Hartmann, E. (2008). The use of tacit knowledge within innovative companies: knowledge management in innovative enterprises. *Journal of Knowledge Management*, 12(1), 133-147.

Siffert Filho, N. F et al (2014). O BNDES e a questão energética e logística da Região Sul. In: MONTORO, Guilherme Castanho Franco et al. (Org.). Um olhar territorial para o desenvolvimento: Sul. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, p. [126]-163

Singhania, M., & Saini, N. (2021). Demystifying pollution haven hypothesis: Role of FDI. *Journal of Business Research*, 123, 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.007>

Sommet, N., & Morselli, D. (2017). Correction: keep calm and learn Multilevel logistic modeling: a simplified three-step procedure using STATA, R, mPLUS, and SPSS. *International Review of Social Psychology*, 30(1).

Souza, J. A., & da Costa, T. D. M. T. (2012). Responsabilidade social empresarial e desenvolvimento sustentável: conceitos, práticas e desafios para a contabilidade. *Revista Organizações em Contexto*, 8(15).

Souza, R. S.de (2002). Evolução e condicionantes da gestão ambiental nas empresas. *Revista eletrônica de administração*, 8(6).

Stern, N., & Valero, A. (2021). Innovation, growth and the transition to net-zero emissions. *Research Policy*, 50(9), 104293. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104293>

Triguero, A., Moreno-Mondéjar, L., & Davia, M. A. (2013). Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. *Ecological Economics*, 92, 25-33.

Uche, E., Das, N., Bera, P., & Cifuentes-Faura, J. (2023). Understanding the imperativeness of environmental-related technological innovations in the FDI – Environmental performance nexus. *Renewable Energy*, 206, 285–294.

Udemba, E. N., & Tosun, M. (2022). Energy transition and diversification: A pathway to achieve sustainable development goals (SDGs) in Brazil. *Energy*, 239, 122199. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122199>

UNCTAD. (2023). World Investment Report 2023: Investing in Sustainable Energy for All. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/wir2023_en.pdf

UNCTAD. (2024). World Investment Report 2024: Investing in Sustainable Energy for All. Disponível em: <https://unctad.org>

Xie, H., & Bui, W. K. T. (2024). Impact of globalization and energy consumption on CO2 emissions in China: Implications for energy transition. *Finance Research Letters*, 67, 105939. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105939>

Yasmeen, R., Zhaohui, C., Hassan Shah, W. U., Kamal, M. A., & Khan, A. (2022). Exploring the role of biomass energy consumption, ecological footprint through FDI and technological innovation in B&R economies: A simultaneous equation approach. *Energy*, 244, 122703. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122703>