



## ÁREA TEMÁTICA: 3 (RECICLAGEM)

# ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E CUSTOS NA LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

*Marianna Ottoni<sup>1</sup>, Jéssica Cugula<sup>2</sup>, Emmanuelle Soares de Carvalho Freitas<sup>3</sup>,  
Lúcia Helena Xavier<sup>4</sup>*

1. Programa de Planejamento Energético (PPE/COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
2. Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
3. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM / MCTI)
4. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM / MCTI)

## RESUMO

O Sistema de Logística Reversa (SLR) para resíduos eletroeletrônicos (REEE) é essencial para reduzir o impacto do descarte inadequado dessa tipologia de resíduos que é tão complexa e diversificada. Contudo, a sua execução também apresenta impactos potenciais, especialmente durante o transporte, sendo suscetível às limitações do sistema rodoviário brasileiro e com uso ainda dominante de combustíveis fósseis, responsáveis por altas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Assim, o presente estudo visou calcular as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo transporte relacionado ao SLR de REEE no estado do Rio de Janeiro (RJ) e custos associados. O método utilizado envolve dimensionar a esfera da geração desses resíduos no estado de forma a definir pontos de alta geração que serão ligados por rotas de transporte até as recicladoras, e, a partir das distâncias, calcular a emissão de CO<sub>2</sub> e custos envolvidos. Para o cenário adotado, foram assumidas rotas operadas por caminhões a diesel. Observou-se que o estado pode ser dividido em 3 *clusters* de rotas, sendo o da região metropolitana o maior emissor por apresentar maior geração de resíduos. De forma geral, o estado tem potencial de emitir cerca de 49 tCO<sub>2</sub>e. por ano no transporte do SLR, representando um custo anual aproximado de R\$ 175.000,00. Tais valores podem ser reduzidos por meio de rotas mais otimizadas de transporte e uso de combustíveis menos poluentes, como o biodiesel. Por fim, o método se mostrou eficiente em fornecer o entendimento do nível de impacto que o transporte pode ocasionar, possibilitando, assim, o estabelecimento de medidas mitigadoras.

**Palavras-chave:** Logística Reversa; Emissões de CO<sub>2</sub>; Resíduo Eletroeletrônico.

## CO<sub>2</sub> EMISSIONS AND COSTS ESTIMATIVE IN THE REVERSE LOGISTIC SYSTEM OF RIO DE JANEIRO STATE

### ABSTRACT

The Reverse Logistics System (SLR) of electronic waste (e-waste or WEEE) is essential to reduce the impact of inadequate disposal and recycling of this type of waste. However, its execution also has intrinsic impacts, especially during transport, being susceptible to the limitations of the Brazilian road system and with the still dominant use of fossil fuels, responsible for high carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions. Thus, the present study aimed to calculate the CO<sub>2</sub> emissions generated by transport related to the e-waste SLR in the state of Rio de Janeiro (RJ) and associated costs. The method used involves dimensioning the sphere of generation of these wastes in the state to define the generation hotspots that will be connected by transport routes to the recyclers, and based on the distances, calculate the CO<sub>2</sub> emission and costs involved. In the adopted scenario, routes operated by diesel trucks were assumed. It was observed that the state can be divided into 3 clusters of routes, with the metropolitan region being the largest emitter as it presents greater e-waste generation. Overall, the state has the potential to emit around 49 tCO<sub>2</sub>e. per year in the SLR transporting operations, representing an approximate annual cost of R\$ 175,000.00. Such values can be reduced



through more optimized transport routes and the use of less polluting fuels, such as the biodiesel. Finally, the method proved to be efficient in providing an understanding of the level of impact that transport can cause, thus enabling the establishment of actions for impact mitigation.

**Keywords:** Reverse Logistics; CO2 emissions; E-waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Rente à evolução tecnologia presente na sociedade no último século ocorreu o crescimento da geração de resíduos eletroeletrônicos (REEE) (MACÊDO, 2009). Essa tipologia de resíduo é composta por produtos que precisam de energia para o seu funcionamento, seja por corrente elétrica contínua, alternada ou por meio de acumuladores (ABNT, 2013). Além disso, apresentam uma elevada taxa de crescimento, de forma que, apenas no ano de 2019, o mundo gerou um total de 53,6 Mt, sendo o Brasil detentor de uma geração per capita de 10,2 kg (FORTI *et al.*, 2020). Devido à sua composição multielementar, apresenta uma dualidade conflitante, tendo presença ao mesmo tempo de metais pesados e substâncias químicas tóxicas, mas também de metais valiosos e com potencial de reaproveitamento (CUCCHIELLA *et al.*, 2015). Por conta disso, diversos países já apresentam legislações avançadas que objetivam o tratamento e aproveitamento desses resíduos (ONGONDO *et al.*, 2011).

No Brasil, desde 2010 está regulamentada a Lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e, por meio desta, estabeleceu a obrigatoriedade da Logística Reversa de resíduos eletroeletrônicos, sendo essa responsabilidade compartilhada por todos os atores do ciclo de vida dos eletrônicos. Um Sistema de Logística Reversa (SLR) é aquele em que visa garantir a coleta e retorno dos resíduos sólidos à linha de produção, como matéria prima secundária e a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Como forma de estabelecer as metas e a participação dos atores no sistema, a PNRS determinou a implementação dos SLR por meio de acordos setoriais, termos de compromisso ou por regulamentação. Dessa forma, em 2019, foi assinado o Acordo Setorial para a implementação do SLR de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes (MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019), seguido, em 2020, pela publicação do Decreto 10.240/20, que ratifica o acordo setorial para a implementação da logística reversa em todo o território nacional com metas progressivas ao longo de 5 anos (BRASIL, 2020a).

A logística reversa atua como uma solução altamente eficiente para a situação dos resíduos eletrônicos, tendo em vista que gera todo um mercado econômico de reaproveitamento, gera matéria prima secundária e diminui a quantidade de resíduos nos aterros (OLIVEIRA *et al.*, 2020). A mineração urbana é uma abordagem para possibilitar a recirculação e reaproveitamento de recursos a partir de resíduos (XAVIER, LINS, 2018) e que considera a logística reversa como um instrumento (OTTONI, DIAS, *et al.*, 2020). De acordo com XAVIER *et al.* (2019), a mineração urbana de REEE pode ser interpretada como uma solução econômica para questões sociais e ambientais. Contudo, por conta dos pontos positivos da mineração urbana e da logística reversa, os seus impactos podem estar sendo subjugados ao longo dos anos, esses altamente associados às deficiências na sua estruturação. No Brasil, um dos problemas mais presentes é a geração dispersa de REEE, especialmente por conta de características socioeconômicas que influenciam os padrões de consumo e descarte, como é o caso da riqueza média da população, que, segundo KUMAR *et al.* (2017) e XAVIER *et al.* (2021), é diretamente proporcional à geração de REEE. A produção pulverizada desses resíduos pode levar a rotas de transporte não ideais no SLR, além de toda a estrutura de transporte do país que já apresenta problemas de falta de integração, agilidade e dependência de combustíveis fósseis.

A ineficiência no transporte é uma questão preocupante por parte da comunidade científica, principalmente pela sua parcela de responsabilidade na emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), principais causadores das mudanças climáticas. No Brasil, um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> é o setor energético (19% em 2019), incluindo a produção e uso de combustíveis fósseis (SEEG, 2020). Devido à atenção cada vez maior dada aos impactos das emissões desses gases, o mundo se mobiliza pela redução e mitigação dessa problemática a partir de metas globais



acordadas entre países. Nesse contexto, o Brasil apresentou a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) ao Acordo de Paris durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima – UNFCCC. As metas envolvem reduzir 37% das emissões de GEE geradas pela economia brasileira até 2025, tendo como base o ano de 2005 (BRASIL, 2020b). Dessa forma, o Governo Federal vem articulando, com os atores relevantes, propostas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas através da implementação, melhoria e revisão dos instrumentos existentes. No cenário atual, poucos estudos abordam a questão do impacto das etapas da logística reversa, em especial da etapa de transporte que apresenta alto potencial de emissão de GEE. Numa breve revisão, FREIRE e XAVIER (2021, no prelo) endereçaram a questão das emissões na mineração urbana de REEE de uma forma geral, apontando que ainda há relativamente um número reduzido de artigos com foco nas etapas de transporte da logística reversa de REEE. De acordo com NILSSON *et al.* (2017), a distância entre os pontos de geração e as indústrias recicladoras pode fazer com que a reciclagem se torne menos benéfica ao meio ambiente, muito embora as etapas de processamento da reciclagem corroborem de forma mais intensa para as emissões. AZEVEDO *et al.* (2017) calcularam os custos e emissões da logística reversa para pequenas cidades no estado de Minas Gerais, e AZEVEDO *et al.* (2019) replicaram esse método para a escala nacional, apontando o potencial de redução de emissões com a implantação do SLR. Uma variação dessa metodologia foi adotada para avaliar um modelo de logística reversa e reciclagem para placas de circuito impresso no Brasil, com base em critérios de custos, emissões e energia (OTTONI, 2021, no prelo). Alguns estudos de logística têm sido desenvolvidos com foco no gerenciamento de REEE no contexto brasileiro. OTTONI *et al.* (2020) indicaram melhores rotas entre *hotspots* de REEE e recicladores primários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. ARAUJO *et al.* (2020) identificaram os locais mais favoráveis para pontos de entrega voluntária (PEVs) de REEE para melhoria da Logística Reversa na cidade do Rio de Janeiro. CUGULA *et al.* (2020) analisaram rotas otimizadas para logística reversa de REEE na cidade de São Paulo.

Especialmente na presente fase inicial de implantação do SLR de REEE brasileiro a partir do Decreto 10.240, sendo 2021 o primeiro ano, as análises mais detalhadas em todas as etapas para otimização do sistema fazem-se necessárias. Portanto, além dos indícios de um sistema de logística reversa possivelmente ineficiente em termos de transporte/emissões, poucos estudos quantificaram essas dimensões. Nesse aspecto, este estudo visa endereçar essa lacuna para o estado do Rio de Janeiro, que apresenta alto potencial de geração de REEE e é um dos focos para implantação imediata da Logística Reversa.

## 2. OBJETIVO

O presente estudo visa estimar as emissões médias anuais de CO<sub>2</sub>eq. e custos derivados do transporte em um cenário de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no estado do Rio de Janeiro.

## 3. METODOLOGIA

O procedimento metodológico adotado neste estudo foi baseado nos estudos anteriores de AZEVEDO *et al.* (2019), AZEVEDO *et al.* (2017), OTTONI *et al.* (2020) e OTTONI (2021, no prelo), pautando-se em quatro principais etapas: (i) Identificação de potenciais locais de maior geração de REEE no RJ; (ii) Mapeamento de principais agentes recicladores atuantes na região; (iii) Definição de rotas mais propensas para a logística reversa; (iv) Cálculo estimativo da emissão de CO<sub>2</sub>eq. relativo ao transporte nas rotas de LR identificadas.

Visando a simplificação do cálculo, algumas premissas foram adotadas para definir o cenário de LR deste artigo, como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Premissas adotadas para o cenário de LR usado neste estudo



Parâmetro	Descrição/Valores	Fonte
<b>Rotas consideradas</b>	Rotas entre os <i>hotspots</i> de geração aos recicladores mais próximos (km)	Assumido
<b>Frequência</b>	Geração diária de REEE nos <i>hotspots</i> , transporte diário de <i>hotspots</i> aos recicladores	Assumido
<b>Condições de transporte</b>	Veículos pesados operando a diesel	Assumido
<b>Consumo médio diesel (km/L)</b>	6	Abrantes et al. (2005)
<b>Consumo médio biodiesel (km/L)</b>	6,38	Tuntiwiwattanapun et al. (2017)
<b>Preço do diesel (R\$/L)</b>	6,05	ANP (2021)
<b>Preço do biodiesel (R\$/L)</b>	7,53	ANP (2021)
<b>Preço do diesel (R\$/km)</b>	0,99	Calculado
<b>Preço do biodiesel (R\$/km)</b>	0,85	Calculado
<b>Emissões do diesel (kgCO<sub>2</sub>eq/L)</b>	2,603	D'Agosto et al. (2016)
<b>Emissões do diesel (kgCO<sub>2</sub>eq/km)</b>	0,434	Calculado (2,603 kgCO <sub>2</sub> eq/L / 6 km/L)
<b>Emissões do biodiesel (kgCO<sub>2</sub>eq/L)</b>	2,431	D'Agosto et al. (2016)
<b>Emissões do biodiesel (kgCO<sub>2</sub>eq/km)</b>	0,405	Calculado (2,431 kgCO <sub>2</sub> eq/L / 6 km/L)

#### **(i) Identificação de potenciais locais de maior geração de REEE no RJ**

A geração potencial de REEE foi calculada a partir da metodologia de FORTI *et al.* (2020), que considerou a geração anual de 10,2 kg/habitante desses resíduos no Brasil. Dessa forma, adotando-se o quantitativo populacional por município obtido pelo último censo demográfico, os locais de maior geração de REEE foram identificados e mapeados por meio do software de georreferenciamento ArcGIS. Ainda, considerando-se que a geração de REEE está diretamente correlacionada com o grau de riqueza de um determinado local (KUMAR, HOLUSZKO, *et al.*, 2017), que pode ser medido, por exemplo, a partir do PIB, optou-se por adicionar os valores dos PIBs municipais para validar os potenciais hotspots identificados (IBGE, 2018). Assim, para fins de simplificação do cálculo das rotas, foram considerados como hotspots os maiores PIBs, alocados pelo ArcGIS nos centroides de seus respectivos municípios.

#### **(ii) Mapeamento de principais agentes recicladores atuantes no estado do RJ**

Os agentes recicladores de REEE foram considerados a partir do levantamento realizado pelo Projeto DATARE (CETEM, 2021) de 272 organizações. Desta lista, foram triados aqueles atuantes no RJ e mapeados no software ArcGIS.

#### **(iii) Definição de rotas mais propensas para a logística reversa**

As rotas mais propensas para a LR de REEE foram obtidas considerando-se como principais critérios a atuação dos recicladores em termos dos tipos de REEE processados e a menor distância entre os *hotspots* e os recicladores mapeados. O cálculo das distâncias foi realizado a partir do Google Maps e ferramentas do ArcGIS.

#### **(iv) Cálculo estimativo da emissão de GEEs relativos ao transporte nas rotas identificadas**



O cálculo aproximado das emissões médias do transporte de REEE na LR medidas em CO<sub>2</sub>eq. foi realizado com base nas distâncias obtidas anteriormente e nos fatores presentes na Tabela 1, assumindo-se que as rotas da LR seriam percorridas por veículos pesados operados a diesel e seriam comparadas com o cenário do uso do biodiesel.

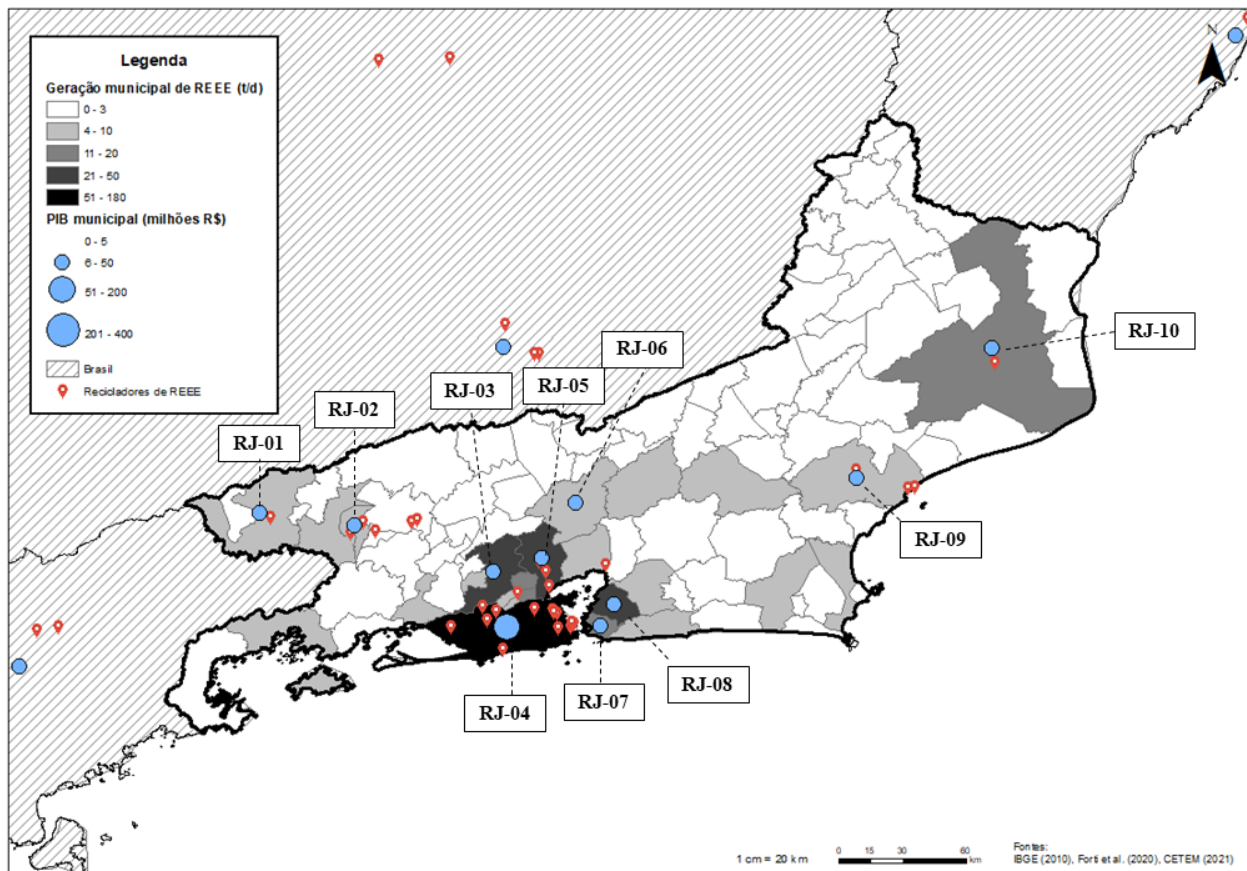
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A geração média de REEE estimada para cada município do estado do RJ, o PIB municipal e a distribuição dos recicladores identificados foram mapeados na Figura 1.

Considerando-se a distribuição dos hotspots municipais e os maiores PIBs, observa-se, a partir da Figura 1, que o RJ pode ser dividido em três principais clusters: (I) Médio Paraíba, na porção superior esquerda do estado; (II) Metropolitana, na fração central sul do estado; (III) Norte, na região superior direita do estado.

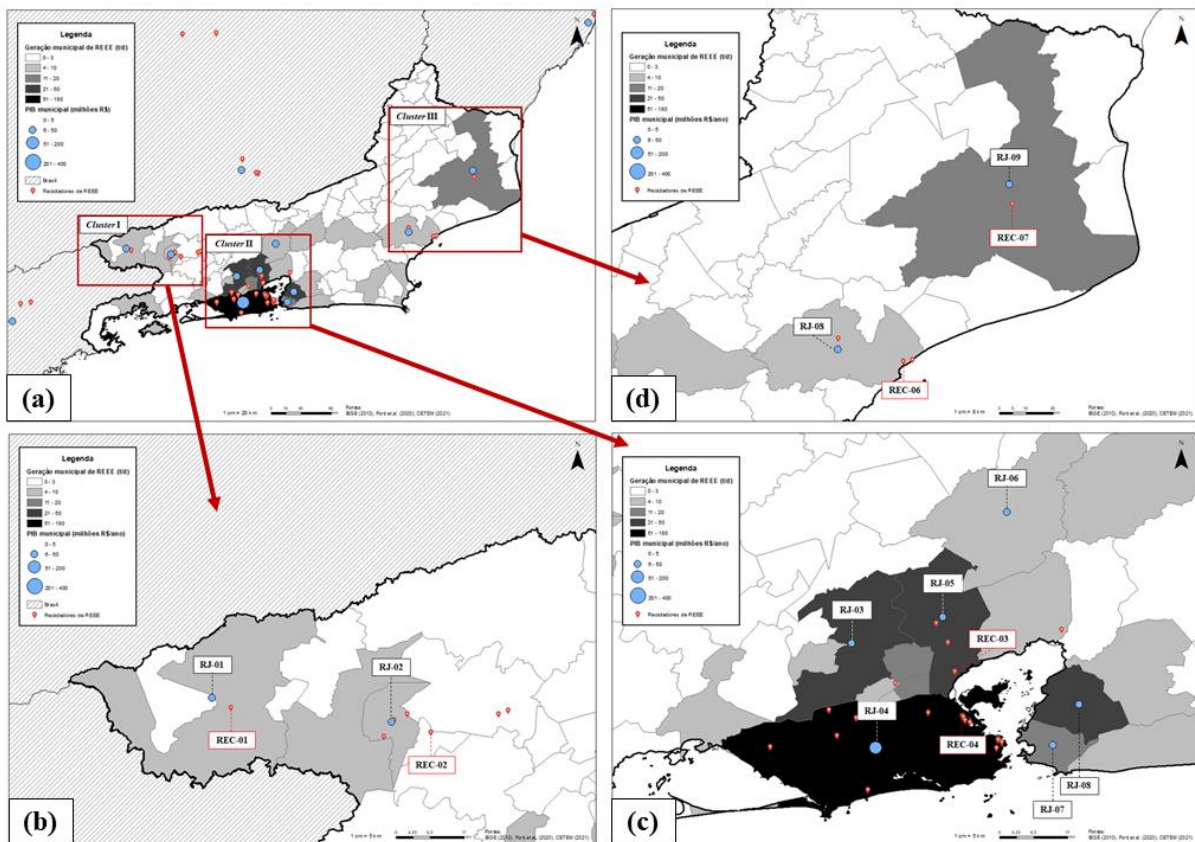
A Figura 2 ilustra os principais *clusters* de REEE identificados no RJ (a), os *hotspots* e recicladores do *Cluster I* (b), do *Cluster II* (c), e do *Cluster III* (d), e seus respectivos códigos para o cálculo das rotas.

**Figura 1.** Perfil de geração média estimada de REEE, PIB municipal e recicladores de REEE identificados no estado do Rio de Janeiro





**Figura 2.** Cenário de Logística Reversa de REEE considerado no presente estudo: (a) principais clusters de REEE identificados no RJ; (b) hotspots e recicladores do Cluster I; (c) hotspots e recicladores do Cluster II; (d) hotspots e recicladores do Cluster III



O *Cluster I* foi identificado com dois principais *hotspots*, nos municípios de Itaitiaia e Volta Redonda. No *Cluster II*, seis *hotspots* foram destacados, nos municípios de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Petrópolis, Niterói e São Gonçalo. Por fim, o *Cluster III* foi observado com dois principais *hotspots* de geração de REEE nos municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes. A Tabela 2 apresenta as principais rotas obtidas entre os pontos de geração e os recicladores selecionados, bem como as respectivas distâncias, emissões e custos de transporte, considerando-se um cenário em que tais rotas seriam performadas diariamente em um ano, ou seja, 365 viagens anualmente.

Como apontado na Tabela 2, as rotas que mais contribuem com emissões de GEE e consequentes custos de transporte estão localizadas no *Cluster II*, correspondente à Região Metropolitana do estado, a qual tende a ser a mais impactante de acordo com os critérios avaliados por conta da sua maior geração estimada de REEE.



**Tabela 2.** Principais distâncias, emissões e custos de transporte das rotas selecionadas para a simulação da logística reversa no RJ no cenário adotado

Cluster	Rotas		Distância (km/viagem)	Emissões Diesel (kgCO2e.)	Custos de transporte (R\$)	Emissões Biodiesel (kgCO2e.)	Custos de transporte (R\$)
	Hotspot	Reciclador					
I	RJ-01	REC-01	20	8,68	30,8	8,1	17
	RJ-02	REC-02	25	10,85	38,5	10,125	21,25
	RJ-03	REC-03	30	13,02	46,2	12,15	25,5
	RJ-04	REC-04	20	8,68	30,8	8,1	17
II	RJ-05	REC-03	15	6,51	23,1	6,075	12,75
	RJ-06	REC-05	60	26,04	92,4	24,3	51
	RJ-07	REC-05	60	26,04	92,4	24,3	51
	RJ-08	REC-05	50	21,7	77	20,25	42,5
III	RJ-08	REC-06	20	8,68	30,8	8,1	17
	RJ-09	REC-07	10	4,34	15,4	4,05	8,5
<b>Total (por viagem)</b>			<b>310</b>	<b>134,54</b>	<b>477,4</b>	<b>125,55</b>	<b>263,5</b>
<b>Total (por ano)</b>			<b>113.150</b>	<b>49.107</b>	<b>174.251,00</b>	<b>45.825,8</b>	<b>96.177,50</b>

Em termos anuais, o cenário de logística reversa avaliado tem o potencial de emitir cerca de 49 tCO<sub>2</sub>e. A redução desse quantitativo pode ser alcançada a partir de medidas voltadas não apenas para a concentração de carga em pontos estratégicos de consolidação, de forma a reduzir a frequência do transporte desses resíduos até os recicladores, mas, da mesma forma, para o uso de combustíveis menos poluentes na frota utilizada no transporte. Além disso, as estratégias de educação ambiental direcionadas para a redução da geração de REEE, a partir, por exemplo, do incentivo ao reuso desses materiais, têm um papel relevante para a diminuição dos impactos ambientais da cadeia dos eletroeletrônicos.

No cenário em estudo, os gastos com transporte na LR podem alcançar mais de R\$ 170.000,00 em um ano. De acordo com DOAN *et al.* (2019), o custo de transporte geralmente representa a maior proporção do custo total da operação de logística reversa, o que significa que se o custo total relacionado a essas práticas exceder o custo total de compra de novos materiais ou produtos na empresas produtoras, estas podem ter finanças insuficientes para aplicar a LR. Com as estratégias para reduzir a frequência do transporte de REEE às recicladoras, como por meio dos pontos de consolidação, ou mesmo por meio de sistemas inteligentes de rastreamento dos volumes gerados de REEE e de otimização de rotas, uma potencial economia no transporte pode ser observada. Além disso, incentivos fiscais por parte do governo para baratear a logística reversa e facilitar o transporte dos REEE deveriam ser consideradas como uma forma de promover e expandir o sistema de valoração de resíduos no estado.



## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo verificou a dimensão das emissões de GEE derivados do transporte de REEE na logística reversa no RJ, além de indicar, da mesma forma, os potenciais custos de transporte desses materiais. A partir dos cálculos do cenário considerado para o RJ, a LR no estado tem o potencial de emitir 49 tCO<sub>2</sub>e. por ano, além de representar um custo de cerca de R\$ 175.000,00 ao sistema apenas com o transporte, o que pode conferir empecilhos às ações de valorização dos REEE no estado. O uso do biodiesel como fonte alternativa de combustível pode corroborar para uma redução de cerca de 7% nas emissões e de 81% nos custos derivados do transporte.

A execução dos SLR deve, ainda, considerar medidas de aumento de eficiência no transporte, seja por meio de estratégias de consolidação de carga, investimentos em sistemas inteligentes de rastreamento dos resíduos e otimização de rotas, além de incentivos governamentais para baratear e, portanto, facilitar o transporte dos REEE. Por fim, ações em prol da redução de geração de REEE pelo uso prolongado desses equipamentos podem contribuir para os impactos do tratamento posterior desses materiais ao fim da cadeia.

As principais limitações deste estudo foram referentes à falta de informações mais precisas sobre as rotas de logística reversa e as quantidades coletadas de REEE, sendo necessário estabelecer cenários aproximados para tornar o cálculo de emissões possível. Com a consolidação do primeiro ano da logística reversa a nível nacional derivado do Decreto 10.240/2020, mais informações poderão ser exploradas em futuros estudos.

## REFERÊNCIAS

- ANP, 2021. ANP Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
- ABRANTES, R., ASSUNÇÃO, J.V., HIRAI, E.Y., 2005. Caracterização das emissões de aldeídos de veículos do ciclo diesel. *Rev Saúde Pública*;39(3):479-85.
- ARAUJO, R. A. De, OTTONI, M., XAVIER, L. H. "ANALYSIS OF E-WASTE VOLUNTARY DELIVERY POINTS ( VDP ) LOCATION IN THE CITY OF RIO DE JANEIRO , BRAZIL", n. November, 2020. .
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16156:2013. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – Requisitos para atividades de manufatura reversa.** . [S.l: s.n.], 2013.
- AZEVEDO, L.P., ARAÚJO, F. G. S., LAGARINHOS, C. A. F., *et al.* "Resource recovery from e-waste for environmental sustainability: A case study in brazil", **Electronic Waste Management and Treatment Technology**, p. 175–200, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-12-816190-6.00008-X. .
- AZEVEDO, Luís Peres, DA SILVA ARAÚJO, F. G., LAGARINHOS, C. A. F., *et al.* "E-waste management and sustainability: a case study in Brazil", **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 32, p. 25221–25232, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-0099-7. .
- BRASIL. **DECRETO Nº 10.240, DE 12 DE FEVEREIRO DE 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística rev.** 2020a. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm).
- 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.** 2010. 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).
- es
- CARVALHO, C. H. R. de. "Emissões relativas de poluentes do transporte urbano", **Boletim Regional, Urbano e Ambiental IPEA**, n. 5, p. 123–139, 2011. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU\\_n05\\_emissões.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5574/1/BRU_n05_emissões.pdf).
- CETEM – CENTER FOR MINERAL TECHNOLOGY. **Recicladores (Recyclers)**. 2021. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/reminare/recicladores>. Acesso em: 10 fev. 2021.
- CUCCHIELLA, F., D'ADAMO, I., LENNY KOH, S. C., *et al.* "Recycling of WEEEs: An economic



- assessment of present and future e-waste streams", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 263–272, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.010. .
- CUGULA, J., APOLONIO, L., ARAUJO, R., *et al.* "E-WASTE HOTSPOTS AND BEST ROUTES ANALYSIS FOR REVERSE LOGISTICS IN THE CITY OF SÃO PAULO , BRAZIL", n. November, p. 1–5, 2020.
- D'AGOSTO, M.A. (coord.). Emissão de gases de efeito estufa - 2050: implicações econômicas e sociais do cenário de plano governamental. Rio de Janeiro: CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ, 2016. Disponível em: <[http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/ies-brasil-2050/3\\_-\\_cenario\\_de\\_emissoes%C3%B5es\\_de\\_GEE\\_-\\_setor\\_de\\_transporte\\_demanda\\_de\\_energia\\_-\\_IES\\_Brasil\\_2050.pdf](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/ies-brasil-2050/3_-_cenario_de_emissoes%C3%B5es_de_GEE_-_setor_de_transporte_demanda_de_energia_-_IES_Brasil_2050.pdf)>.
- DOAN, L. T. T., AMER, Y., LEE, S., *et al.* "E-Waste Reverse Supply Chain : A Review and Future Perspectives", **applied sciences**, v. 9, n. 5195, p. 1–28, 2019. DOI: 10.3390/app9235195. .
- FORTI, V., BALDÉ, C. P., KUEHR, R., *et al.* **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential**. [S.l: s.n.], 2020.
- FREIRE, L. S., XAVIER, L. H. A. "Mineração Urbana de Resíduos Eletroeletrônicos pode Reduzir as Emissões de Gases do Efeito Estufa?". 2021. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2021.
- IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 5 set. 2021.
- KUMAR, A., HOLUSZKO, M., ESPINOSA, D. C. R. "E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 32–42, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>.
- MACÊDO, J. C. **Lixo tecnológico, contexto e soluções**. 2009. 49 f. Monografia – Universidade Federal da Bahia., 2009.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo setorial para implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. Brasília/DF**. [S.l: s.n.]. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/images/Acordo Setorial/Acordo Setorial - Eletroeletrônicos.pdf](https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf). , 2019
- NILSSON, A. E., ARAGONÉS, M. M., TORRALVO, F. A., *et al.* "A review of the carbon footprint of Cu and Zn production from primary and secondary sources", **Minerals**, v. 7, n. 9, 2017. DOI: 10.3390/min7090168. .
- ONGONDO, F. O., WILLIAMS, I. D., CHERRETT, T. J. "How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes", **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 714–730, 2011. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.10.023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.023>.
- OTTONI, M., DIAS, P., XAVIER, L. H. "A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil", **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 120990, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120990. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>.
- REUTERS. **Preço do diesel nos postos volta a subir; gasolina e etanol têm salto na semana**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/08/20/preco-do-diesel-nos-postos-volta-a-subir-gasolina-e-etanol-tem-salto-na-semana.ghtml>. Acesso em: 11 set. 2021.
- SEEG. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e Suas Implicações para as Mudanças de Clima do Brasil**. 2020. Disponível em: <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos>
- TUNTIWIWATTANAPUN, N., USAPEIN, P., & TONGCUMPOU, C. (2017). The energy usage and environmental impact assessment of spent coffee grounds biodiesel production by an in-situ transesterification process. *Energy for Sustainable Development*, 40, 50–58. doi:10.1016/j.esd.2017.07.002
- Analiticos/SEEG\_8/SEEG8\_DOC\_ANALITICO\_SINTESE\_1990-2019.pdf. Acesso em: 5 set. 2021.
- XAVIER, L. H., GIESE, E. C., RIBEIRO-DUTHIE, A. C., *et al.* "Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining", **Resources Policy**, n. August,



p. 101467, 2019. DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.101467. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101467>.

XAVIER, L. H., LINS, F. A. F. "MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS: Uma nova fronteira a explorar no Brasil", **Brasil Mineral**, v. 1, n. 379, p. 22–26, 2018. .

XAVIER, L. H., OTTONI, M., LEPAWSKY, J. "Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks", **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126570, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126570. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>.