

# Abordagem sustentável estratégica para os resíduos eletroeletrônicos

**Fernando José Alves Pedroza\***, **Luiz Filipe Alves Cordeiro**,  
**Ronaldo Faustino da Silva e Wanderson dos Santos Souza**

Instituto Federal de Pernambuco. Mestrado em Gestão Ambiental. *Campus* Recife.  
Av. Prof. Luís Freire, 500. Cidade Universitária. Recife-PE, Brasil (CEP 50740-545).

\*E-mail: [ecopedroza@yahoo.com.br](mailto:ecopedroza@yahoo.com.br).

**Resumo.** O crescimento geométrico dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos demanda destinação ambientalmente adequada por serem constituídos de componentes nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, entre eles os metais pesados. O objetivo desta pesquisa foi investigar as prováveis consequências dos comportamentos dos atores envolvidos na cadeia produtiva dos equipamentos elétricos e eletrônicos até o seu descarte sob a égide da legislação brasileira pertinente, que possam afetar a harmonia dos pilares da sustentabilidade, sob o ponto de vista das dimensões ambiental, econômica e social, com fulcro na teoria dos Jogos no modelo Dilema dos Prisioneiros. A pesquisa baseou-se em revisão bibliográfica e documental através de publicações científicas e normas brasileiras e internacionais indutoras da Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Os resultados apontam as vulnerabilidades do acordo setorial, instrumento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos para a implantação da logística reversa e os entraves legais a ela associados, que impedem a implantação de uma logística reversa eficiente. A pesquisa expõe a necessidade do acordo setorial ser revisado ao longo de sua execução, bem como a importância de produção legislativa para garantir o controle da plena execução da logística reversa, através de mecanismo de fiscalização eficiente.

**Palavras-chave:** Dilema dos Prisioneiros; Logística reversa; Gestão dos resíduos sólidos; Metais pesados.

**Abstract.** *Strategic sustainable approach to waste electrical and electronic equipment.* The geometric growth of waste electrical and electronic equipment demands an environmentally appropriate destination because it consists of components harmful to human health and the environment, including heavy metals. The objective of this research was to investigate the likely consequences of the behaviors of the actors involved in the production chain of electrical and electronic equipment until its disposal under the aegis of the relevant Brazilian legislation,

Recebido  
10/03/2020

Aceito  
25/04/2021

Publicado  
30/04/2021



Acesso aberto



ORCID

- 0000-0002-9315-4804  
Fernando José Alves  
Pedroza
- 0000-0001-8146-9465  
Luiz Filipe Alves  
Cordeiro
- 0000-0001-8097-9420  
Ronaldo Faustino da  
Silva
- 0000-0002-2081-3434  
Wanderson dos Santos  
Souza

which may affect the harmony of the pillars of sustainability, from the point of view of the environmental, economic and social dimensions, with a focus on Prisoners' Dilemma model. The research was based on a bibliographic and documentary review through scientific publications and Brazilian and international standards inducing the National Solid Waste Policy. The results found point to the vulnerabilities of the Sectorial Agreement, an instrument of the policy for the implementation of reverse logistics and the legal barriers associated with it that prevent the implementation of efficient reverse logistics. The research exposes the need for the Sectorial Agreement to be revised throughout its execution, as well as the importance of legislative production to guarantee the control of the full execution of the RL through an efficient inspection mechanism.

**Keywords:** Prisoners' Dilemma; Reverse logistics; Solid waste management; Heavy metals.

## Introdução

O grande avanço tecnológico da eletrônica digital que teve seu início na década de 1970, além de promover uma grande difusão dos equipamentos eletrônicos em larga escala, também encampou os tradicionais equipamentos elétricos. Com efeito, surge em todo mundo um acelerado crescimento do volume de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (Araujo, 2015). A geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil em 2016 alcançou o montante de 1.247.000 toneladas por ano, equivalente a  $5,93 \text{ kg}\cdot\text{ano}^{-1}\cdot\text{habitante}^{-1}$  (Azevedo, 2017).

O consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil está em torno de 120 milhões de aquisições. Segundo as projeções do Ministério do Meio Ambiente, as famílias dispõem de ao menos 500 milhões de equipamentos inservíveis. A média anual de descarte de equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil está na seguinte forma distribuída: computadores em torno de 100 mil toneladas; impressoras, 17 mil toneladas; televisores, 140 mil toneladas e, aparelhos celulares 2.200 toneladas (Araujo, 2015). A reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil é insignificante. Quase a totalidade deste tipo de resíduo é enviada ao exterior para a apropriação de metais pesados realizada no Reino Unido, Bélgica, Alemanha e Cingapura (Azevedo, 2017).

Mohan et al (2008) definem resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos como a massa de resíduos sólidos composta por equipamentos elétricos e eletrônicos que não são mais úteis para os consumidores.

A geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos apresenta taxa de crescimento em razão geométrica quando comparada ao crescimento demográfico. Esse crescimento desponta em nível mundial em razão das inovações tecnológicas e do acelerado processo de obsolescência dos equipamentos elétricos e eletrônicos (Santos, 2018).

Pereira (2018) anota que a indústria de equipamentos eletroeletrônicos é formada por cerca de quatro mil empresas, e que 80% desse setor englobam empresas de pequeno porte que absorve cada uma menos de 100 empregados. No ano de 2015, esse seguimento participava de 2,4% do Produto Interno Bruto (PIB) e gerou 250 mil postos diretos de

trabalho. Destaca ainda a pesquisadora que em anos anteriores esse setor chegou a participar de 4,0% do PIB.

### **Impactos causados pelos metais pesados em humanos decorrentes do descarte inadequado dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos**

As placas de circuitos impressos utilizadas para produção de equipamentos elétricos e eletrônicos são constituídas de componentes que podem ser prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, entre eles os metais pesados, se não tiverem a destinação ambientalmente correta quando transformadas em resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no final da cadeia produtiva. A contaminação pode ocorrer através do processo de bioacumulação pela exposição ao contaminante ao longo do tempo ou pelo processo de biomagnificação entre animais participantes da mesma camada trófica. Os metais pesados contidos nos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos com pouca impureza podem ser recuperados pelos processos pirometalúrgicos ou hidrometalúrgicos (Widmer et al., 2005), porém esses processos envolvem o uso de tecnologias complexas de difícil operação, alta toxicidade do material empregado e custo elevado (Araujo, 2015; Santos, 2015).

Zhang et al. (2012) aduzem que os processos pirometalúrgico ou hidrometalúrgico utilizados para reaproveitar os metais contidos nos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos geram elevados passivos ambientais por causa da produção de dioxinas e furanos, bem como a dispersão de poluentes plásticos e dos retardantes de chamas empregados nas placas de circuitos impressos.

A recuperação das matérias primas contidas nos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos bem como a sua reciclagem ainda é um desafio da ciência, em razão da grande variedade de componentes e elementos químicos neles contidos e do elevado passivo ambiental gerado (Kang, 2005; Martinho et al, 2012).

A disposição adequada dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos é uma questão de saúde pública. E é dever do Estado garantir a saúde pública coletiva, conforme prescreve o art. 196, da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

### **As decisões interpessoais e seus impactos no meio ambiente**

O ordenamento brasileiro vigente revela-se ineficaz perante a problemática da destinação adequada dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos quando analisado sob o ponto de vista das relações entre os atores envolvidos perante as possibilidades de decisões de forma a não cooperar com a sustentabilidade. O volume crescente dos resíduos em comento resulta de condutas que podem ser não colaborativas por ignorância dos riscos ou por deliberações individualistas conscientes dos riscos que visam maximizar suas escolhas. A violação dos interesses da coletividade impacta os recursos naturais esgotáveis (Wittman e Sircova, 2018).

A problemática da destinação adequada pode ser compreendida através da Teoria dos Jogos pelo modelo estatístico proposto por Tucker (1983), denominado de Dilema dos Prisioneiros. O modelo propõe um dilema onde dois suspeitos A e B são presos pela polícia que não tem provas suficientes para condená-los. Para solucionar o caso às autoridades separam os prisioneiros em salas distintas e oferecem a ambos um acordo nos seguintes termos e ilustrado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dilema dos Prisioneiros.

	<b>Prisioneiro "B" coopera</b>	<b>Prisioneiro "B" trai</b>
<b>Prisioneiro "A" coopera</b>	Ambos são condenados a 6 meses	"A" é condenado a 10 anos; "B" sai livre
<b>Prisioneiro "A" trai</b>	"A" sai livre; B é condenado a 10 anos	Ambos são condenados a 5 anos

1. Se um deles confessar a coautoria do crime (trair) e o outro negar (cooperar), o que confessou terá a liberdade e o cúmplice que negou cumprirá dez anos de prisão.
2. Se ambos cooperarem um com o outro negando a coautoria do crime, cada um cumprirá seis meses de prisão.
3. Se ambos traírem um ao outro confessando a coautoria do crime, cada um cumprirá cinco anos de prisão.

No modelo, os prisioneiros estarão incomunicáveis entre si e cada um fará a sua escolha sem saber a do outro. Analisando objetivamente sob o aspecto numérico e do ponto de vista da decisão individual, o modelo oferece a melhor opção aquela que é a pior para a coletividade, pois cada prisioneiro jogará de forma a permanecer o menor tempo possível preso maximizando o resultado da sua escolha. Com efeito, o prisioneiro A avaliará se o prisioneiro B irá cooperar (negar) ou trair (confessar). Então, caso o prisioneiro B decida cooperar e o prisioneiro A da mesma forma decida cooperar, o prisioneiro A terá que passar seis meses na prisão; portanto, escolher trair será mais vantajoso, pois o prisioneiro A será libertado. Ao revés, se o prisioneiro B optar por trair (confessar) e se o prisioneiro A por cooperar (negar), este terá que cumprir dez anos de prisão; portanto trair é a melhor escolha, uma vez que o prisioneiro A cumprirá cinco anos de prisão. Percebe-se que trair é a melhor opção tanto na primeira hipótese como na segunda; ou seja, para o prisioneiro A trair é a opção mais vantajosa seja qual for a escolha do prisioneiro B. Da mesma forma o prisioneiro B de forma racional buscará escolhas idênticas às do prisioneiro A buscando maximizar suas escolhas para passar o menor tempo possível na prisão; ou seja, para o prisioneiro B trair também é a melhor escolha. Resta demonstrado que, do ponto de vista quantitativo, trair é a melhor opção tanto para o prisioneiro A como para o prisioneiro B (Szolnoki e Perc, 2009).

O dilema do modelo estatístico reside no fato de que a escolha individual de trair, que é a dominante, não é o melhor para os dois prisioneiros, pois a condição Trair-Trair resultante da escolha unilateral de cada prisioneiro fará cada um pagar cinco anos de prisão. A condição Trair-Trair como resultado da estratégia dominante é tal que nenhum dos jogadores consegue melhorar o seu resultado agindo individualmente. E ainda que houvesse a possibilidade dos dois jogadores se comunicarem, a condição Trair-Trair também poderia acontecer em caso de ambos combinarem um resultado, mas na hora de apresentá-los acontecesse uma traição mútua (Szolnoki e Perc, 2009).

O Dilema dos Prisioneiros é um modelo onde o melhor resultado acontece com a cooperação coletiva, que é a condição Cooperar-Cooperar, em que ambos perdem menos; que no caso dos prisioneiros, cada um pagaria seis meses de prisão (Wang et al, 2017).

O Dilema dos Prisioneiros pode ser aplicado na gestão sustentável dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos substituindo os prisioneiros A e B pelas relações entre os atores envolvidos na cadeia produtiva dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos até o descarte, onde o melhor resultado para a coletividade acontece quando as decisões são voltadas para a cooperação mútua onde todos os atores envolvidos na

gestão perdem menos; e o pior resultado para a coletividade acontece quando cada ator envolvido no processo toma decisão de maneira a obter para si o melhor resultado. No Dilema dos prisioneiros a condição em que ambos os jogadores decidem trair e pagam cinco anos de prisão é denominada de Equilíbrio de Nash. A Paga do Ingênuo é a condição em que um jogador decide cooperar com aquele que vai lhe trair e como consequência paga dez anos de prisão enquanto o traidor é libertado. A melhor decisão para ambos os jogadores é a cooperação mútua, onde ambos pagam seis meses de prisão (Chang et al., 2018).

## Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido através da metodologia baseada em revisão bibliográfica e documental. A partir da revisão bibliográfica e da pesquisa na legislação brasileira pertinente aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, buscou-se identificar os entraves à destinação adequada destes resíduos e demonstrar as consequências das relações interpessoais entre os atores envolvidos na cadeia produtiva dos equipamentos elétricos e eletrônicos até o seu descarte à luz do modelo Dilema dos Prisioneiros proposto por Tucker (1983), que possam afetar a harmonia das dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade.

Com base na revisão bibliográfica pertinente aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos foi investigada a necessidade do descarte ambientalmente adequado destes resíduos em face de serem constituídos de metais pesados.

Através dos termos do Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos para a implantação da logística reversa e dos seus anexos, avençados em 31 de outubro de 2019, entre o Poder Público e os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes (Brasil, 2019).

Assim, este artigo propôs-se a identificar as vulnerabilidades do acordo que impedem a realização de uma logística reversa eficiente.

## Resultados e discussão

O incremento progressivo do volume de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos é um fenômeno global complexo de múltiplas variáveis; entre elas o uso de metais preciosos esgotáveis na produção de equipamentos elétricos e eletrônicos e o processo de biomagnificação e bioacumulação se o descarte dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos não ocorrer de forma adequada. Quando observado sob o prisma da economia linear, o desfecho necessário é o esgotamento dos metais preciosos finitos que são retirados das mineradoras para a produção dos equipamentos eletroeletrônicos e que não retornam ao estágio inicial do processo produtivo. No Japão as primeiras investidas na recuperação de metais contidos nos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos dispostos em aterros sanitários ocorreram na Cidade de Odate, Província de Akita, em dezembro de 2008. Neste ensaio consorciado entre a Universidade de Tohoku, setor privado e órgãos do governo, foram levantados inventários sobre tipos de equipamentos elétricos e eletrônicos, vida útil dos equipamentos até a data do descarte bem como a situação dos depósitos de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos para formar banco de dados para exploração futura de metais em aterros sanitários (Azevedo, 2017).

Elia et al. (2018) apregoam que o volume de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no mundo aumenta à taxa de 3% a 5% ao ano. A União Europeia desde 2015 orienta suas diretrizes no sentido de que os países membros abandonem a economia

linear e passem a adotar o modelo circular de forma que os recursos naturais finitos utilizados na cadeia produtiva retornem ao estágio inicial do processo (EESC, 2015).

Do ponto de vista estratégico para a preservação da sustentabilidade materializada nos pilares das dimensões ambiental, econômica e social é fundamental que os esforços no sentido de conservar o meio ambiente não inviabilizem o crescimento econômico ao ponto da logística reversa tornar-se um ônus não suportável pelos produtores de equipamentos elétricos e eletrônicos ou a eles equiparados. Wang et al. (2020) são contundentes na defesa da harmonia dos pilares da sustentabilidade quando preconizam em sua pesquisa sobre a variação geográfica dos objetivos da sustentabilidade na China, através de uma abordagem em nível das províncias, que priorizar o desenvolvimento econômico é benéfico para a consecução das metas de desenvolvimento econômico para as províncias ocidentais. Por outro lado, é necessário contrabalançar o crescimento econômico promovendo a proteção ambiental nas províncias do leste. A preservação da incolumidade dos pilares da sustentabilidade deve ser enfrentada como uma questão estratégica que priorize a melhoria da coletividade.

À luz da Teoria dos Jogos as gestões governamentais podem se deparar com dilemas como poluição ou miséria, por exemplo; e cabe ao gestor, fazendo uso dos meios legais disponíveis, preterir as escolhas em que toda coletividade saia perdedora. Zeng et al (2019), alinhados às escolhas governamentais que promovam o bem da coletividade, defendem a sustentabilidade do carvão na China como fator de segurança energética, que apesar da poluição que gera, o carvão foi responsável por 69,3% da geração total de energia primária daquele país no ano de 2018. Portanto, preservar o carvão como elemento energético é uma questão de segurança nacional necessária para promover a prosperidade socioeconômica. Adaptando à realidade do dilema chinês entre poluição ou miséria aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, infere-se, à luz do Dilema dos Prisioneiros, que a logística reversa não deve ser um fim em si mesmo de modo a inviabilizar o desenvolvimento econômico e social, uma vez que os meios necessários para a sua implantação e manutenção devem estar lastreados nos limites da conveniência, oportunidade e razoabilidade das ações governamentais.

Verificou-se, pelos termos da Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), do Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010) e, do Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, firmado em 31/10/2019 (Brasil, 2019), a inexistência de dispositivos aptos a coibir com eficácia os impactos negativos das decisões maximizadas, sob o ponto de vista do modelo Dilema dos Prisioneiros, consubstanciado nas decisões que emanam das relações entre os atores envolvidos na cadeia produtiva dos equipamentos elétricos e eletrônicos até o descarte. Da relação entre consumidor e governo, infere-se que a Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), estipula obrigações ao consumidor para participar da logística reversa na forma compartilhada com o produtor. Ocorre que o Código de Defesa do Consumidor, na forma da Lei nº 8.078/1990 (Brasil, 1990), que regula as relações de consumo, não determina essa obrigação ao consumidor, que da relação de consumo é posto na condição de vulnerabilidade e hipossuficiência.

Por se tratar de lei principiológica, a Lei nº 8.078/1990 (Brasil, 1990), que dispõe sobre a proteção do consumidor, cujo nascedouro é a Constituição Federal (Brasil, 1988), nenhuma lei ulterior a ela poderá determinar obrigações na relação de consumo. Desse conflito de normas, pode ensejar uma conduta maximizada, egoísta, do consumidor em não dispor adequadamente seus resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos por considerar que não está sob a incidência da obrigação legal. Sob o ponto de vista das decisões dos consumidores, alguns aspectos devem ser considerados. O consumidor, em razão da ausência de publicidade ostensiva sobre os riscos dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos por parte dos produtores ou do governo, pode por ignorância

deliberar descartar os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de forma inadequada. Existem também as possibilidades do consumidor decidir, consciente dos riscos, pelo descarte em desfavor da sustentabilidade por acreditar que não será afetado pela contaminação, ou pela crença de que somente pessoas distantes poderão ser contaminadas ou, assumir o risco de que da sua escolha qualquer um poderá ser contaminado incluindo ele mesmo. Das relações entre consumidor e governo ou consumidor e produtor, o consumidor pode optar pela escolha contaminação, ainda que consciente dos riscos, porque acredita que não será punido uma vez que na relação de consumo ele é a parte vulnerável tutelada pelo Código de Defesa do Consumidor. Conquanto, há a necessidade do Código de Defesa do Consumidor atrair as obrigações constantes na Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), para a salvaguarda da segurança jurídica da sustentabilidade.

Da relação governo e produtor, persistem alguns impedimentos para a implantação da LR que subsistem pela ausência de razoabilidade nos atos administrativos na busca de maximizar resultados aparentemente favoráveis ao governo e à sustentabilidade. Segundo os termos do Anexo IX, do Acordo Setorial (2019), a Resolução CONAMA nº 237/1997 (Brasil, 1997), regulamenta a licença ambiental e constam elencadas no seu anexo 1, as atividades a ela subordinadas. Entre elas, a fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos e a destinação ambientalmente adequada de seus resíduos.

No entanto, as atividades intermediárias de comércio ou armazenamento desses equipamentos elétricos e eletrônicos, incluindo os seus resíduos, não constam na lista desse anexo 1. Portanto, é imprescindível, para a implantação da logística reversa, que a legislação exonere da licença ambiental todo estágio da logística reserva que não gerem alterações físicas e químicas dos equipamentos elétricos e eletrônicos durante o manejo e transporte até a entrada dos estabelecimentos que darão a destinação final sustentável. Este, por último, requer a licença ambiental para operar adequadamente. A ação de manusear resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que não sofrem alterações físicas e químicas não representa ameaça para a saúde humana e do meio ambiente.

Constatou-se, pela revisão dos termos do Anexo IX, do Acordo Setorial (Brasil, 2019) dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, firmado em 31 de outubro de 2019, a imprecisão que subsiste quanto à classificação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no arcabouço jurídico pertinente. O padrão adotado para delinear os materiais como produtos, resíduos ou rejeitos, e se perigosos ou inertes, repercute nos direitos e deveres ambientais e trabalhistas, além da necessidade de obter o licenciamento para os pontos de coletas bem como demanda fiscalização nos meios de transportes utilizados. As interpretações jurídicas refletem no custo da logística reversa e podem, conforme o entendimento dos órgãos reguladores, inibir ou atrair investidores interessados na implantação do sistema. A imposição de processos rigorosos em alguns estágios da logística reversa no mesmo rigor de exigência para os resíduos perigosos, ainda que não ocorra a separação físico-química das partes utilizadas, torna o sistema burocrático e oneroso, e pode desestimular empresários de pequeno e médio porte, em especial empresários varejistas, a implantar pontos de coleta ou transbordo de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, em sentido contrário à geração de renda proposta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010, 2019).

Depreende-se, dos termos do Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, consignado em 31 de outubro de 2019, que os efeitos dos atos administrativos advindos da relação entre governo e produtor, quando observados pela acepção da Teoria dos Jogos no modelo Dilema dos Prisioneiros, são escolhas maximizadas que não geram os impactos positivos para a sustentabilidade econômica recomendados

pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, quando confrontados a relutância da arrecadação fiscal, na forma de imposto sobre circulação de mercadorias e o rigor no licenciamento ambiental nas questões que envolvem a implantação da logística reversa.

De acordo com a Lei Complementar nº 140/2011 (Brasil, 2011), está pacificada a autonomia dos entes federados para produção legislativa sobre licenciamento ambiental. Esta autonomia deve ser mantida em razão das diversidades geográficas, socioculturais, econômicas, ambientais e outras peculiaridades que assentam sobre a administração pública. Por outro lado, a imposição normativa de observância geral em âmbito nacional, é necessária para garantir o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, é necessário que a União garanta referenciais mínimos necessários que orientem as diretrizes da sustentabilidade em nível nacional que não colidam com os direitos e deveres dos entes federados de legislar sobre temas que versem sobre suas demandas específicas. A ausência de normas gerais implica na produção legislativa de cada ente federado por conceitos e regras próprias que desarmonizam o fim teleológico do desenvolvimento sustentável a ser atingido e gera um ambiente de insegurança jurídica que inibe os investimentos necessários.

Portanto, se a gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos não for normatizada de maneira uniforme para todos os estados da federação, a implantação da logística reversa não terá o seu êxito esperado pela ausência de motivação dos empresários de pequeno e médio porte do setor de comércio varejista. Do ponto de vista fiscal, é necessário exonerar a taxa de circulação dos materiais integrantes da logística reversa que transitam entre os estados; do ponto de vista ambiental, persiste a necessidade da não equiparação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que não ocorram a separação física e química dos resíduos perigosos. O sucesso da implantação da logística reversa dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, em um país de dimensão continental e diversidades peculiares, passa antes de tudo, pela vontade política (Brasil, 2019).

O Acordo Setorial (Brasil, 2019), em seu inciso VI, da cláusula terceira, que versa sobre a estruturação e implantação da logística reversa, estipula de forma favorável à dimensão econômica da sustentabilidade na relação entre governo e produtor, pela criação do Convênio CONFAZ, não subordinado ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de criar medidas fiscais simplificadas que retirem a incidência tributária sobre a circulação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos nas saídas dos pontos de coleta e de transbordo. Desta iniciativa governamental que busca celeridade e desburocratização do sistema, há dois aspectos a serem analisados, sob as lentes do modelo estatístico Dilema dos Prisioneiros.

O primeiro aspecto ocorre pelas decisões colaborativas das partes envolvidas; de um lado o governo, na busca de simplificar e dar celeridade ao processo; do outro lado, o comerciante varejista de pequeno ou médio porte, equiparado por força da lei ao produtor, que explora a atividade de coleta, beneficiando a economia e o meio ambiente; todos são beneficiados com os resultados das escolhas colaborativas. No segundo aspecto, de um lado o governo, representado pelo fisco estadual ou municipal, exonera a obrigação da incidência fiscal sobre os produtores envolvidos no processo da logística reversa e dá providências no sentido de desburocratizar; do outro lado, o comerciante varejista, representado pelo produtor, simula participar da logística reversa para burlar o fisco; esta é a condição denominada Paga do Ingênuo no modelo Dilema dos Prisioneiros, onde uma das partes colabora com a outra que trairá. Torna-se claro, portanto, a necessidade de um sistema de fiscalização eficaz de acompanhamento das atividades da logística reversa com a finalidade de elidir a evasão fiscal.

Do Acordo Setorial (Brasil, 2019) dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, denota-se que a sustentabilidade econômica da logística reversa é um fator preponderante quando se leva em conta a dimensão territorial do Brasil que repercute no custo de implantação e operacional do sistema. De acordo com a ABDI (2013), a existência da logística reversa requer um sistema de custeio necessário para que se possa alcançar um desenvolvimento sustentável. E numa visão mais ampla, o aparente aumento de custo para a implantação da logística reversa, é de fato, uma antecipação de custos que seriam despendidos para sanar danos ambientais provocados pelo descarte inadequado dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Nesse sentido, o Acordo Setorial propõe a implantação de um sistema de custeio consorciado entre os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores que participam de toda cadeia produtiva, na concepção de responsabilidade compartilhada.

O licenciamento ambiental, para a exploração econômica de um determinado empreendimento, para ser aprovado, leva-se em conta a avaliação do impacto segundo uma determinada metodologia adotada. Do mesmo modo, o sistema de logística reversa dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos para ser aprovado também passará pelo crivo de uma análise criteriosa dos seus impactos positivos e negativos. Nos termos do Acordo Setorial (2019) dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, a implantação do sistema de logística reversa passa pela avaliação dos impactos nas atividades econômicas de micro e pequenas empresas decorrentes do licenciamento dos pontos de coleta e de consolidação ou transbordo, que segundo a metodologia adotada, são mensurados os impactos conforme a natureza, se negativa; a duração, se permanente; a incidência, se direta; a ocorrência, se certa; o prazo de ocorrência, se de curto prazo; a reversibilidade, se reversível, a abrangência, se estratégica; e a magnitude, se alta. Quanto à duração, é aferido se o grau de resolução das medidas é alto e se o grau de relevância do impacto é baixo. O Acordo Setorial considera impactos negativos os entraves burocráticos do Estado na viabilidade da coleta e consolidação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos através dos comerciantes varejistas, uma vez que este seguimento é essencial para a implantação do sistema, que tem um custo próprio de implantação e de operação, e que dará a destinação adequada dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Existe, portanto um mercado a ser explorado pelos comerciantes varejistas que necessita de licença ambiental declarando que os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que mantêm a sua incolumidade não devem ser equiparados aos demais resíduos sólidos perigosos. Ante todo o fato exposto, o Acordo Setorial propõe como forma de mitigar os impactos negativos concernentes às atividades econômicas dos comerciantes varejistas, no tocante à licença ambiental, a regulamentação da atividade através do licenciamento emitido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) para o transporte interestadual de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no processo da logística reversa e iniciar os procedimentos de coleta e transporte desses resíduos nos estados que adotarem medidas simplificadoras de coleta e consolidação.

Do Acordo Setorial (Brasil, 2019) nasce a recomendação de que seja implantado um mecanismo de financiamento sustentável que possibilite o aparelhamento necessário da logística reversa e operação do sistema, acompanhado de sua representação, através de medidas fiscais simplificadas que não onerem todas as etapas da cadeia produtiva, uma vez que já existe previsão legal de taxação dos equipamentos elétricos e eletrônicos em seu processo produtivo.

Até o final de 2025, período em que se encerra a última etapa das metas do Acordo Setorial (2019), ficarão de fora da logística reversa os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos originários de equipamentos elétricos e eletrônicos de uso profissional, corporativo ou utilizados em processo produtivo. Esta limitação é mais um óbice à

destinação ambientalmente adequada dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos aliada ao baixo percentual de coleta ao longo dos anos, na seguinte forma, insculpido no Anexo VII, do Cronograma de Implantação da Fase 2: Ano 1 - 2021 (1%), Ano 2 - 2022 (3%), Ano 3 - 2023 (6%), Ano 4 - 2024 (12%) e, Ano 5 - 2025 (17%).

O número de cidades atendidas pela logística reversa também é muito restritivo, conforme o quadro de número de cidades abrangidas pelo sistema que consta no referido anexo. A título de exemplo, o sistema da logística reversa em Pernambuco atenderá no Ano 1, 1 (uma) cidade, Ano 2, três (três) cidades, Ano 3, 9 (nove) cidades, Ano 4, 15 (quinze) cidades e, Ano 5, 19 (dezenove) cidades. Apenas os municípios com mais de 80 mil habitantes, em um total de 400 municípios, serão atendidos pelos serviços da logística reversa, segundo o Anexo VIII da Lista de Municípios Alvo da LR. Considerando que no Brasil existem 5.570 municípios (IBGE, 2020) e que os serviços da logística reversa abrangem 400 municípios, a taxa de realização da logística reversa (400/5.570) está em torno de apenas 7,18%. O fato de existirem cidades fora do alcance da LR poderá ensejar movimentos de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos clandestinos na direção dessas cidades para burlar o rigor legal da logística reversa. A meta para que em cinco anos se alcance a logística reversa em 17% dos equipamentos elétricos e eletrônicos comercializados no Brasil não é suficiente para sanar a problemática dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos cuja geração tem crescimento geométrico (Santos, 2018), à taxa anual de 3% a 5% (Duygan e Meylan, 2015) e com projeção de aumento em torno de 500% para 2025 (Baldé et al., 2017).

Considerando que no Brasil o incremento da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos alcançou o patamar de 1.247.000 toneladas em 2016 (Azevedo, 2017), é possível fazer um prognóstico do incremento acumulado para 2025 que será o ano da última etapa do Acordo Setorial, uma vez que a taxa de crescimento anual deste resíduo está em torno de 3% a 5% (Duygan e Meylan, 2015). A projeção do incremento acumulado de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos pode ser obtida pela fórmula de acumulação:

$$M = A.(1 + i)^n \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

M = montante do incremento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos calculado para 2025, no valor de 1.774.885 t;

A = incremento de 1.247.000 t no ano base 2016;

i = taxa a 4%, obtida pelo valor médio entre 3% e 5%; e

n = 9 anos, que é o intervalo de tempo até 2025.

Desse montante, em tese 17% terá destinação ambientalmente adequada pela logística reversa, nos termos do Acordo Setorial. Restará, portanto, um saldo de 1.473.154,55 toneladas de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que não terão destinação adequada. Este prognóstico demonstra que o incremento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em 2025 será maior que o do ano 2016.

O Acordo Setorial (Brasil, 2019), em sua Cláusula Vigésima - Das Penalidades - é omissivo em estipular penalidades em caso de descumprimento sem justa causa e limita-se tão somente a submeter o infrator às sanções administrativas, civis e penais da legislação ambiental em vigor. A inclusão de sanções administrativas e multa no Acordo Setorial

seria um oportuno instituto de garantia do cumprimento dos termos avançados, uma vez que as multas das infrações na forma do art. 61 e do art. 62, incisos IX ao XII, do Decreto nº 6.514/2008 (Brasil, 2008), estão limitadas entre R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) e R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais). Esse limite de multa inibe condutas nocivas ao meio ambiente no âmbito das pequenas e médias empresas brasileiras, porém é ineficaz como meio de coibir tais ações nas empresas multinacionais que são as maiores geradoras de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos.

Restou também constatada a ausência de previsão de um sistema de fiscalização do processo da logística reversa dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, tanto nos termos da Lei nº 12.305/2010 (PNRS) (Brasil, 2010) quanto no Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010) que regulamenta esta norma, haja vista a complexidade do processo em um país de dimensão continental e de características socioculturais e geográficas distintas.

No Brasil não há uma lei específica acerca do tratamento ambientalmente adequado dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. A Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010), que institui a PNRS é uma norma de observância geral que abrange todos os resíduos sólidos e o Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010) regula a sua aplicação. Restou ao Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (Brasil, 2019) a expectativa de seus conteúdos pactuados terem o caráter de uma norma específica para a implantação da logística reversa. Ao revés, afere-se da Cláusula Primeira, inciso X, estabelecida no Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos das determinações do Manual Operacional Básico sobre as orientações técnicas para a implantação da logística reversa, detalhadas no Anexo VI do referido acordo, que o Manual Operacional Básico consagra-se como um manual cuja finalidade é a de promover tão somente uma visão geral sobre como a logística reversa deve ser implantada. Os termos grafados nas Considerações Finais do referido anexo são enfáticos em apregoar não ter a intenção de tratar de metodologias específicas vez que cada produtor poderá fazer uso das suas próprias técnicas e metodologias que sejam adequadas ao sistema de tratamento. Infere-se do modelo Dilema dos Prisioneiros que o Acordo Setorial dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, na forma do art. 19, do Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010), tem a fragilidade de possibilitar que os produtores ou a eles equiparados, maximizem suas escolhas em desfavor da coletividade.

A estipulação em sentido geral do Acordo Setorial no lugar da especificidade é um ponto de vulnerabilidade do sistema para a implantação de uma logística reversa de excelência. Günthen e Rodrigues (2014) anotam que os acordos setoriais demandam especificidades, viabilidade e particularização de operações com grau de versatilidade de tal forma que trazem consigo o inerente desafio de conciliar interesses conflitantes entre produtores e a coletividade (Pereira, 2018; SINIR, 2021).

## **Considerações finais**

A logística reversa dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos ainda é incipiente e não atingiu uma magnitude de produção em escala de modo a reduzir o custo do sistema. O tratamento dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, pela sua inerente complexidade, tem sido um grande desafio em razão da considerável gama de benefícios dos equipamentos elétricos e eletrônicos com o advento da eletrônica digital nos mais diversos ramos da atividade social. As facilidades de aquisição dos equipamentos eletroeletrônicos aliadas à fluidez de novas tecnologias cada vez mais versáteis e vida útil dos equipamentos cada vez mais curta impulsionam as vendas, criam postos de trabalho e colaboram na manutenção do estabelecimento de cerca de quatro mil empresas brasileiras

do seguimento de equipamentos eletroeletrônicos que participam de 2,4% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando 250 mil postos diretos de trabalho.

O seguimento de eletroeletrônico gera renda, emprego e arrecadação fiscal. Ocorre que as placas de circuitos impressos que formam os circuitos eletroeletrônicos são constituídas de componentes perigosos, entre eles, os metais pesados, que representam um dano potencial à saúde coletiva e ao meio ambiente. Portanto, do ponto de vista dos pilares da sustentabilidade nas dimensões ambiental, econômica e social, dar a destinação adequada aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos é uma questão de saúde pública e de preservação do meio ambiente, posto que a harmonia dessas três dimensões se perfaz na coexistência da garantia à saúde como direito fundamental com os princípios da liberdade econômica, ambos preconizados na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

A gestão brasileira dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos enfrenta três grandes barreiras à implantação da logística reversa, quais sejam: dependência tecnológica, entraves intrínsecos da própria legislação brasileira e, fiscalização inadequada. A dependência tecnológica de apenas cinco empresas que dominam a apropriação de metais pesados (Azevedo, 2017), que onera o sistema e repercute na competitividade das empresas brasileiras, é um problema de médio ou longo prazo que pode ser solucionado pela disposição dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em aterros sanitários em células específicas para que no futuro estas células sejam transformadas em pontos de mineração. As demais obstruções requerem solução de curto prazo que emana da produção legislativa.

O Brasil não dispõe de uma lei específica para a gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. A Lei nº 12.305/2010 (PNRS) é uma lei de disposição geral sobre os resíduos sólidos e a sua aplicação está regulada pelo Decreto nº 7.404/2010 (Brasil, 2010), que também não tem caráter de norma específica, que evoca, em seu art. 19, o Acordo Setorial para a implantação da logística reversa. Este último, instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, nos termos do art. 8º, XVI, da Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010) predomina metas, ao invés de determinações, bem como orientações e informações em caráter de observância geral.

Como o conteúdo de qualquer acordo resulta de negociações, a natureza menos impositiva do Acordo Setorial talvez, ante as dificuldades existentes, vise proteger as empresas brasileiras de pequeno e médio porte em face do cenário internacional competitivo. Resta a expectativa de que novos ajustes no sentido de obter uma logística reversa de excelência sejam, ao longo da sua execução, acrescentados na forma de termo aditivo para superar as vulnerabilidades que se manifestam na forma de ausência das atividades meio de comércio e armazenamento de equipamentos elétricos e eletrônicos, incluindo os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, na lista do anexo 1, da Resolução CONAMA nº 237/1997 (Brasil, 1997), que regulamenta o licenciamento ambiental, na imprecisão quanto à classificação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, na necessidade de não tributar a circulação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que transitarem no sistema da logística reversa, na desburocratização do sistema, na inclusão na logística reversa dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos originários de equipamentos elétricos e eletrônicos de uso profissional, corporativo ou utilizado em linha de produção, no aumento percentual das metas de coleta e aumento do número de municípios atendidos pelo sistema de logística reversa e na estipulação de penas capazes de inibir o não cumprimento dos termos firmados no Acordo Setorial. No entanto, embora todo embaraço em comento seja corrigido, é fundamental a criação de um sistema de controle eficaz para fiscalizar o fiel cumprimento dos termos previstos no acordo.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística reversa de equipamentos eletrônicos**. Brasília: ABDI, 2013.

Araujo, D. R. R. **Análise quali-quantitativa dos resíduos eletroeletrônicos gerados na Ilha de Fernando de Noronha**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2015. (Dissertação de mestrado).

Azevedo, L. P. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo: visão da sustentabilidade**. Ouro Preto: UFOP/UEMG, 2017.

Baldé, C. P.; Forti, V.; Gray, V.; Kuehr, R.; Stegmann, P. **The global e-waste monitor - 2017**. Bonn/Geneva/Vienna: United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU), International Solid Waste Association (ISWA), 2017. Disponível em: <[https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste\\_Monitor\\_2017\\_electronic\\_single\\_pages.pdf](https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017_electronic_single_pages.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do *caput* e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp140.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8078compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm)>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm)>.

Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo setorial para implantação de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes**. Brasília: MMA, 2019.

Chang, S.; Zhang, Z.; Wu, Y.; Xie, Y. Cooperation is enhanced by inhomogeneous inertia in spatial Prisoner's Dilemma Game. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 490, p. 419-425, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.034>

Duygan, M.; Meylan, G. Strategic management of WEEE in Switzerland: combining material flow analysis with structural analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 103, p. 98-109, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.005>

EESC - The European Economic and Social Committee. The European Economic and Social Committee and the committee of the regions. Closing the loop: An EU action plan for the Circular Economy. Brussels: EESC, 2015.

Elia, V.; Gnoni, M. G.; Tornese, F. Improve logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling. **Waste Management**, v. 72, p. 78-86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.016>

Günther, W. M. R. Rodrigues, A. C. Modelos de responsabilidade para produtos pós-consumo: discussão do caso brasileiro. Anais do XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Monterrey, México, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Números do Censo 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

Kang, H. Y.; Shoenung, J. M. Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. **Resources Conservation & Recycling**, v. 45, n. 4, p. 368-400, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.001>

Martinho, G.; Pires, A.; Saraiva, L.; Ribeiro, R. Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. **Waste Management**, v. 32, n. 6, p. 1213-1217, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.010>

Mohan, M. P. R.; Garg, I.; Kumar, G. Regulating e-waste: A review of the international and national legal framework on e-waste. In: Johri, R. (Ed.). **E-waste: Implication, regulations, and management in India and current global best practices**. New Delhi, India: The Energy and Resources Institute, 2008.

Pereira, R. S. C. **Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: proposta de indicadores de monitoramento para órgãos ambientais**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2018. (Tese de mestrado).

- Santos, D. F. **Análise da coleta de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos nos “ecopontos” de Belo Horizonte, MG**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
- Santos, J. S. G. Impactos causados por metais em humanos devido à disposição inadequada de equipamentos eletroeletrônicos. **Revista Pernambucana de Tecnologia**, v. 3, n. 3, p. 66-74, 2015.
- SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. 2021. Disponível em: <<https://sinir.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2021.
- Szolnoki, A.; Perc, M. Emergence of multilevel selection in the Prisoner’s Dilemma Game on coevolving random networks. **New Journal of Physics**, v. 11, 093033, 2009. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/11/9/093033>
- Tucker, A.W. The mathematics of Tucker: A sampler. **The Two-Year College Mathematics Journal**, v. 14, n. 3, p. 228-232, 1983. <https://doi.org/10.2307/3027092>
- Wang, Y.; Lu, Y.; He, G.; Wang, C.; Yuan, J.; Cao, X. Spatial variability of sustainable development goals in China: A provincial level evaluation. **Environmental Development**, v. 35, 100483, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.100483>
- Wang, Z.; Jusup, M.; Wang, R.; Shi, L.; Iwasa, Y.; Moreno, Y.; Kurths, J. Onymity promotes cooperation in social dilemma experiments. **Science Advances**, v. 3, e1601444, 2017. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601444>
- Widmer, R.; Oswald-Krapf, H.; Sinha-Khetriwal, D.; Schnellmann, M.; Böni, H. Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, n. 5, p. 436-458, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.001>
- Wittman, M.; Sircova, A. Dispositional orientation to the present and future and its role in pro-environmental behavior and sustainability. **Helyon**, v. 4, n. 10, e00882, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00882>
- Zeng, L.; Guo, J.; Wang, B.; Lv, J.; Wang, Q. Analyzing sustainability of Chinese coal cities using a decision tree modeling approach. **Resources Policy**, v. 64, 101501, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101501>
- Zhang, W. H.; Wu, Y. X.; Simonnot, M. O. Soil contamination due to e-waste disposal and recycling activities: A review with special focus on China. **Pedosphere**, v. 21, n. 4, p. 434-455, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60030-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60030-7)

