

PARAÍSO OU HALO DA POLUIÇÃO? MAPEAMENTO DOS RISCOS DOS FLUXOS DE E-WASTE POR MEIO DE UMA ANÁLISE DE CLUSTERS DE GOVERNANÇA GLOBAL

ANDRE ORSI BOOS

UNIVERSIDADE DE BLUMENAU - FURB

NELSON HEIN

LUCIANO CASTRO DE CARVALHO

UNIVERSIDADE DE BLUMENAU - FURB

Introdução

O comércio transfronteiriço de resíduos eletrônicos permanece elevado apesar da Convenção de Basileia, impulsionado por brechas na distinção entre produtos usados e resíduos, reexportações via hubs logísticos e aplicação desigual das regras. Este artigo investiga como diferentes regimes de governança moldam a prevalência das hipóteses do paraíso e do halo da poluição, oferecendo um mapa comparativo de risco regulatório para 96 países no período 2019-2023.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Este estudo visa mapear a suscetibilidade de países aos fluxos de e-waste, determinando quando prevalecem a Hipótese do Paraíso da Poluição (PHH - atração de poluição) ou a Hipótese do Halo da Poluição (PHalo - difusão de boas práticas). O objetivo é classificar 96 países por seus perfis de governança para criar um mapa de risco comparativo que oriente políticas e monitoramento.

Fundamentação Teórica

PHH: custos regulatórios levam resíduos e atividades poluentes a jurisdições frágeis (Boudier & Bensebaa; Hector; Efthymiou). PHalo: IDE pode difundir tecnologias limpas quando há instituições fortes (Görg & Strobl; Lee; Ozioko; Alharthi). A Qualidade Regulatória (WGI) emerge como variável-chave. Persistem falhas da Basileia e rotas via hubs (ex.: Macau/Singapura), enquanto a economia circular e responsabilidade estendida do produtor podem mitigar vazamentos.

Metodologia

Utilizou-se os Worldwide Governance Indicators (WGI) de 2019-2023 para 96 países. As seis dimensões do WGI foram sintetizadas em um índice único (Valor de Thaler - VTh) pelo método multicritério ADRIANA. Sobre o VTh, aplicou-se a análise de clusters (k-means), resultando em três grupos distintos: alta, intermediária e baixa governança, operacionalizando empiricamente as hipóteses paraíso e halo da poluição.

Análise e Discussão dos Resultados

A clusterização revelou três perfis: Cluster 1 (baixa governança, alto risco de PHH com entrada direta de resíduos e informalidade); Cluster 2 (alta governança, propensão ao PHalo, mas com risco de reexportações disfarçadas); Cluster 3 (governança intermediária, equilíbrio instável entre PHH e PHalo devido à aplicação desigual das regras). O mapa de risco evidencia padrões geográficos claros e paradoxos em hubs logísticos.

Considerações Finais

A prevalência de paraíso ou halo da poluição depende da sinergia entre capacidade regulatória e papel logístico, não apenas da renda. O estudo oferece um diagnóstico operacional, convertendo críticas à Convenção de Basileia em ações específicas por cluster: triagem técnica em fronteiras, rastreabilidade e fiscalização direcionada. A integração com políticas de economia circular é fundamental para reduzir incentivos à exportação de riscos.

Referências

Hein, N. (2020). Análise decisória relativa interativa de aquisição e transação. *Ágora: Revista de Divulgação Científica*, 25, 133-151. <https://doi.org/10.24302/agora.v25i0.2974> World Bank. (2023). *Worldwide governance indicators*. <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators> Zheng, D., & Shi, M. (2017). Multiple environmental policies and pollution haven hypothesis: evidence from China's polluting industries. *Journal of Cleaner Production*, 141, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.091> Get rights and content

Palavras Chave

E-waste, Convenção de Basileia, Paraíso e Halo da Poluição

Agradecimento a órgão de fomento

O autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio da bolsa de doutorado, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

PARAÍSO OU HALO DA POLUIÇÃO? MAPEAMENTO DOS RISCOS DOS FLUXOS DE E-WASTE POR MEIO DE UMA ANÁLISE DE CLUSTERS DE GOVERNANÇA GLOBAL

1- Introdução

O comércio transfronteiriço de resíduos intensificou-se nas últimas três décadas, escancarando as disparidades de capacidade institucional que marcam a governança ambiental global. Apesar da Convenção de Basileia, que proíbe o fluxo de materiais perigosos para países com regulamentação frágil, resíduos elétricos e eletrônicos (*e-waste*) continuam a migrar em escala significativa para jurisdições de baixa capacidade regulatória. Em sua pesquisa, Ilankoon et al., (2018) estimaram que apenas 20% do *e-waste* global em 2016 foi reciclado adequadamente, com 80% indocumentados, enquanto Baldé et al., (2024) atualizam esse percentual para 22.3% em 2022, com fluxos ilegais representando 70 a 80% dos movimentos, especialmente para Ásia e África. Já Efthymiou, Mavragani e Tsagarakis (2016) mostram que o destino preferencial desse *e-waste* segue o critério do menor custo de conformidade, enquanto Hector (2017) analisou regimes de fiscalização em Gana e Nigéria, constatando que lacunas legais e déficits institucionais permitem o descarte informal de cargas da União Europeia, com graves impactos à saúde e ao meio ambiente.

Nesse cenário complexo, duas hipóteses teóricas disputam a explicação dos fluxos de investimento e poluição. A Hipótese do Paraíso da Poluição (PHH) sustenta que empresas multinacionais deslocam atividades poluentes para jurisdições menos rigorosas, aproveitando diferenças de custos regulatórios (Boudier & Bensebaa, 2011; Liu & Lai, 2021). Nesse sentido, Zheng (2017) reforça essa lógica ao demonstrar, na China, que políticas ambientais frouxas incentivam a realocação de indústrias poluentes, enquanto Orlins (2016) destaca que o setor informal chinês, processando 75% do *e-waste* global de forma tóxica, exacerba o PHH devido à fragilidade institucional. Em contrapartida, a Hipótese do Halo da Poluição (PHalo) argumenta que o investimento direto estrangeiro (IDE) pode elevar padrões ambientais via difusão tecnológica, desde que ancorado em instituições sólidas. Para Görg e Strobl (2005) e Lee (2009) em sua pesquisa os autores evidenciam *spillovers* tecnológicos em economias como Irlanda e Ásia, enquanto Liu e Lai (2021) verificam que a redução da pegada de carbono em resíduos importados ocorre apenas quando a dimensão Qualidade Regulatória (QR) dos *Worldwide Governance Indicators* (WGI) ultrapassa certos patamares. Visto isso, Alharthi (2024) complementa, mostrando que QR atenua a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental em economias emergentes, reforçando o papel da governança como moderadora.

Diante dessa tensão entre a Hipótese do Paraíso da Poluição (PHH) e a Hipótese do Halo da Poluição (PHalo), este artigo propõe um mapeamento da suscetibilidade a fluxos de resíduos eletrônicos (*e-waste*), utilizando os índices do *Worldwide Governance Indicators* (WGI) de 2019 a 2023 World Bank (2024) para classificar 96 países com base em suas estruturas institucionais. Essa abordagem preenche uma lacuna teórica e prática, pois a ausência de uma avaliação preventiva de riscos regulatórios e logísticos impede avanços no desenvolvimento de políticas ambientais. Para a análise, será aplicado o método ADRIANA (Hein, 2020) para sintetizar as seis dimensões do WGI: voz e prestação de contas, estabilidade política, eficácia do governo, qualidade regulatória, estado de direito e controle de corrupção. Por meio do método ADRIANA Hein (2020) as seis dimensões serão transformadas em um único vetor, o índice de Thaler, seguido pela clusterização k-means no software SPSS, resultando em três clusters.

Esse panorama oferece uma base empírica para investigações causais sobre os determinantes institucionais dos fluxos de *e-waste*, alinhando-se ao Objetivo de

Desenvolvimento Sustentável 12 - Consumo e Produção Responsáveis. Ao evidenciar a necessidade de fortalecer a governança do comércio ilegal de resíduos perigosos, o estudo propõe um referencial para políticas globais ajustadas a contextos institucionais diversos.

2 Revisão da Literatura

2.1 Paraíso da Poluição (PHH)

A hipótese do Paraíso da Poluição (PHH) sustenta que empresas e fluxos de investimento se deslocam para países cuja regulamentação ambiental é relativamente frouxa, a fim de reduzir custos de conformidade (Boudier & Bensebaa, 2011; Liu & Lai, 2021). Boudier e Bensebaa (2011) analisaram o comércio ilegal de resíduos elétricos e eletrônicos da União Europeia para países em desenvolvimento, mostrando que a combinação de legislação pouco aplicada, custos elevados de gestão no Norte e incentivos econômicos no Sul cria condições propícias para a “exportação” de riscos ambientais. Em perspectiva semelhante, Ilankoon et al., (2018) estendem essa análise globalmente, estimando que apenas 20% do *e-waste* mundial em 2016 foi reciclado adequadamente, enquanto os 80% restantes permaneceram indocumentados, reforçando que diferenciais regulatórios e custos de gestão explicam o deslocamento de resíduos para o Sul global.

2.2 Halo da Poluição (PHalo)

Em contraposição, a Hipótese do Halo da Poluição (PHalo) propõe que o investimento direto estrangeiro (IDE) pode atuar como vetor de difusão tecnológica, elevando o padrão ambiental dos países anfitriões quando encontra instituições sólidas. Em sua publicação Lee (2009), destaca ao analisar economias asiáticas, o autor identificou que entradas de IDE reduziram a intensidade de carbono nos setores manufatureiros devido à adoção de práticas mais limpas. Em linha semelhante, Görg e Strobl (2005) verificaram que indústrias estrangeiras emitiam menos poluentes que empresas locais graças a *spillovers* de *know-how* ambiental.

Esse efeito, contudo, não é automático. Ozioko et al., (2023), em estudo com 80 países em desenvolvimento, mostram que o IDE atenua emissões apenas quando qualidade regulatória, efetividade governamental e estado de direito superam limiares específicos, abaixo deles, prevalece o efeito paraíso. Sendo assim, Lambrechts e Hector (2016) reforçam essa lógica, relatando falhas de fiscalização na África Ocidental que transformam potenciais halos em externalização de custos. Barreiras institucionais, como instabilidade normativa e falta de incentivos financeiros, dificultam energias renováveis em economias emergentes, sublinhando a necessidade de instituições fortes para benefícios ambientais (Alharthi, Salim & Chandio, 2024). Por fim, Zheng (2017) complementa ao demonstrar que, na China, políticas legais fortes mitigam realocação poluente, favorecendo *spillovers* tecnológicos e alinhando-se a PHalo em contextos de QR elevada.

2.3 Qualidade Regulatória como Indicador Central

Diante da tensão entre PHH e PHalo, a qualidade regulatória emerge como variável-síntese para explicar a direção dos fluxos de resíduos. O indicador Qualidade Regulatória do *Worldwide Governance Indicators* (WGI) mensura a capacidade governamental de formular e implementar políticas que promovam o setor privado, abrangendo estabilidade normativa, ausência de intervenção discricionária e efetividade de fiscalização. Ozioko et al., (2023) utilizam esse índice para evidenciar que melhorias institucionais reduzem impactos negativos do IDE sobre emissões, destacando seu poder explicativo.

Convenção de Basileia, lacunas em QR em Gana e Nigéria permitiram *dumping* contínuo, indicando que leis formais requerem fiscalização forte. Nesse caminho, Liu e Lai (2021) ampliam essa análise, oferecendo evidências da Curva de Kuznets Ambiental (EKC) no

comércio de resíduos, com fluxos Norte-Sul evoluindo para Sul-Sul devido a vulnerabilidades institucionais, complementados por Song (2017), que quantifica transferências via Macau como hubs de QR moderada. Boudier e Bensebaa (2011) reforçam que, sem regulação eficaz, custos recaem sobre comunidades locais, incentivando comércio ilícito. O relatório ICC & EY (2024) adiciona que barreiras regulatórias e institucionais seguem como entraves à economia circular global, enquanto Baldé et al., (2024) destacam gaps em legislação (apenas 81 países com leis de e-waste), sugerindo ONGs como soluções (Orlins, 2016). Essas contribuições legitimam QR como variável central, alinhando com os anexos que evidenciam impactos reais em contextos como China e Macau, e apontam para políticas diferenciadas para mitigar PHH e fomentar PHalo.

3 Metodologia

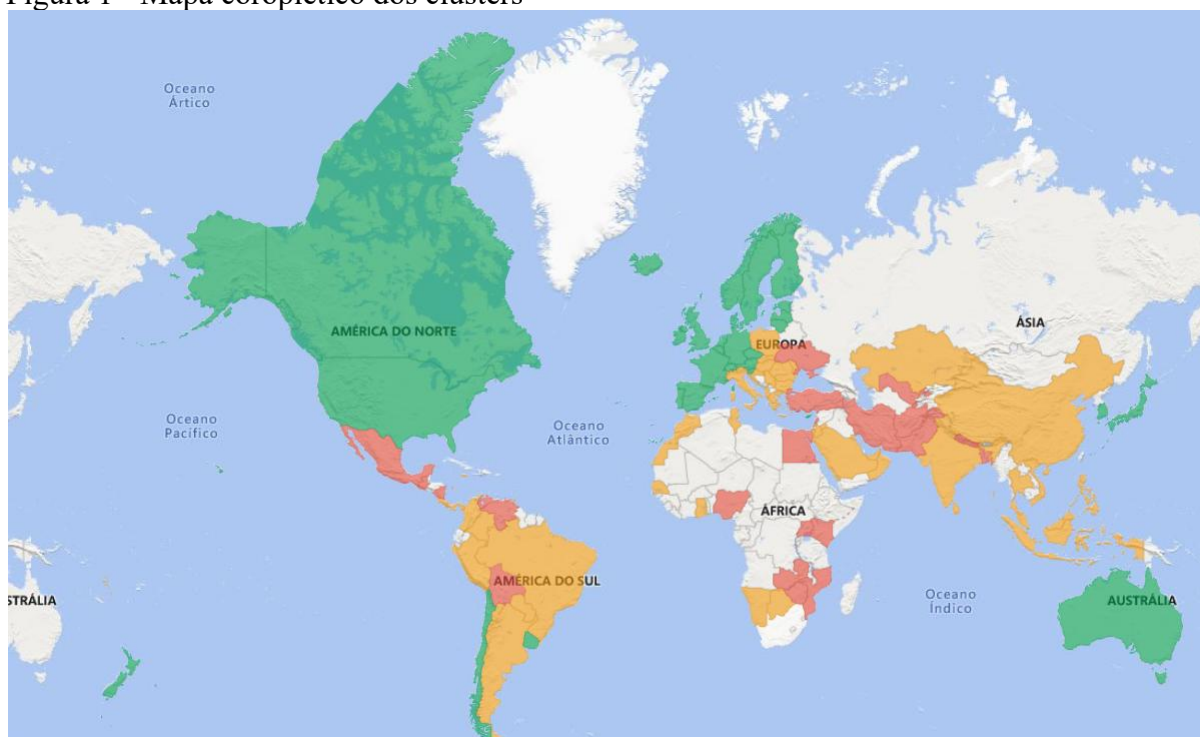
Este estudo adota um desenho de pesquisa quantitativa exploratória para investigar a suscetibilidade de 96 países à Hipótese do Paraíso da Poluição (PHH) e à Hipótese do Halo da Poluição (PHalo) com base em estruturas institucionais, conforme mensuradas pelos Worldwide Governance Indicators (WGI) de 2019 a 2023 (World Bank, 2024). A abordagem quantitativa exploratória busca identificar padrões iniciais e explorar relações em dados secundários, proporcionando uma base empírica para análises causais futuras (Creswell & Creswell 2022).

A literatura sugere que níveis diferenciados de qualidade regulatória condicionam tanto a hipótese do Paraíso da Poluição (PHH) quanto a do Halo da Poluição (PHalo) (Boudier & Bensebaa, 2011; Liu & Lai, 2023; Azimi & Rahman, 2023). Assim, optou-se por agrupar os países em três clusters de risco de acordo com seu escore de QR, sendo que a escala do WGI varia de $-2,5$ (desempenho fraco) a $+2,5$ (desempenho forte).

4 Resultados e Discussões

Para visualizar espacialmente e fornecer uma leitura imediata dos riscos associados aos fluxos de *e-waste*, a Figura 1 exibe um mapa coroplético com os 96 países coloridos por cluster: vermelho para o Cluster 1 - baixa governança e alta suscetibilidade ao paraíso, no Sul Global, verde para o Cluster 2 - alta governança e propensão ao halo da poluição e laranja para o Cluster 3 - governança moderada e equilíbrio entre hipóteses. Esta representação cartográfica sintetiza visualmente os padrões discutidos anteriormente.

Figura 1 - Mapa coroplético dos clusters



Fonte: Elaboração dos autores com base em dados do Banco Mundial (WGI, 2019-2023) e análise de cluster no SPSS (v.20.0). Visualização no Power BI. Legenda: Cluster 1 (vermelho) = baixa governança e maior risco de paraíso da poluição, Cluster 2 (verde) = alta governança e propensão ao halo e Cluster 3 (laranja) = governança intermediária e risco misto.

Os padrões espaciais emergem nitidamente, o Cluster 2 predomina na América do Norte, Europa Ocidental e Oceania. O Cluster 1 concentra-se em faixas do Sul da Ásia, Oriente Médio e Norte da África (MENA), América Central e pontos isolados na África Subsaariana, enquanto o Cluster 3 espalha-se pela América Latina, Leste Europeu, Ásia Central e Sudeste Asiático, refletindo heterogeneidades na aplicação regulatória. Notavelmente, o mapa revela o paradoxo de hubs de alta governança, como Singapura e Países Baixos ambos no Cluster 2, que atuam como nós logísticos para reexportações de cargas rotuladas como "produtos usados" (UEEE), potencializando vazamentos compatíveis com PHH, apesar de avanços regulatórios recentes, como os controles de transbordo implementados em Singapura a partir de 2025

A clusterização deste estudo revela três perfis bem definidos de governança do comércio de *e-waste*, organizados do maior potencial de PHalo para o maior risco de PHH: Cluster 1 - baixa governança e alta suscetibilidade ao paraíso da poluição, Cluster 2 - alta governança e propensão ao halo da poluição e Cluster 3 - governança moderada e equilíbrio entre hipóteses. O gradiente que emerge não é linear, mesmo no topo o Cluster 2, representado por países como Singapura e Alemanha podem sustentar reexportações e disfarces como "produtos usados" (UEEE), mantendo vazamentos regulatórios compatíveis com PHH; na base Clusters 1, a capacidade de fiscalização limitada e assimetria de incentivos ampliam a probabilidade de entradas ilícitas e reciclagem informal, nós intermediários. Já no Clusters 3, a presença de marcos legais coexiste com brechas logísticas e harmonização regulatória incompleta, criando equilíbrios instáveis entre PHH e PHalo.

À luz desses achados, a Convenção de Basileia (1989) merece uma crítica focal. A literatura documenta três fragilidades centrais: a ambiguidade de produtos usados (UEEE) e resíduos de produtos eletrônicos (WEEE), explorada para burlar controles por meio de reexportações via hubs (Song et al., 2017; Boudier & Bensebaa, 2011). A assimetria de fiscalização e de capacidade regulatória estatal, que abre espaço para redes ilícitas e métodos

tóxicos de reciclagem em polos informais (Lambrechts & Hector, 2016; Hector, 2017; Orlins & Guan, 2016; Zheng et al., 2017) e o desalinhamento Norte e Sul, que permite a externalização de riscos quando não há responsabilidades transfronteiriças (Cotta, 2020; Callao et al., 2021).

5 Conclusão

Este estudo delineou três perfis de governança no comércio de resíduos eletrônicos (*e-waste*), evidenciando que a prevalência da hipótese do paraíso da poluição (PHH) ou do halo da poluição (PHalo) depende menos do nível de renda isolado e mais da sinergia entre papel logístico e capacidade de qualidade regulatória. A clusterização transforma essa complexidade em um diagnóstico operacional, convertendo críticas amplas à Convenção de Basileia em áreas de risco específicas e acionáveis, guiadas por um roteiro de intervenção adaptado a cada cluster.

Os resultados apontam que reguladores e aduanas devem focar em corredores e hubs identificados, implementando triagem técnica para distinguir produtos usados e resíduos eletrônicos, rastreabilidade aduaneira e fiscalização direcionada a riscos críticos. Organizações internacionais podem otimizar o impacto de suas ações ao alocar assistência técnica e recursos com base em perfis de país e cluster, maximizando a eficiência das intervenções. A integração dessas estratégias com políticas de economia circular como compras públicas de materiais secundários, logística reversa setorial e desenvolvimento de mercados para reciclados fortalece a demanda interna, reduzindo incentivos à exportação de riscos ambientais.

5.1 Limitações e pesquisas futuras

A análise enfrenta limitações devido ao uso de indicadores agregados. Pesquisas futuras devem incorporar microdados de fronteira, inspeções padronizadas de funcionalidade, rastreabilidade digital e etiquetagem, e avaliações de impacto. Essa abordagem permitirá refinar os mapas de risco, monitorar a eficácia dos instrumentos por cluster e testar a viabilidade de transições de PHH para PHalo sob arranjos institucionais e logísticos diversificados.

Referências

- Kuehr, R., Hirsch, D., & Collins, T. (2024). Global E-waste monitor 2024: electronic waste rising five times faster than documented E-waste recycling. United Nations Institute for Training and Research, Geneva.
- Efthymiou, L., Mavragani, A., & Tsagarakis, K. P. (2016). Quantifying the effect of macroeconomic and social factors on illegal e-waste trade. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), 789. <https://doi.org/10.3390/ijerph13080789>
- Gomes, A. R. V., & Hein, N. (2023). *Multiple criteria performance measures - ADRIANA* [Web application]. <https://performancemeasures-adriana.streamlit.app/>
- Hein, N. (2020). Análise decisória relativa interativa de aquisição e transação. *Ágora: Revista de Divulgação Científica*, 25, 133-151. <https://doi.org/10.24302/agora.v25i0.2974>
- Ilankoon, I. M. S. K., Ghorbani, Y., Chong, M. N., Herath, G., Moyo, T., & Petersen, J. (2018). E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. *Waste Management*, 82, 258-275. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.018>
- International Chamber of Commerce & EY. (2024). *Putting the circular economy into motion: From barriers to opportunities*. https://iccwbo.org/wp-content/uploads/sites/3/2024/10/2024_ICC-x-EY-Report_05-1.pdf

Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2011). *The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues* (World Bank Policy Research Working Paper No. 5430). World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3913>

Lambrechts, D., & Hector, M. C. (2016). Environmental organised crime: The dirty business of hazardous waste disposal and limited state capacity in Africa. *Politikon*, 43(2), 251–268. <https://doi.org/10.1080/02589346.2016.1201727>

Liu, J., & Lai, J. (2021). Pollution haven hypothesis of global CO₂, SO₂, NO_x—Evidence from 43 economies and 56 sectors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6552. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126552>