



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia  
Ambiental**



JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA

**POTENCIAL ENERGÉTICO E CRÉDITOS DE CARBONO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) E SUA APLICAÇÃO EM  
SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA EM SÃO LUÍS- MA**

**SÃO LUÍS, MA**

**2025**

JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA

**POTENCIAL ENERGÉTICO E CRÉDITOS DE CARBONO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) E SUA APLICAÇÃO EM  
SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA EM SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do título de MESTRE.

**Orientador:** Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez.

**Linha de pesquisa:** Biotecnologias e Tecnologias Aplicadas ao Meio Ambiente.

**SÃO LUÍS, MA**

**2025**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Jennifer da Cruz Arouche.

Potencial energético e créditos de carbono dos Resíduos Sólidos Urbanos RSU e sua aplicação em sistemas de logística reversa em São Luís- MA / Jennifer da Cruz Arouche Silva. - 2025.

51 f.

Orientador(a): Harvey Alexander Villa Vélez.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Poder Calorífico. 2. Ecopontos. 3. Gases de Efeito Estufa (gee). I. Vélez, Harvey Alexander Villa. II. Título.

JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA

**POTENCIAL ENERGÉTICO E CRÉDITOS DE CARBONO DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS (RSU) E SUA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE LOGÍSTICA  
REVERSA EM SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS & TECNOLOGIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Maranhão como requisito à obtenção do título de MESTRE.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Orientador**

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

---

**Membro Interno ao Programa**

Prof. Dr. Claudio Luís de Araújo Neto  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

---

**Membro Externo ao Programa**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

**SÃO LUÍS, MA**

**2025**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me sustentado em cada passo desta caminhada, me concedendo força, sabedoria para superar os desafios e chegar até aqui. Sem Sua presença constante, este momento não seria possível.

À minha família, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos. Por acreditarem no meu potencial, mesmo quando eu mesma duvidei, pensando por inúmeras vezes em desistir.

Aos meus amigos, especialmente Luzidelma Rocha, Luís Fernando Cirqueira, Thomas Malheiros, Distinto, Bárbara Caxilé, Alan Jones Foicinha, Thiago Catecol, Diane Araujo, Juliana Bárbara, Byanca Leite, Janeide Serejo, Dianderson, Juliana Santana Scarleth Vieira, Dayane Froz, Robson Santos, Cibelle Chaves, Surama Duarte e Caio Vasconcelos, que, com palavras de incentivo e escuta paciente, tornaram essa trajetória mais leve.

Ao meu querido orientador Harvey Alexander Villa Vélez (calmaria em pessoa), pela dedicação, pelas orientações valiosas e pelo comprometimento em me guiar com paciência e excelência durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sou extremamente grata pela confiança e incentivo.

À minha querida banca examinadora, por terem dedicado seu tempo para avaliar minha dissertação, por suas contribuições enriquecedoras desde a fase da qualificação e por me ajudarem a enxergar novas perspectivas e aprimorar ainda mais este trabalho.

À Prefeitura Municipal de São Luís através da SEMOSP, CGLU, SEMA, e principalmente, as cooperativas/associações que permitiram o acesso em seus empreendimentos, em especial aos presidentes da COOPRESL, ASCAMAR e COOPEOURO.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, minha mais sincera gratidão!

**“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que eles pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa”.**

**Albert Einstein.**

## RESUMO

O problema central desta dissertação está associado a necessidade de transformar os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), frequentemente destinados a aterros, em recursos energéticos sustentáveis, contribuindo para a mitigação climática. Portanto, o estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial energético e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos RSU localizados nos Ecopontos na cidade de São Luís- MA, com base na composição química elementar, considerando sua aplicabilidade em sistemas de logística reversa, através da conversão de créditos carbonos. A metodologia adotada foi de natureza exploratória e descritiva, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), e baseou-se em análise documental de dados fornecidos pela Prefeitura de São Luís, ocorreu no período de janeiro de 2022 a fevereiro de 2024. A pesquisa foi estruturada em quatro etapas: levantamento dos resíduos recebidos nos Ecopontos; análise da composição química de materiais promissores; estimativa do poder calorífico; e cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> de acordo com modelos matemáticos e literatura científica. Os resultados indicam que, em 26 meses, mais de 80 mil toneladas de resíduos foram recebidas nos 25 Ecopontos ativos, com destaque para materiais como plástico, papel, madeira e resíduos de poda. Estima-se que esses 4 tipos de resíduos tenham gerado 66,42 t de CO<sub>2</sub> e 3,55 t de CH<sub>4</sub>. Além disso, a composição química dos materiais analisados revelou elevado potencial energético, com possibilidade de geração de créditos de carbono. Conclui-se que a valorização energética dos RSU, aliada a políticas de logística reversa e incentivos ao mercado de carbono, representa uma oportunidade estratégica para municípios como São Luís promoverem a sustentabilidade ambiental, inclusão socioeconômica e inovação tecnológica na gestão dos RSU.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poder Calorífico, Ecopontos, Gases de Efeito Estufa (GEE).

## **ABSTRACT**

The central problem of this dissertation is associated with the need to transform Urban Solid Waste (MSW), often destined for landfills, into sustainable energy resources, contributing to climate mitigation. Therefore, the study's main objective is to evaluate the energy potential and Greenhouse Gas (GHG) emissions of MSW located in Ecopoints in the city of São Luís- MA, based on the elementary chemical composition, considering its applicability in reverse logistics systems, through the conversion of carbon credits. The methodology adopted was exploratory and descriptive in nature, with a mixed approach (qualitative and quantitative), and was based on documentary analysis of data provided by the City of São Luís, which took place from January 2022 to February 2024. The research was structured in four stages: a survey of the waste received at Ecopontos; analysis of the chemical composition of promising materials; estimation of calorific value; and calculation of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions based on mathematical models and scientific literature. The results indicate that in 26 months, more than 80,000 tons of waste were received at the 25 active Ecopoints, with materials such as plastic, paper, wood and pruning waste standing out. It is estimated that these 4 types of waste generated 66.42 tons of CO<sub>2</sub> and 3.55 tons of CH<sub>4</sub>. In addition, the chemical composition of the materials analyzed revealed high energy potential, with the possibility of generating carbon credits. The conclusion is that the energy recovery of MSW, combined with reverse logistics policies and carbon market incentives, represents a strategic opportunity for municipalities like São Luís to promote environmental sustainability, socio-economic inclusion and technological innovation in MSW management.

**KEYWORD:** Calorific Value, Ecopoint, Greenhouse Gases (GHG).

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ecoponto .....	<b>18</b>
<b>Figura 2:</b> Caçambas com resíduos de obras, capina e poda .....	<b>19</b>
<b>Figura 3:</b> Pátio de Compostagem Ribeira .....	<b>20</b>
<b>Figura 4:</b> Organizações de catadores de materiais recicláveis credenciados junto à Prefeitura de São Luís (no Artigo é Figura 1) .....	<b>34</b>
<b>Figura 5:</b> Distribuição total de resíduos por categoria coletados nos Ecopontos de São Luís de janeiro de 2022 até fevereiro de 2024 (no Artigo é Figura 2) .....	<b>35</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tipos de resíduos aceitos nos Ecopontos de São Luís e limites diários/ pessoa .....	<b>31</b>
<b>Tabela 2:</b> Ecopontos contabilizados, bairros que atendem e quantidade de resíduos coletados em 2022, 2023 até fevereiro de 2024 .....	<b>32</b>
<b>Tabela 3:</b> Composição química dos resíduos promissores dos Ecopontos .....	<b>37</b>
<b>Tabela 4:</b> Tipos de plásticos de acordo com a NBR 13230/2008 .....	<b>38</b>
<b>Tabela 5:</b> Determinação de emissão CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> nos ecopontos de São Luís- MA .....	<b>39</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABREE</b> Associação Brasileira de Reciclagem de Eletrônicos e Eletrodomésticos
<b>ABREMA</b> Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
<b>ASCAMAR</b> Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de São Luís
<b>ASCAMARCO</b> Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Cidade Operária e Cidade Olímpica
<b>CC</b> Crédito de Carbono
<b>CGLU</b> Comitê Gestor de Limpeza Urbana
<b>CH<sub>4</sub></b> Metano
<b>CO<sub>2</sub></b> Dióxido de Carbono
<b>COOPEOURO</b> Cooperativa D'ouro Vicente Fialho
<b>COOPRESL</b> Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de São Luís



**COORESONA** Cooperativa de trabalho de Resíduos Sólidos do Maranhão

**EC** Economia Circular

**EL** Economia Linear

**GEE** Gases do Efeito Estufa

**LR** Logística Reversa

**MC** Mercado de Carbono

**MDL** Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

**N<sub>2</sub>O** Óxido Nitroso

**NBR** Norma Brasileira Regulamentadora

**ODS** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

**PCI** Poder Calorífico Inferior

**PCS** Poder Calorífico Superior

**PEAD** Polietileno de alta densidade

**PEBD** Polietileno de Baixa Densidade

**PET** Polietileno tereftalato

**PLANARES** Plano Nacional de Resíduos Sólidos

**PNRS** Política Nacional de Resíduos Sólidos

**PP** Polipropileno

**PPP** Parceria Público Privada

**PRAD** Projeto de Restauração de Áreas Degradadas

**PS** Poliestireno

**PVC** Policloreto de vinila

**RCC** Resíduos da Construção Civil

**RS** Resíduos Sólidos

**RSU** Resíduos Sólidos Urbanos

**SEMA** Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais

**SEMOSP** Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos

**SLEA** São Luís Engenharia Ambiental S/A

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	12
2.2 Uso de resíduos sólidos como fonte energética.....	13
2.3 Logística reversa.....	16
2.4 Crédito carbono .....	16
2.5 Destino dos resíduos recebidos nos ecopontos de são luís.....	18
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Objetivo geral .....	20
3.2 Específicos.....	20
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>21</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO.....</b>	<b>25</b>
<b>5 ARTIGO SUBMETIDO.....</b>	<b>26</b>
<b>6 CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO.....</b>	<b>44</b>
6.1 Importância social.....	44
6.2 Importância econômica .....	44
6.3 Importância ambiental .....	45
<b>ANEXO.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas cidades densamente urbanizadas encontram-se problemas de descarte irregular de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e em São Luís- MA não é diferente, pois o crescimento populacional e a expansão da urbanização aumentaram a produção de resíduos. Basta analisar a paisagem da cidade, é possível identificar áreas de despejo irregular, mesmo com a coleta realizada regularmente pela gestão do município, ainda têm muitos “lixões” (Gonçalves *et al.*, 2022).

Segundo a Prefeitura de São Luís (2025), além da coleta domiciliar realizada regularmente pelos caminhões de lixo, a cidade conta com Ecopontos- locais de entrega voluntária distribuídos em diversos bairros para incentivar o descarte adequado dos resíduos pelos moradores. A gestão dos RSU é de responsabilidade das prefeituras municipais, abrangendo desde a coleta, transporte e transbordo até o processamento e a disposição final ambientalmente adequada, em conformidade com o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (SNIS, 2023).

O descarte inadequado dos RSU causa impactos sociais, ambientais e econômicos, incluindo a contaminação do solo e da água pelo chorume, a emissão de metano (CH<sub>4</sub>) que contribui para o aquecimento global e disseminação de doenças, resultando em danos irreversíveis aos ecossistemas (Santana; Aragão Júnior; El-Deir, 2020).

O aumento desproporcional de gases do efeito estufa como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), CH<sub>4</sub> e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) elevam a temperatura da superfície terrestre, contribuindo para o aquecimento global em aproximadamente 1,5°C, principalmente devido às atividades humanas que estão acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022). O Crédito de Carbono (CC) é a unidade de negociação no Mercado de Carbono (MC), representando uma tonelada de dióxido de carbono removida ou evitada para ser lançada na atmosfera (Vargas; Delazeri; Ferrera, 2022).

Nesse contexto, ressalta-se a importância de investimento em pesquisas e técnicas que incentivem o reaproveitamento dos RSU como Logística Reversa (LR), fontes energéticas renováveis, através do Potencial Calorífico a energia é recuperada, reduzindo o volume resíduos que chegam ao local de despejo e abre oportunidades para novas tecnologias no tratamento conversão de energia dos resíduos.

A LR é uma ferramenta de avanço econômico e social, designada por um conjunto de estratégias adaptadas a permitir que os resíduos sejam recolhidos e devolvidos ao setor comercial, para reaproveitamento em seu ciclo ou, em outros ciclos produtivos (SINIR, 2023).

Nessa perspectiva, São Luís está situada em uma ilha que compartilha com os municípios de São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. Como sede da região metropolitana, possui uma população de 1.037.775 habitantes distribuídos em uma área de 583,063 km<sup>2</sup>, ocupando a 13<sup>a</sup> posição entre as capitais mais populosas do Brasil, a cidade gera diariamente uma quantidade significativa de resíduos (IBGE, 2022).

Diante disso, os resíduos gerados nos centros urbanos podem ter um destino mais apropriado que não sejam os aterros sanitários, se forem divididos em categorias bem definidas como rejeitos, orgânicos e recicláveis, depois de segregados serem encaminhados para cooperativas onde seu valor é resgatado, propiciando geração de emprego e renda (Bezerra, 2020).

Desta forma, o objetivo geral é avaliar o potencial energético dos RSU e emissão de GEE dos Ecopontos localizados na cidade de São Luís – MA, com base na composição química elementar, considerando sua aplicabilidade em sistemas de logística reversa, através da conversão de créditos carbonos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Classificação dos resíduos sólidos**

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a Lei Federal Nº 12.305 (BRASIL, 2010), fica estabelecido no art. 13, inciso I, que os Resíduos Sólidos (RS) apresentam quanto sua origem, podem ter a seguinte classificação:

- a) Resíduos domiciliares: de exercício domésticas em moradias urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: constituídos por varredura, limpeza de ruas, avenida, praças;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: gerados nessas atividades provenientes de estabelecimentos comerciais, que não são perigosos.
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: gerados nessas atividades, abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos
- f) Resíduos industriais: processos de produção de mercadorias e instalações de indústrias;
- g) Resíduos de serviços de saúde: materiais cortantes, perfurante, advindo de clínica, hospitais, casas de apoio;

- h) Resíduos da construção civil: construções de casas, estradas, reformas e demolições;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: atividades agricultura, pecuárias e métodos de reflorestamento;
- j) Resíduos de serviços de transportes: resultante de atividades terrestres, aquático e aéreos;
- k) Resíduos de mineração: advindos no exercício da extração ou beneficiamento de minérios;

A classificação dos RS quanto à periculosidade, engloba atividades que dão origem a processos de segregação a partir das características físicas constituintes, com o propósito de separar as substâncias que afetam a saúde e os ecossistemas.

- a) Resíduos perigosos: em consoante as Leis, regulamentos ou normas técnicas, devido à sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade é prejudicial ao bem-estar público;
  - b) Resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.
- (BRASIL, 2010).

Visando investimentos em sistemas e políticas públicas que fortalecem a proposta do Lixão Zero, que é uma das principais metas do Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tem o intuito de evitar o uso de lixões até 2030, no entanto, diariamente são descartadas toneladas de lixos que emanam das atividades humanas, a meta enfatiza que todas as cidades acima de 500 mil habitantes tenham sistema de monitoramento de qualidade do ar e a gestão de resíduos sólidos (OLIVEIRA; STEFANI, 2023).

Segundo a Norma Brasileira Regulamentadora- NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos são ainda classificados em várias tipologias com base em características ou atributos específicos: periculosidade (perigosos e não perigosos), química (orgânicos e inorgânicos), física (secos e úmidos).

Nesse contexto, destaca-se que os RS perigosos são aqueles que possuem alta inflamabilidade e corrosão, os demais resíduos são divididos em: não inertes de classe II A e resíduos inertes de classe II B.

- a) Resíduos de Classe II A- não inertes podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, inflamabilidade ou solubilidade em água.
  - b) Resíduos de Classe II B- são inertes, não possuem nenhum de seus componentes dissolvidos em concentrações superiores aos padrões de água potável, exceto quanto à aparência, cor, turbidez, dureza e sabor.
- (ABNT, 2004).

## **2.2 Uso de resíduos sólidos como fonte energética**

De acordo com Sánchez (2010), destaca que, há quatro classes de procedimentos para realizar o reaproveitamento da biomassa quanto às suas características físicas e químicas: Granulometria, Análise Imediata, Análise Elementar e Poder Calorífico.

No poder calorífico, os resíduos são analisados através da energia interna que é contida, podendo ser dividida em Poder Calorífico Superior (PCS), que é a soma da energia liberada na forma de calor, mais a energia consumida na vaporização da água, já o Poder Calorífico Inferior (PCI), corresponde à energia liberada na forma de calor.

O melhor aproveitamento da biomassa é alcançado através do processo de queima controlada, que consiste na conversão de qualquer combustível sólido em um gás energético pela oxidação parcial a temperaturas elevadas (800°-1000°C). Esse processo, chamado de "pirólise", refere-se à decomposição térmica acelerada de materiais na ausência de ar ou oxigênio (Cortez; Lora; Gómez, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), os municípios eram proibidos de terem lixões e descartar materiais que possam ser reciclados. O término do prazo para a eliminação no Brasil estava previsto para agosto de 2024, mas os dados de geração de resíduos indicam que essa meta ainda está longe de ser atingida. Estima-se que em 2023, cada brasileiro produziu em média 1,047 kg de RSU por dia, resultando em 81 milhões de toneladas de resíduos ao longo do ano, o que equivale a mais de 221 mil toneladas diariamente, ou cerca de 382 kg por habitante anualmente (ABREMA, 2024).

Evidencia-se que o rejeito é um resíduo que não possui valor econômico, já foram esgotadas todas as alternativas de reuso inclusive tecnológica viável, eles precisam ser encaminhados para aterros (BRASIL, 2010).

Para isto, existem diversos tratamentos, os principais são: Tratamento Térmico, Bioquímico e Mecânico (Lora, 2000).

- I. Tratamento térmico, é o procedimento onde os materiais ganham uma ampla quantidade de energia em forma de calor, em decorrência desse procedimento, há mudança nas características do resíduo, sendo o mais comum a redução do volume. Como exemplo podemos citar a pirólise, gaseificação e secagem.
- II. Tratamento bioquímico, ocorre com o auxílio da atuação de microrganismos, que se nutrem e decompõem-se. Como exemplo desse processo, pode-se citar a compostagem e biodigestão.
- III. Tratamento mecânico, são feitos procedimentos físicos com a intenção de separar materiais. Neste método não tem reações químicas entre os componentes, os tratamentos mecânicos de resíduos são encontrados no setor de reciclagem de

material, em algumas situações, por exemplo, na reciclagem de restos eletrônicos, cujos métodos são de alta complexidade.

Estudos realizados em Maceió- AL, indicam que a biomassa residual da casca do coco verde possui alta qualidade e potencial para aproveitamento, como por exemplo para a fabricação de briquetes, que apresenta vantagens como diminuição dos impactos ambientais e aumento da vida útil do aterro municipal, redução de emissões do gás metano, que afetam diretamente a saúde pública e o paisagismo. A alternativa energética dos briquetes produzidos com a casca de coco verde mostraram-se viáveis, pois há falta de combustíveis alternativos para queima em fornos industriais no mercado local da cidade, sendo considerada uma boa perspectiva para adesão de briquetes (Esteves *et al.*, 2015).

Na cidade de Linköping-Suécia os resíduos das cantinas e restaurantes são usados para produzir biogás, a fábrica de biogás foi inaugurada em 1997 para tratar os resíduos orgânicos da cidade, foram reaproveitados no transporte público urbano e biofertilizantes na agricultura gerando menos desperdícios. Desde 2002, a cidade utiliza ônibus movidos a biogás, reduzindo as emissões de dióxido de carbono em mais de 9 mil toneladas, aproximadamente 90% da cidade usa o gás produzido na fábrica. O país tornou-se um exemplo mundial de Economia Circular (EC), onde os moradores estão juntos para construir uma sociedade mais eficiente no que diz respeito à sustentabilidade (Programa Cidades Sustentáveis, 2023).

Além de diminuir a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, a utilização de “lixo” como fonte de energia contribui para a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. A Suécia está avançando para alcançar metas de ampliação da capacidade de energia eólica e solar, integrando ao seu objetivo de gerar 100% de energia renovável até 2040 e atingir emissões líquidas zero de Gases do Efeito Estufa (GEE) até 2045. Pondera-se que para assegurar a eficiência do sistema e envolver a população na separação e reciclagem do lixo, são realizadas inúmeras campanhas de conscientização ambiental, primordiais para o sucesso do projeto (Cooper, 2018).

De acordo com Camargo (2017), os restos de cascas de batata, cebola, cenoura, frutas e outros alimentos, conhecidos como resíduos orgânicos, encontram um surpreendente novo uso nas ruas de Berlim, capital da Alemanha. Após a coleta, todo o lixo orgânico é processado em uma fábrica e transformado em biogás, que já abastece 50% dos caminhões de lixo da cidade. A usina pode processar aproximadamente 60 mil toneladas de resíduos por ano e faz parte de um grande projeto urbano para aumentar o uso de biocombustíveis desde sua inauguração em 2013.

## 2.3 Logística reversa

No contexto atual, a LR está intrinsecamente ligada à EC, cujos princípios se destacam ao delinear e esclarecer a gestão de devolução de produtos como um aspecto estratégico (Hernández; Bitencourt, 2024). Comumente, a logística é vista como a gestão do fluxo de materiais desde sua aquisição até seu consumo. Contudo, a LR envolve o movimento dos produtos do consumidor de volta para o ponto de origem, que também requer gerenciamento. O principal objetivo da LR é recolher/reaproveitar produtos e materiais que já completaram seu ciclo produtivo. Esse processo é o oposto da Economia Linear (EL), que se baseia no fluxo do produto da origem para o consumo (Oliveira *et al.*, 2020).

Um programa eficiente de LR, proporciona à empresa um bom conceito corporativo diante a sociedade e sistema empresarial, devido a busca pela sustentabilidade. Por outro lado, a falta de infraestrutura dedicada ao fluxo reverso e a má gestão dos resíduos produzidos pela empresa, recai sobre a imagem de forma negativa perante a sociedade (Aligleri; Lopes, 2022).

A EC e a LR possuem uma estreita ligação, já que ambas têm como objetivo principal maximizar a utilização eficaz dos recursos reduzindo o desperdício. A EC é fundamentada na premissa de que os recursos devem ser explorados de maneira mais sustentável, diferentemente do modelo linear convencional de "usar e descartar", seu propósito é fechar os ciclos de vida dos produtos, promovendo a reutilização, reciclagem de materiais, para reduzir a extração de novas matérias-primas (Weetman, 2019).

Conforme Abdalla e Sampaio (2018), destacam que a EC se beneficia da LR, uma vez que os materiais descartados ou produtos em desuso podem resultar em economia de recursos, redução de custos e impacto ambiental. Ao mesmo tempo, a EC impulsiona a LR ao promover a busca por sistemas eficazes de coleta, separação e tratamento de resíduos, incentivando assim, o desenvolvimento de cadeias mais circulares.

Tanto a LR quanto a EC evidenciam perspectivas positivas, tornando essencial compreender os métodos em seu desenvolvimento, aprimorando técnicas e expandindo o comércio, mercado cada vez mais exigente. Em suma, o intuito é manter os insumos básicos em fluxos contínuos de reutilização (Silva *et al.*, 2023).

## 2.4 Crédito carbono

A criação do Mercado de Carbono teve origem no Protocolo de Quioto, firmado em 1997, embora a questão das mudanças climáticas já tivesse sido abordada na Convenção-



Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de 1992, foi em 1994 durante a Cúpula da Terra que o Acordo entrou em vigor e posteriormente foi aberto para assinaturas na Cúpula sobre Meio Ambiente no Rio de Janeiro, onde recebeu a adesão de 175 países (Athias; Sá, 2022).

De acordo com Athias e Sá (2022), o propósito dos países signatários da Convenção era estabilizar a concentração dos GEE na atmosfera, enquanto o Protocolo de Quioto estabeleceu metas de redução que entraram em vigor somente em 2005.

O Acordo de Paris reafirma que os países se comprometeram a cumprir as metas impostas de redução de emissões, o Brasil ratificou o Acordo em 2016 e, em 2017, promulgou o Decreto 9.073/2017, sobre a Mudança do Clima (BRASIL, 2017), que promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

A Convenção sobre Mudanças Climáticas somada ao Protocolo de Quioto representa os esforços globais para controlar as emissões dos GEE, iniciando pelos maiores responsáveis pelo agravamento do problema. Devido às diferenças nos custos econômicos, sociais e operacionais das reduções entre os países, percebeu-se a necessidade de criar mecanismos de troca para comercialização de direitos ou permissões de emissão, visando compensações automáticas (Teixeira *et al.*, 2010).

A logística do CC se baseia principalmente em entidades de supervisão ambiental que emitem certificados autorizando a emissão de certas quantidades de substâncias, como dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outros GEE prejudiciais (Guimarães, 2024).

Segundo Teixeira *et al.*, (2010), os certificados podem ser comprados e vendidos em dólares por meio de Bolsas de Valores, cada unidade de gás carbônico não emitida, seja pela redução de emissões ou pela remoção da atmosfera.

Esses créditos são originários do setor privado e podem ser validados pelos governos se estiverem em conformidade com critérios específicos, geralmente definidos em MC. Embora os direitos não sejam concedidos pelo governo, este pode reconhecê-los. Os créditos, provenientes da área privada, são o resultado direto de seus investimentos em projetos específicos (Souza, 2020).

Conforme Goulart e Alvim (2011), discorrem sobre a possibilidade de vender créditos para redução de emissões, propondo que as empresas que implementam estratégias eficazes podem obter vantagens financeiras, enquanto aquelas que encontram dificuldades em reduzir suas emissões, têm a oportunidade de comprar créditos para compensar seu impacto ambiental.

Para não colocar em risco a economia dos países signatários, o protocolo estipula que, caso seja impossível atingir os objetivos definidos para reduzir as emissões de GEE, os países

poderão comprar créditos de outros países com projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (Almeida, 2023).

O MDL foi criado a partir de proposta da Comissão Brasileira no âmbito da Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas, com diversos projetos que podem ser implementados por meio do MDL, entre eles: Incentivar o uso de combustíveis renováveis, como álcool e biodiesel; Substituição de práticas agrícolas inaceitáveis, como queimadas de florestas em pastagens abertas; Desenvolvimento de projetos eólicos, solares, hidrelétricos e de redução de poluição em áreas metropolitanas; Melhoria da infraestrutura de transportes; Programas de ação de reflorestamento, entre outros (Teixeira *et al.*, 2010).

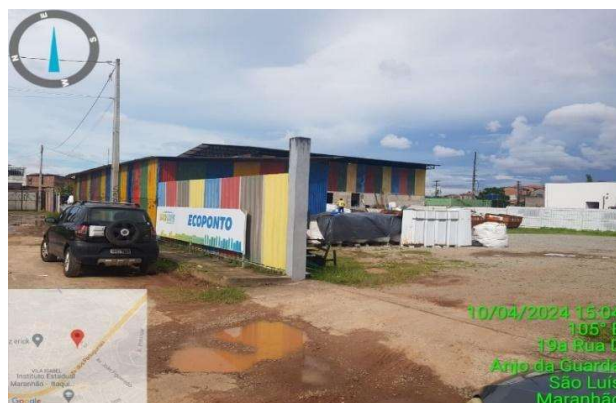
## **2.5 Destino dos resíduos recebidos nos ecopontos de São Luís**

Segundo o Comitê Gestor de Limpeza Urbana (CGLU) da capital maranhense, desde a desativação do Aterro da Ribeira em julho de 2015, os RSU produzidos e coletados na capital, são encaminhados ao aterro sanitário do Centro de Tratamento de Resíduos da Titara, no povoado de Buenos Aires, localizado no município de Rosário, que fica a uma distância de 75 km da capital. A empresa São Luís Engenharia Ambiental Ltda (SLEA), surgiu em meio a Parceria Público Privada (PPP), administrada pela prefeitura, atualmente ela é responsável pela coleta e destinação final dos resíduos públicos da cidade, onde são direcionados para o Aterro.

A partir da promulgação da Lei 12.305/2010, os municípios foram encarregados a elaborar os seus Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. Em São Luís, a Lei Municipal Nº 6.321, sancionada em 27 de março de 2018, visa à proteção da saúde pública, sustentabilidade ambiental e à inclusão social dos catadores de recicláveis. A lei também estabelece multas para o descarte irregular de resíduos em vias públicas (SÃO LUÍS, 2018).

O Ecoponto é o espaço disponibilizado à população para entrega voluntária de materiais descartáveis e os que não são recolhidos pela coleta convencional de lixo, combatendo, assim, o descarte irregular de resíduos na capital maranhense.

### **Figura 1: Ecoponto**



**FONTE:** Arquivo pessoal (2024).

Os resíduos de pequenas modificações geradas nas residências, não são coletados por meio de serviços de coleta domiciliar, estão sujeitos à Lei Municipal Nº 6.321/2018, previstos a serem entregues espontaneamente, conforme a Figura 2.

**Figura 2:** Caçambas com resíduos de obras, capina e poda



**FONTE:** Arquivo pessoal (2024).

Os resíduos secos recicláveis são compostos principalmente por metal, papel, plástico e vidro. Além disto, tem os materiais volumosos, que são resíduos constituídos principalmente de móveis velhos, eletrodomésticos, pneus, sucata, restos de Resíduos da Construção Civil (RCC), e resíduos de poda e capina, sendo a quantidade diária permitida para esses materiais é de até 2m<sup>3</sup> por habitante (Araújo; Costa; Santos, 2023). Assim, esses resíduos recolhidos nos Ecopontos são encaminhados para cooperativa/associação que fazem a separação final, já os produtos eletrônicos são enviados para uma organização que realiza o processamento adequado.

De acordo com a Prefeitura de São Luís, os resíduos de madeira são encaminhados para os moradores do Cinturão Verde, já os pneus são encaminhados para a iniciativa RECICLANIP, empresa que tem como foco o recolhimento e eliminação de pneus sem condições de uso e óleos alimentares que já não podem ser utilizados para distribuição são enviados para reciclagem para fabricação de sabão (SÃO LUÍS, 2025).

Os RCC's, são utilizados no processo de remediação ambiental do Aterro Sanitário da Ribeira, tal processo faz parte das atividades de recuperação ambiental e corresponde a um Projeto de Restauração de Áreas Degradadas (PRAD) aprovado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) (Dualibe, 2020).

Os materiais de podas e capinas são encaminhados para o pátio de compostagem na Central Ribeira, onde são preparados para se transformar em adubo (Figura 3), a Ribeira que teve suas atividades encerradas dia 25 de julho de 2015, no local eram despejados os resíduos produzidos na cidade e desde então passou por rigoroso monitoramento e remediação ambiental dos rejeitos (Galeno, 2017).

**Figura 3:** Pátio de Compostagem Ribeira



FONTE: Arquivo pessoal (2024).

Segundo o Decreto N° 10.936, de 12 de janeiro de 2022, estabelece as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) e regula a implementação da PNRS no Brasil, instituída pela Lei N° 12.305/2010, que busca promover a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos RS, incentiva a LR, responsabilidade compartilhada e descentralizada priorizando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final (BRASIL, 2022).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar o potencial energético e créditos de carbono dos resíduos sólidos para aplicação de sistemas reversos na cidade de São Luís- MA.

#### **3.2 Específicos**

- Identificar os resíduos dos ecopontos, cooperativas/associações que estão cadastradas ou em fase de registro na prefeitura de São Luís;
- Caracterizar, por via teórica, a composição elementar química dos recicláveis gerados em São Luís;
- Calcular o impacto de redução de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, em crédito de carbono e poder calorífico dos resíduos;
- Sugerir políticas de logística reversa para implementação na prefeitura de São Luís com base no cálculo de impacto de redução de CO<sub>2</sub>, créditos de carbono e potencial energético para os resíduos mais promissores.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, F.A; SAMPAIO, A.C.F. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Revista Entorno Geográfico** N.5: 82-102. 2018. Disponível em: <https://entornogeografico.univalle.edu.co/index.php/entornogeografico/article/view/6712/904>. Acesso em: 4 jul. 2023.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024**. 2024.

ALIGLERI, L.; LOPES, C. S. D. Logística Reversa de embalagens de pós-consumo: análise crítica interdisciplinar das intenções empresariais propostas no Termo de Compromisso do Recircula para cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 12, n. 1, 2022.

ALMEIDA, Y. K. R. **Crédito carbono no Brasil: Análise dos impactos econômicos e estratégias regulatórias para o fortalecimento do mercado**. Trabalho de conclusão de curso Bacharel do direito da Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2023. Disponível em: <https://adelpa-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/e318aacb-003e-411d-83a6-586c77bca9dc/content>. Acesso em: 4 ago.2024.

ARAÚJO, C. J. V; COSTA, A.D; SANTOS, L. O.M. L. ECOPONTOS: Uma Análise da Gestão de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Luís - Ma. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, v. 4, n. 6, p. e463466, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3466/2532> Acesso em: 22 jul. 2024.

ATHIAS, J.A.N; SÁ, J. D. M. Políticas ambientais e instrumentos econômicos: uma análise do mercado de créditos de carbono. **Atuação: Revista Jurídica do Ministério Público**

Catarinense, v. 17, n. 36, p. 65-80, 2022. Disponível em: <https://seer.mpsc.mp.br/index.php/atuacao/article/view/204/115>. Acesso em: 30 jul. 2024.

BEZERRA, D. E. **Redes Neurais Artificiais Para Determinação Da Composição De Resíduos Sólidos Urbanos**. Campina Grande-PB. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual Da Paraíba -UFPB, campus de Campina. 2020.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.936, DE 12 DE JANEIRO DE 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm). Acesso em: 10 ago. 2024.

BRASIL. **DECRETO Nº 9.073, DE 5 DE JUNHO DE 2017**. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. 2017. Disponível: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm). Acesso em: 31 jul. 2024.

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 48 providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 3 ago. 2010, Seção 1, p. 3.

CAMARGO, S. **Resíduos orgânicos viram biocombustível para caminhões de lixo em Berlim**. Conexão Planeta. 2017. Disponível em: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/residuos-organicos-sao-transformados-em-combustivel-para-caminhoes-de-lixo-em-berlim/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

COOPER, R. **Rubbish is powering Sweden's heat, electricity, and buses - Climate Action**. 2018.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **BIOMASSA para energia**. Universidade Estadual de Campinas. – Campinas, SP: **Editora da Unicamp**. 2008.

DUAILIBE, R. O. **Resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento sustentável: A coleta seletiva nos Ecopontos de São Luís-Maranhão**. 2020. Dissertação de mestrado em Cultura e Sociedade da Universidade Federal do Maranhão. Disponível em: <https://tede2.ufma.br/jspui/bitstream/tede/3079/2/RafaelDuailibe.pdf> Acesso em: 27 jul. 2024.

ESTEVES, M. R. L.; ABUD, A. K.; BARCELLOS, K. M. **Vista do Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes**. **SCIENTIA PLENA**. V. 11, N.3. 2015.

GALENO, J. J. A. **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: Análise do tratamento dado pelos meios de hospedagem do centro histórico de São Luís**. Monografia apresentada ao curso de Bacharel em Hotelaria na Universidade Federal do Maranhão. 2017. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/1935/1/Jocel%20Jos%c3%a9%20de%20Ara%c3%ba%20Galeno.pdf>. Acesso em: 30 jul.2024.

GONÇALVES, P.P. *et al.* Avaliação dos Fatores que Influenciam no Desempenho dos Ecopontos: Um Estudo de Caso No Município De São Luís, Maranhão. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 156–177, 2022. DOI: 10.59306/rgsa.v11e12022156-177. Disponível em: [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/9137/6005](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9137/6005). Acesso em: 15. jul. 2024.

GOULART, B; ALVIM, A. M. A Comercialização de Crédito de Carbono e seu Impacto Econômico e Social. **Análise A Revista Acadêmica da FACE**. Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 72-88, jan./jun. 2011. Disponível em: [https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/10480/2/A\\_Comercializacao\\_de\\_Credito\\_de\\_Carbono\\_e\\_seu\\_Impacto\\_Economico\\_e\\_Social.pdf](https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/10480/2/A_Comercializacao_de_Credito_de_Carbono_e_seu_Impacto_Economico_e_Social.pdf) Acesso em: 25 jun.2024.

GUIMARÃES, V. S. Mercado de crédito de carbono: Evolução no Brasil. (Trabalho de Conclusão de Curso). 2024. Universidade Federal do Amazonas- UFAM. Disponível em: [https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/7324/6/TCC\\_ViniciusGuimar%c3%a3es.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/7324/6/TCC_ViniciusGuimar%c3%a3es.pdf) Acesso em: 28 jul. 2024.

HERNÁNDEZ, C. T; BITENCOURT, J. S. Impacto da Política Nacional de Resíduos Sólidos nas práticas de Logística Reversa. **Race: revista de administração, contabilidade e economia**, n. 1, p. 1-26. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **São Luís (MA) Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/sao-luis.html>. Acesso em: 27 abr. 2023.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **The evidence is clear: the time for action is now, we can halve emissions by 2030**. 2022. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2022/04/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_PressRelease\\_English.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2022/04/IPCC_AR6_WGIII_PressRelease_English.pdf). Acesso em: 8 maio. 2023.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte**. Brasília/DF: ANEEL. 2000.

OLIVEIRA, Â. A.; STEFANI, S. R. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM PEQUENO MUNICÍPIO DA AMAZÔNIA LEGAL. **Faculdade Sant'Ana em Revista**, v. 7, n. 1, p. 221–244. 2023. Disponível em: <https://www.iessa.edu.br/revista/index.php/fsr/article/view/2312>. Acesso em: 15 jul. 2024.

OLIVEIRA, E. F. *et al.*, Logística reversa: Importância econômica, social e ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 4325-4337. 2020.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Desperdício se transforma em energia para transporte na Suíça**. 2023. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/86>. Acesso em: 10 abr. 2024

SÁNCHEZ, C. G. (Org.). **Tecnologia da Gaseificação de Biomassa**. 1ª edição Campinas. SP: Editora Átomo. 430 p. 2010.

SANTANA, R. F; ARAGÃO JÚNIOR, W. R; EL-DEIR, S. G. **Resíduos Sólidos: Desenvolvimento e Sustentabilidade**. Recife: EDUFRPE. Gampe, 1ª edição, 479 p. 2020.

SÃO LUÍS. CGLU. Comitê Gestor de Limpeza Urbana. **Lei Municipal N° 6.321 de 27 de março de 2018**. Estabelece e organiza o Sistema de Limpeza Urbana e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no município de São Luís e dá outras providências. 2018. [https://www.saoluis.ma.gov.br/arquivos/2560\\_lei\\_6\\_321\\_10025023.pdf](https://www.saoluis.ma.gov.br/arquivos/2560_lei_6_321_10025023.pdf) Acesso em: 15 mar. 2025.

SÃO LUÍS. **Para onde vai o material entregue nos Ecopontos?** 2025. Disponível em: <https://www.saoluis.ma.gov.br/para-onde-vai-o-material-entregue-nos-ecopontos---sulip/> Acesso em: 10 fev. 2025.

SILVA, J. C. A. *et al.*, **CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**. In: III Simpósio REACT sobre Descarbonização: economia, energia e ambiente. Anais. São Luís (MA) Online, 2023.

SINIR. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. **O que é Logística Reversa. 2023**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/>. Acesso em: 1 maio. 2023.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. 2023**. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/Snis/RESIDUOS\\_SOLIDOS/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_RS\\_SNIS\\_2023\\_ATUALIZADO.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/RESIDUOS_SOLIDOS/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2023_ATUALIZADO.pdf). Acesso em: 21 jun. 2024.

SOUZA, S. L. V. B. **Os créditos de carbono no âmbito do Protocolo de Quioto**. Editora Appris. 2020.

TEIXEIRA, E.M.L.C. *et al.*, **Mercado de Crédito de Carbono**. Artigo em Hypertexto. 2010. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_2/CreditoCarbono/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/CreditoCarbono/index.htm). Acesso em: 28 jul. 2024.

VARGAS, D. B; DELAZERI, L. M. M; FERRERA, V. H. P. **O Avanço do Mercado Voluntário de Carbono no Brasil: Desafios Estruturais, Técnicos e Científicos**. Escola de Economia de São Paulo. 2022. Disponível em: [https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/mercado\\_de\\_carbono\\_2.pdf](https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/mercado_de_carbono_2.pdf) Acesso: 3 ago. 2024.

WEETMAN, C. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. Autêntica Business, 512 p. 2019.



#### 4 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO

- **Título do artigo:** RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO ENERGÉTICO E ESTRATÉGIA CLIMÁTICA: AVALIAÇÃO EM ECOPONTOS DE SÃO LUÍS- MA
- **Artigo a ser submetido ou submetido:** Submetido/ Aceito.
- **Nome da revista:** Revista de Gestão Social e Ambiental (RGSA).
- **QUALIS da CAPES para a área de Geociências:** A3.
- **Objetivos específicos da dissertação atrelados ao artigo:** Identificar os resíduos dos ecopontos, cooperativas/associações que estão cadastradas ou em fase de registro na prefeitura de São Luís; Caracterizar, por via teórica, a composição elementar química dos recicláveis gerados em São Luís; Calcular o impacto de redução de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, em crédito de carbono e poder calorífico dos resíduos; Sugerir políticas de logística reversa para implementação na prefeitura de São Luís com base no cálculo de impacto de redução de CO<sub>2</sub>, créditos de carbono e potencial energético para os resíduos mais promissores.



## RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO ENERGÉTICO E ESTRATÉGIA CLIMÁTICA: AVALIAÇÃO EM ECOPONTOS DE SÃO LUÍS-MA

Jennifer da Cruz Arouche Silva <sup>1</sup>  
Luzidelma do Nascimento Freitas Rocha <sup>2</sup>  
Paulo Henrique da Silva Leite Coelho <sup>3</sup>  
Diana Maria Cano Higuaita <sup>4</sup>  
Romildo Martins Sampaio <sup>5</sup>  
José Renato de Oliveira Lima <sup>6</sup>  
Raimundo Nonato Neto Lima <sup>7</sup>  
Harvey Alexander Villa Vélez <sup>8</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** Avaliar o potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos Ecopontos localizados na cidade de São Luís- MA.

**Método:** Combinação de revisão de literatura com estudo de caso. Os dados dos Ecopontos foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de São Luís via ofício, e compreendem o período de janeiro de 2022 até o 1º bimestre de 2024, por meio desses dados foi possível estimar a composição química, poder calorífico dos resíduos mais promissores, além de estimar a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>).

**Resultados e Discussão:** Chega-se ao quantitativo de 25 ecopontos, 5 cooperativas e mais de 80.908 toneladas de resíduos que receberam o devido tratamento, conclui-se que os Ecopontos resultam nas emissões de 61,29 t/CO<sub>2</sub> e 3,29 t/CH<sub>4</sub> para resíduos como plásticos, papel e celulose, podas e madeira no período de 26 meses.

**Implicações da Pesquisa:** Percebe-se que essa temática necessita ser discutida com mais abrangência, é notório a importância de responsabilidade compartilhada e parcerias entre as cooperativas, comunidade local, Prefeitura, visto que, os resíduos estudados possuem elevado poder calorífico, podendo gerar créditos de carbono que podem ser transformadas em renda para o município.

**Originalidade/Valor:** A pesquisa adiciona evidências da eficiência energética dos resíduos e seu potencial para utilização na geração de energia, bem como futuros estudos para inserção em políticas de economia circular e créditos de carbono.

**Palavras-chave:** Resíduo Sólido Urbano (RSU), Poder Calorífico, Ecopontos, Crédito Carbono, Gases de Efeito Estufa (GEE).

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [jennifer.aruche@discente.ufma.br](mailto:jennifer.aruche@discente.ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4910-3548>

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [luzidelma.rocha@discente.ufma.br](mailto:luzidelma.rocha@discente.ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-6339-6561>

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [coelho.paulo@ufma.br](mailto:coelho.paulo@ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2669-7929>

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [dianacanhiguaita@gmail.com](mailto:dianacanhiguaita@gmail.com)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3948-7317>

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [romildo.sampaio@ufma.br](mailto:romildo.sampaio@ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1549-0826>

<sup>6</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [renato.jose@ufma.br](mailto:renato.jose@ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7723-1454>

<sup>7</sup> Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos - SEMOSP, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [engambientalneto@gmail.com](mailto:engambientalneto@gmail.com)

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1150176322984531>

<sup>8</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão, Brasil.

E-mail: [harvey.villa@ufma.br](mailto:harvey.villa@ufma.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2394-4939>



## RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO ENERGÉTICO E ESTRATÉGIA CLIMÁTICA: AVALIAÇÃO EM ECOPONTOS DE SÃO LUÍS-MA

### URBAN SOLID WASTE AS AN ENERGY RESOURCE AND CLIMATE STRATEGY: EVALUATION FROM ECOPOINTS LOCATED IN THE CITY OF SÃO LUÍS-MA

#### ABSTRACT

**Objective:** To assess the energy potential of urban solid wastes (USW) and greenhouse gas (GHG) emissions from Ecopoints located in the city of São Luís-MA.

**Method:** Combination of literature review with case of study. The data from the Ecopoints were made available by the Municipal Secretary of work and Public Services of São Luís via official letter and cover the period from January 2022 to the first two months of 2024. Through these data, was possible to estimate the chemical composition and specific calorific value of the most promising wastes, in addition to estimating Carbon (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>) emissions.

**Results and Discussion:** The number of 25 ecopoints, 5 cooperatives, and 80,908 tons of waste received due treatment was reached. It was concluded that the Ecopoints resulted in emissions of 61.29 t/CO<sub>2</sub> and 3.29 t/CH<sub>4</sub> for waste such as plastics, paper and cellulose, pruning, and wood in the period of 26 months.

**Implications of the Research:** It is clear that this topic needs to be discussed more broadly. The importance of shared responsibility and partnerships between cooperatives, the local community, and the City Hall is well-known, since the waste studied has a high calorific value and can generate carbon credits that can be transformed into income for the municipality.

**Originality/Value:** The research adds evidence of the energy efficiency of waste and its potential for use in energy generation, as well as future studies for inclusion in circular economy policies and carbon credits.

**Keywords:** Urban Solid Waste (USW), Calorific Value, Ecopoints, Carbon Credit, Greenhouse Gases (GHG).

## RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO ENERGÉTICO E ESTRATÉGIA CLIMÁTICA: EVALUACIÓN EN ECOPUNTOS DE SÃO LUÍS-MA

#### RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar el potencial energético de los RSU y de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los Ecopuntos ubicados en la Ciudad de São Luís - MA.

**Método:** Combinación de revisión de literatura con estudio de caso. Los datos de los Ecopuntos fueron puestos a disposición por la Alcaldía de São Luís mediante oficio y abarcan el período de enero de 2022 al primer bimestre de 2024. A través de estos datos, fue posible estimar la composición química y el poder calorífico de los residuos más prometedores, además de estimar las emisiones de carbón (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>).

**Resultados y Discusión:** El número de Ecopuntos alcanzados fue de 25, 5 cooperativas y más de 80.908 toneladas de residuos recibieron el debido tratamiento. Se concluyó que los Ecopuntos generaron emisiones de 61,29 t/CO<sub>2</sub> y 3,29 t/CH<sub>4</sub> por residuos como plásticos, papel y celulosa, podas y madera en un periodo de 26 meses.

**Implicaciones de la investigación:** Está claro que este tema necesita ser discutido más exhaustivamente. La importancia de la responsabilidad compartida y de las alianzas entre cooperativas, comunidad local y Alcaldía es clara, ya que los residuos estudiados tienen un alto poder calorífico y pueden generar créditos de carbono que se pueden transformar en ingresos para el municipio.

**Originalidad/Valor:** La investigación aporta evidencia de la eficiencia energética de los residuos y su potencial de aprovechamiento en la generación de energía, así como estudios futuros para su inserción en políticas de economía circular y créditos de carbono.

**Palabras clave:** Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Poder Calorífico, Ecopuntos, Crédito de Carbono, Gases de Efecto Invernadero (GEI).

RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).





## 1 INTRODUÇÃO

Nas cidades densamente urbanizadas encontram-se problemas de descarte irregular de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e em São Luís- MA não é diferente, pois o crescimento populacional e a expansão da urbanização aumentaram a produção de resíduos. Basta analisar a paisagem da cidade, é possível identificar áreas de despejo irregular, mesmo com a coleta realizada regularmente pela gestão do município, ainda têm muitos “lixões” (Gonçalves *et al.*, 2022).

Segundo a Prefeitura de São Luís, além da coleta domiciliar realizada regularmente pelos caminhões de lixo, a cidade conta com Ecopontos, sendo locais de entrega voluntária distribuídos em diversos bairros para incentivar o descarte adequado dos resíduos pelos moradores. A gestão dos RSU é de responsabilidade das prefeituras municipais, abrangendo desde a coleta, transporte, transbordo, processamento e até a disposição final ambientalmente adequada, em conformidade com o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (SNIS, 2023).

O descarte inadequado dos RSU causa impactos sociais, ambientais e econômicos, incluindo a contaminação do solo, água pelo chorume, a emissão de metano (CH<sub>4</sub>) contribui para o aquecimento global e disseminação de doenças, resultando em danos irreversíveis aos ecossistemas (Santana; Aragão Júnior & El-Deir, 2020).

O aumento desproporcional de Gases do Efeito Estufa (GEE) como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), CH<sub>4</sub> e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) elevam a temperatura da superfície terrestre, contribuindo para o aquecimento global em aproximadamente 1,5°C, principalmente devido às atividades humanas que estão acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2022). O Crédito de Carbono, é a unidade de negociação do mercado de carbono, correspondendo a uma tonelada de CO<sub>2</sub> que foi removida ou deixou ser lançada na atmosfera (Vargas; Delazeri & Ferrera, 2022).

Nesse contexto, ressalta-se a importância de investimento em pesquisas e técnicas que incentivem o reaproveitamento dos RSU com acesso à Logística Reversa (LR) ou fontes energéticas renováveis, através do Potencial Calorífico a energia é recuperada, reduzindo o volume de resíduos e abre oportunidades para novas tecnologias no tratamento conversão de energia.

A LR, é uma ferramenta de avanço econômico e social, designada por um conjunto de estratégias adaptadas a permitir que os resíduos sejam recolhidos e devolvidos ao setor comercial, para reaproveitamento em seu ciclo ou, em outros ciclos produtivos (SINIR, 2023).

Nessa perspectiva, São Luís está situada em uma ilha que compartilha com os



municípios de São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. Como sede da região metropolitana, possui uma população de 1.037.775 habitantes distribuídos em uma área de 583,063 km<sup>2</sup>, ocupando a 13<sup>a</sup> posição entre as capitais mais populosas do Brasil, a cidade gera diariamente uma quantidade significativa de resíduos (IBGE, 2022).

Diante disso, os resíduos gerados nos centros urbanos podem ter um destino mais apropriado que não sejam os aterros sanitários, se forem divididos em categorias bem definidas como rejeitos, orgânicos e recicláveis, depois de segregados serem encaminhados para cooperativas onde seu valor é resgatado, propiciando geração de emprego e renda (Bezerra, 2020).

Desta forma, o objetivo geral é avaliar o potencial energético dos RSU e emissão de GEE dos Ecopontos localizados na cidade de São Luís- MA, considerando sua aplicabilidade em futuros planos de sistemas de LR.

## 2 METODOLOGIA

O artigo baseia-se em pesquisas qualitativas, quantitativas, exploratórias e descritivas, fundamentadas em revisão bibliográfica e análise crítica de dados sobre a geração de RSU. As informações referentes aos Ecopontos de São Luís- MA foram obtidas por meio de ofício da Prefeitura Municipal, fornecidas pelo Comitê Gestor de Limpeza Urbana (CGLU), abrangendo o período de janeiro de 2022 até fevereiro de 2024. A metodologia adotada para atingir o objetivo da pesquisa seguiu quatro etapas principais:

### **1<sup>a</sup> Etapa: identificação dos resíduos coletados no município**

A pesquisa teve início com a identificação de todos os Ecopontos da cidade e a descrição dos materiais recebidos, com base nas informações disponíveis no site da Prefeitura, por meio do CGLU. Em seguida, foi realizada uma investigação detalhada sobre as cooperativas e associações com cadastro atualizado e aptas a operar plenamente, assim como aquelas em processo de registro nos órgãos competentes. Os dados foram obtidos junto à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP) e à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA). Por fim, as informações foram organizadas em tabelas, utilizando planilhas do *Microsoft Office 365 Word*.

### **2<sup>a</sup> Etapa: composição química elementar**

Para obter as correlações de composição química elementar, foram construídas Tabelas, utilizando dados para análise dos materiais promissores, dispostos em artigos já publicados no Brasil e em outros países. Sendo assim, foram quantificados os principais elementos químicos



dos resíduos, tais como: carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O), enxofre (S), nitrogênio (N) (Lohmann *et al.*, 2021).

### 3ª Etapa: potencial energético dos resíduos catalogados

Após selecionar os materiais mais adequados para aplicação energética, foi realizado um estudo sobre o Poder Calorífico com base no conteúdo de umidade e temperatura. As diferentes frações de RSU foram analisadas com base em estudos teóricos presentes na literatura. O poder energético dos RSU é comumente representado pelo Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), que podem ser determinados experimentalmente através de um calorímetro de bomba ou por meio de modelos matemáticos. Esse valor é expresso em kcal/kg ou kJ/kg (Johari *et al.*, 2012). Caso as medições diretas do Poder Calorífico não sejam possíveis, modelos empíricos podem ser utilizados para estimar o potencial calorífico dos RSU (Liu *et al.*, 2012).

### 4ª Etapa: determinação de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> a partir da análise elementar

Para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dos resíduos gerados, foram considerados os estudos e análises realizadas por Liu *et al.*, (2024), Voicu *et al.*, (2019) e PETROBRAS S.A (2016), considerando o C e H vêm de fontes primárias de emissões do CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.

Assim, partindo de análise elementar ou pesquisa bibliográfica e, considerando uma combustão/decomposição aeróbica, o C une-se ao O<sub>2</sub> do ar para formar CO<sub>2</sub> e, o CH<sub>4</sub> é produzido quando o C presente nos materiais orgânicos se une com H sob condições anaeróbicas. Matematicamente, as Equações (1) e (2) modificadas representam de forma geral as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> respectivamente:

$$E_{CO_2} = \frac{C}{M_C} \times \left( \frac{M_{CO_2}}{M_C} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$E_{CH_4} = \frac{C}{M_C} \times \left( \frac{M_{CH_4}}{M_C} \right) \times H \quad (2)$$

Onde:

$E_{CO_2}$  é a emissão de CO<sub>2</sub> (em mols ou gramas);

$C$  é a quantidade de carbono (obtido pela análise elementar);

$M_C$  é a massa molar do carbono (12 g/mol);

$M_{CO_2}$  é a massa molar do CO<sub>2</sub> (44 g/mol);

$E_{CH_4}$  é a emissão de CH<sub>4</sub> (em mols ou gramas);

$M_{CH_4}$  é a massa molar do metano (16 g/mol);

$H$  é a quantidade de hidrogênio (obtido pela análise elementar).



As Equações consideram a conversão total do C em CO<sub>2</sub> e a reação de parte do H com o C para formar CH<sub>4</sub>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os 25 Ecopontos de São Luís apresentam diferenças significativas na quantidade total de resíduos recebidos, porém todos operam sob as mesmas diretrizes de funcionamento, com limitações padronizadas de volume por pessoa e dia, como descrito na Tabela 1. Esses limites operacionais têm como objetivo garantir o controle logístico e a eficiência no processamento dos resíduos, evitando sobrecargas no sistema. No entanto, eles também influenciam diretamente o volume total coletado por unidade, especialmente em regiões com alta densidade populacional ou elevado engajamento da população.

A padronização no recebimento permite uma categorização sistemática dos materiais, favorecendo sua posterior valorização energética ou encaminhamento para cooperativas. Ainda assim, a diferença entre os volumes recebidos por Ecoponto pode refletir fatores adicionais, como o grau de adesão da comunidade, o acesso geográfico à unidade e o nível de informação ambiental dos moradores. Essa análise reforça a importância de se considerar tanto as limitações operacionais quanto os aspectos sociais e territoriais na formulação de políticas públicas voltadas à Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.

**Tabela 1**

*Tipos de resíduos aceitos nos Ecopontos de São Luís e limites diários por pessoa.*

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Exemplos comuns</b>	<b>Limite diário por pessoa</b>
Recicláveis	Plástico, papel, metal, vidro	Até 300 litros
Volumosos	Móveis, colchão, sofá	Até 2 volumes
Eletrônicos	Televisão, monitor, impressora, mouse, teclado	Até 3 unidades
Entulho	Tijolo, telha, gesso, cascalho	Até 2 m <sup>3</sup>
Madeira e resíduos verdes	Galhos, restos de poda, capina	Até 2 m <sup>3</sup>
Óleo de cozinha usado	Óleo de fritura residual doméstico	Até 5 litros
Pneus	Pneus de carros e motos	Até 4 unidades

Apesar da padronização dos resíduos aceitos nos Ecopontos, conforme detalhado na Tabela 1, certos materiais são expressamente proibidos, como resíduos orgânicos (lixo



domiciliar), restos ou carcaças de animais, resíduos hospitalares e materiais contaminantes, incluindo pilhas, baterias e lâmpadas (Duailibe, 2020). No entanto, observa-se que ainda há descarte indevido desses itens por parte da população, especialmente fora do horário de funcionamento das unidades. Esse comportamento revela uma lacuna na conscientização ambiental e no entendimento da função dos Ecopontos como centros de triagem e encaminhamento adequado de resíduos específicos.

Quanto ao destino dos materiais permitidos, também descritos na Tabela 1, os resíduos volumosos, entulhos incluídos nos Resíduos da Construção Civil (RCC), podas e madeiras são geralmente encaminhadas ao aterro sanitário. Já os recicláveis e os eletrônicos são redirecionados às cooperativas credenciadas, responsáveis pela triagem e reaproveitamento. O óleo de cozinha, classificado como resíduo Classe II B pela ABNT NBR 10004, é recolhido por uma empresa parceira especializada, enquanto os pneus são destinados à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP), seguindo fluxos específicos de tratamento e reaproveitamento (Gonçalves *et al.*, 2022).

A partir das diretrizes operacionais descritas anteriormente e dos fluxos de destinação dos resíduos, é possível observar o resultado prático da política de Ecopontos em São Luís por meio da quantidade de resíduos efetivamente recebidos. A Tabela 2 apresenta o volume total, em toneladas, coletado nos 25 Ecopontos da capital maranhense entre janeiro de 2022 até fevereiro de 2024, distribuídos por bairro. Esses dados permitem avaliar o nível de adesão da população ao sistema, bem como identificar áreas com maior geração de resíduos ou maior engajamento no descarte adequado. Além disso, tais números refletem, de forma indireta, a eficiência da logística de recebimento e o potencial de reaproveitamento desses materiais em iniciativas de reciclagem, compostagem ou conversão energética.

**Tabela 2**

*Ecopontos contabilizados, bairros que atendem e quantidade de resíduos coletados em 2022, 2023 até fevereiro de 2024.*

Nº	Nome do ecoponto	Bairro atendido	Toneladas*
1	Ecoponto Angelim	Angelim	1.321,15
2	Ecoponto Anil	Anil	2.154,79
3	Ecoponto Av. dos Holandeses	Calhau	5.162,63
4	Ecoponto Barreto	Barreto	1.296,76
5	Ecoponto Bequimão	Bequimão	1.410,85
6	Ecoponto Calhau Borborema	Calhau	1.017,87
7	Ecoponto Cidade Operária	Cidade Operária	8.549,46
8	Ecoponto Cidade Operária/ Mata Roma	Mata Roma	6.974,71
9	Ecoponto Centro	Centro	817,90





## RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO RECURSO ENERGÉTICO E ESTRATÉGIA CLIMÁTICA: AVALIAÇÃO EM ECOPONTOS DE SÃO LUÍS-MA

10	Ecoponto Cohab Anil	Cohab	6.876,78
11	Ecoponto Cohaserma	Cohaserma	3.542,20
12	Ecoponto Habitacional Turu	Turu	4.080,40
13	Ecoponto Itapiracó	Itapiracó	4.626,65
14	Ecoponto Jardim América	Jardim América	3.604,33
15	Ecoponto Jardim Renascença	Renascença	3.409,91
16	Ecoponto Jardim São Cristóvão	São Cristóvão	2.438,69
17	Ecoponto Parque Amazonas	Parque Amazonas	3.204,92
18	Ecoponto Parque dos Nobres	Parque dos Nobres	1.906,91
19	Ecoponto Primavera	Cohatrac III	2.570,19
20	Ecoponto Recanto Vinhais	Vinhais	2.971,47
21	Ecoponto Residencial Esperança	Cohama	2.707,71
22	Ecoponto Sacavém	Coroadinho	1.737,32
23	Ecoponto São Francisco	São Francisco	3.011,61
24	Ecoponto São Raimundo	São Raimundo	3.282,02
25	Ecoponto Vila Isabel	Vila Isabel	2.231,40
<b>TOTAL</b>			<b>80.908,63</b>

\*Total do período de janeiro de 2022 até fevereiro de 2024.

A Tabela 2, evidencia variações significativas nos volumes de resíduos coletados entre os diferentes Ecopontos da cidade de São Luís. Essa variação pode ser atribuída a fatores operacionais e geográficos que influenciam diretamente a eficácia de cada unidade. A localização dos Ecopontos, por exemplo, exerce papel fundamental: unidades situadas em regiões centrais ou de maior fluxo populacional, como os Ecopontos da Cidade Operária, Cohab e Av. dos Holandeses-Calhau, apresentaram volumes superiores aos demais, indicando maior grau de adesão da população ao serviço. Além disso, a infraestrutura das vias de acesso, a visibilidade do ponto e a facilidade de descarte também afetam a utilização do serviço. Outro fator relevante é o horário de funcionamento, padronizado de segunda a sábado, das 7h às 19h, o que pode favorecer o acesso da população economicamente ativa, mas ainda assim limitar o descarte por parte daqueles com rotinas mais restritas.

Ressalta-se ainda que a existência de campanhas de sensibilização ambiental, embora não sistematicamente distribuídas entre os bairros, pode ampliar a compreensão da população quanto à importância da destinação correta dos resíduos e ao funcionamento dos Ecopontos. Dessa forma, os dados da Tabela 2 não apenas quantificam os resíduos coletados, mas refletem o grau de eficiência de cada unidade, considerando variáveis logísticas e estruturais que devem ser observadas no planejamento de futuras ampliações do sistema.

A análise dos volumes de resíduos coletados nos Ecopontos, conforme apresentado na Tabela 2, revela não apenas a adesão da população ao sistema de entrega voluntária, mas também a magnitude da responsabilidade que recai sobre os “atores” envolvidos na etapa seguinte da cadeia de gestão dos resíduos. Nesse contexto, destaca-se o papel das cooperativas e associações de catadores, que atuam como elo essencial entre a coleta e o reaproveitamento



dos materiais. A existência de um sistema funcional de triagem e valorização dos resíduos está diretamente relacionada à eficiência desses coletivos, que recebem os materiais recicláveis separados nos Ecopontos e os destinam para reintrodução em novos ciclos produtivos.

O Quadro 1 apresenta as cinco cooperativas credenciadas junto ao município de São Luís, responsáveis por esse processo. Essas organizações não apenas operam em parceria com o poder público, mas também protagonizam iniciativas educativas e eventos institucionais voltados à sustentabilidade, como o Programa Recicla Maranhão, que é dividido em “Recicla Siô” e o “Recicla Folia”. A articulação entre o volume de resíduos gerado, sua correta separação e o trabalho das cooperativas enfatiza a importância de fortalecer essas entidades, tanto do ponto de vista estrutural quanto institucional, como forma de garantir maior aplicabilidade ao sistema e ampliar seus impactos sociais, ambientais e econômicos.

### Figura 1

*Organizações de catadores de materiais recicláveis credenciadas junto à Prefeitura de São Luís.*

Nº	Organização	Endereço
1	Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de São Luís (COOPRESL)	Av. dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, ao lado do Ecoponto Vila Isabel
2	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de São Luís (ASCAMAR)	Av. Senador Vitorino- Portinho, ao lado do Ecoponto Centro
3	Cooperativa de trabalho de Resíduos Sólidos do Maranhão (COORESONA)	Av. Joaquim Mochel, Quadra 05; Lote:17; nº 17 Parque Pindorama
4	Cooperativa D'ouro Vicente Fialho (COOPEOURO)	Rua Coronel Eurípedes Bezerra, Nº 850, Turu
5	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Cidade Operária e Olímpica (ASCAMARCO)	Rua 8, Unidade 205, Nº 02, Bloco A, Cidade Operária

A atuação das cooperativas listadas na Figura 1 é essencial não apenas na triagem e reaproveitamento dos resíduos recicláveis, mas também como etapa preliminar para o aproveitamento energético de determinadas frações com elevado teor orgânico ou petroquímico. A correta separação desses materiais é condição indispensável para sua valorização térmica, sobretudo no caso de resíduos com elevado Poder Calorífico, como plásticos, papéis e biomassa lignocelulósica (madeira, poda e capina).

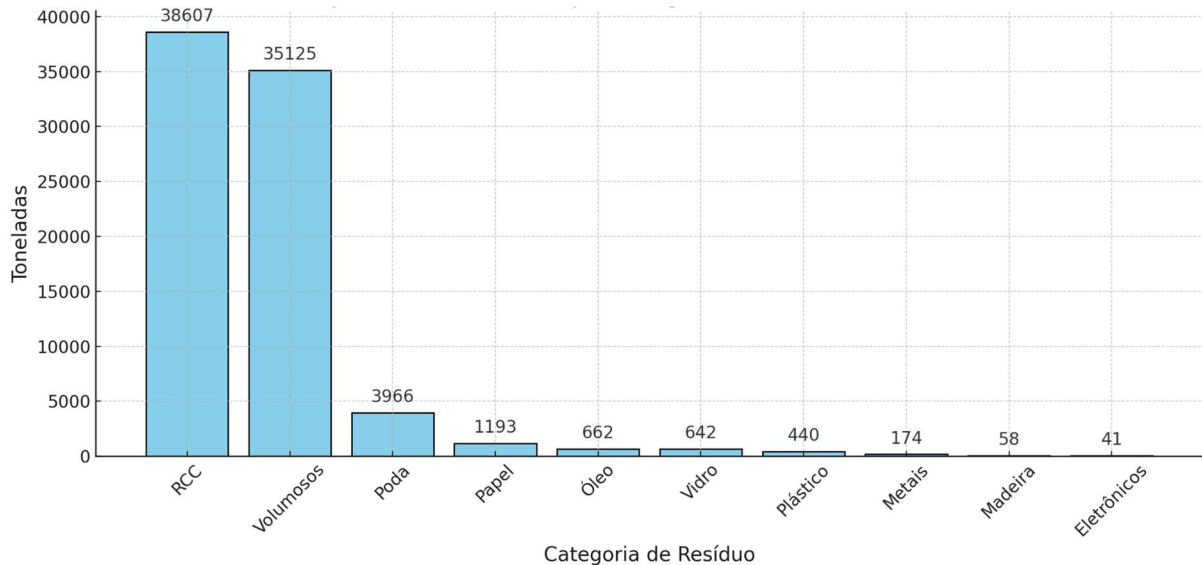
A Figura 2, apresenta a distribuição acumulada dos resíduos coletados nos Ecopontos de São Luís de janeiro de 2022 até fevereiro de 2024, permitindo observar quais categorias predominam em volume. Essa visualização é fundamental para identificar as frações com maior



potencial de conversão energética, que serão analisadas em detalhe nas seções seguintes com base em sua composição química e Poder Calorífico.

### Figura 2

*Distribuição total de resíduos por categoria coletados nos Ecopontos de São Luís (janeiro de 2022 até fevereiro de 2024).*



Os recicláveis tradicionais (papel, vidro, plástico e metal) são encaminhados para as cooperativas credenciadas, enquanto os eletrônicos permanecem armazenados nos próprios Ecopontos, em regime de parceria com a Associação Brasileira de Reciclagem de Eletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE). Os demais materiais seguem destinações específicas mediadas pela Prefeitura Municipal, de acordo com sua natureza e viabilidade de reaproveitamento. Nesse contexto, a coleta seletiva se consolida como ferramenta essencial para a promoção da reciclagem, ainda que sua implantação represente um desafio para as administrações municipais, em função dos custos operacionais envolvidos.

Os materiais recicláveis provenientes da entrega na coleta seletiva são encaminhados para triagem e, posteriormente, para a cadeia da reciclagem. Já os RSU também podem ser coletados de forma convencional, dentro do sistema de gestão municipal (Galavote *et al.*, 2023). Essa complementaridade operacional permite ampliar a abrangência da recuperação de resíduos, desde que exista estrutura adequada para o processamento de cada tipo.

Destaca-se, entre os materiais recebidos, o volume expressivo de 38.607,11 toneladas de RCC, que são atualmente encaminhados à Usina de Processamento situada no Centro Ambiental da Ribeira, em São Luís. Nessa unidade, os RCC são triturados e convertidos em



agregados utilizados na pavimentação de ruas, praças e calçadas, resultando em economia orçamentária e em ganhos de responsabilidade socioambiental nas obras públicas (Duailibe, 2020). De forma integrada, resíduos de madeira oriundos dos RCC, bem como materiais volumosos, de poda e capina, são igualmente triturados e combinados com resíduos orgânicos das feiras livres como frutas, legumes e verduras dispostos em leiras de compostagem, promovendo uma abordagem de valorização orgânica local.

Durante o ano de 2022 até fevereiro de 2024, os Ecopontos registraram um avanço significativo na captação de óleo de cozinha usado. Tal crescimento é atribuído às campanhas educativas de incentivo à coleta e reciclagem desse tipo de resíduo, que em anos anteriores eram menos frequentes. O óleo de cozinha é classificado como resíduo Classe II B, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2024), e apresenta alto potencial poluente, podendo comprometer as redes de esgoto e impermeabilizar leitos fluviais quando descartado incorretamente. A coleta estruturada desse material permite sua revalorização por meio da transformação em matérias-primas para produtos diversos, como sabonetes, detergentes e pastas, gerando benefícios ambientais e econômicos.

Segundo dados fornecidos pela SEMOSP, foram coletadas 34.329,12 toneladas em 2022, 38.291,45 toneladas em 2023 e 8.288,05 toneladas, totalizando 80.908,63 toneladas de resíduos com destinação ambientalmente adequada ao longo do período analisado. De acordo com a Lei Municipal Nº 6.321/2018, que regulamenta o Sistema de Limpeza Urbana de São Luís, os objetivos centrais dessa política envolvem a promoção da saúde coletiva, o fortalecimento da sustentabilidade ambiental e a inclusão dos trabalhadores da reciclagem. A legislação também estabelece penalidades para o descarte inadequado de RSU em vias e terrenos públicos (São Luís, 2018). Contudo, conforme alertado por Araújo, Costa e Santos (2023), a disposição irregular de RSU persiste em diversos pontos da cidade, comprometendo o meio ambiente, saúde pública e estética urbana, evidenciando a necessidade contínua de fiscalização e conscientização social.

Diante da diversidade de materiais recebidos e de suas respectivas destinações, torna-se fundamental analisar aqueles com potencial energético relevante. A Figura 1 revela que resíduos como papel, plástico, madeira e poda, embora em volumes distintos, são recorrentes na coleta e possuem composição favorável à conversão térmica. A seguir, apresenta-se a composição elementar desses resíduos promissores, com destaque para os teores de C, H, O, N, S e seu poder energético, com base em dados extraídos de estudos nacionais e internacionais, conforme sistematizado na Tabela 3.



**Tabela 3**

*Composição química dos resíduos promissores dos Ecopontos.*

Resíduos	Componentes (mg/g)					PCI kcal/kg	PCS kcal/kg	Autores
	C%	H%	O%	N%	S%			
Plástico	61,4	4,3	32,7	-	0,1	8.000,0	10.933 <sup>a</sup>	Pessoa Filho, 2020; Pinto, 2009; Komilis <i>et al.</i> , 2012.
Papel	43,5	6	44	0,3	0,2	2.531,4 <sup>b</sup>	3,705 <sup>c</sup>	Gomes <i>et al.</i> , 2017; Silva <i>et al.</i> , 2014.
Podas e capina	48,4	5,5	44,7	1,1	-	3.968,8	4295,8	Silva <i>et al.</i> , 2022; Trugilho <i>et al.</i> , 2012.
Madeira	48	6	45	1,5	0,1	4.379,1	4679,7	Silva <i>et al.</i> , 2015; Reis <i>et al.</i> , 2012.

<sup>a</sup>45.701 kJ/kg, <sup>b</sup>10,60 MJ/kg e <sup>c</sup>15.512 kJ/kg foram convertidos na mesma unidade de medida (kcal/kg).

A partir da classificação dos resíduos aptos para aproveitamento energético, foram analisados os valores de PCI (Poder Calorífico Inferior) e PCS (Poder Calorífico Superior), conforme dados disponíveis na literatura. O PCS representa a quantidade total de energia liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa do resíduo, incluindo o calor proveniente da condensação do vapor d'água formado na reação. Já o PCI, por sua vez, desconta esse calor de condensação, refletindo a energia efetivamente disponível para conversão térmica em sistemas práticos, como incineradores ou unidades de cogeração. Na prática, o PCI é o parâmetro mais utilizado para estimativas de eficiência energética, pois representa de forma mais realista o aproveitamento energético dos resíduos em condições operacionais reais. Além dos valores de Poder Calorífico, também foi contabilizada a quantidade total (em toneladas) dos resíduos recebidos nos Ecopontos, permitindo relacionar volume disponível e potencial energético.

Determinar valores que sejam representativos e confiáveis em relação ao Poder Calorífico envolve análises mais complexas, especialmente em relação ao reaproveitamento energético de RSU, devido à sua alta diversidade (Poli *et al.*, 2013)

O papel, possui um bom potencial energético devido ao seu alto Poder Calorífico, que está diretamente relacionado à sua composição orgânica e ao teor de carbono. O alto teor de celulose presente favorece a combustão eficiente, pois se trata de um polímero orgânico que armazena grande quantidade de energia química (Ferreira *et al.*, 2014).

Aliás, a secagem é um método eficaz para aprimorar as propriedades energéticas dos resíduos celulósicos, pois reduz a umidade e, conseqüentemente, eleva o Poder Calorífico, viabilizando seu uso como combustível e aumentando a eficácia (Schirmer *et al.*, 2017).



A madeira, poda e capina apesar do pouco volume recebido nos Ecopontos, a sua eficiência em Poder Calorífico é uma das mais elevadas, podendo ser usada para gerar energia, otimizar processos e gerar economia, quando utilizada em aquecimento de caldeiras. Combustíveis com elevado teor de carbono e baixa presença de materiais voláteis queimam mais lentamente, exigindo um tempo prolongado na fornalha para a combustão completa. Assim, compostos orgânicos com maior concentração de carbono e hidrogênio geram uma quantidade superior de energia durante a queima (Reis *et al.*, 2012).

No caso dos resíduos plásticos, destaca-se sua significativa densidade energética, resultante de sua estrutura hidrocarbonada. Esses materiais podem ser classificados em moles e duros ou, conforme a nomenclatura técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2008), nas categorias Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Policloreto de Vinila (PVC), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS). A Tabela 4 apresenta os valores de Poder Calorífico associados a essas diferentes classes de embalagens plásticas, com base na NBR 13230/2008, permitindo uma análise comparativa do potencial energético de cada tipo.

**Tabela 4**

*Tipos de plásticos de acordo com a NBR 13230/2008.*

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Onde encontrar</b>	<b>Poder calorífico superior (kJ/kg)</b>
PET	Transparente, resistente, afundam na água	Garrafas de refrigerante, alimentos, limpeza, cosméticos.	23.254,50
PEAD	Flutuam na água, queima como vela	Tampas de refrigerantes, fitas adesivas, embalagens de alimentos.	45.701,33
PVC	Rígidez, afundam na água, queima com dificuldade	Cartões de crédito, conexões, cabos elétricos.	18.239,50
PEBD	Flexível; transparente, flutua na água	Cabos para TV, sacos industriais.	39.500
5-PP	Brilhante, rígido, flutuam na água	Autopeças, fibras para tapetes, fraldas, absorventes.	42.089,50
6-PS	Impermeável, flutua na água, quebradiço, queima fácil	Copos descartáveis, eletrodomésticos, potes.	41.388,00
7-Outros	Flexibilidade, leveza, resistência à abrasão	Colas, adesivos, pneus, acessórios esportivos e náuticos.	32.795

Fonte: Adaptado de Pessoa Filho (2020).



A avaliação do potencial energético do plástico mostra-se viável, pois a partir do balanço de energia é possível converter resíduos em gás combustível por meio da pirólise, demonstrando ser autossustentável. De forma geral, os resíduos plásticos, por serem derivados do petróleo, apresentam um alto Poder Calorífico, semelhante ao de combustíveis comerciais como óleo diesel, gasolina, e gás natural. Quando submetidos à pirólise, esses resíduos demonstram um potencial energético significativo, cuja energia permite avaliar sua viabilidade para valorização energética (Pessoa Filho, 2020).

A análise dos dados da Tabela 4, permite concluir que os polímeros mais utilizados em embalagens de uso cotidiano (PEAD, PP e PS) não apenas são amplamente descartados, como também apresentam os maiores valores de PCS, consolidando-se como frações altamente promissoras para processos de reaproveitamento energético. Com base nesses dados e considerando os volumes totais coletados, estima-se o potencial de emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> desses materiais a partir dos valores de C, H e O, considerando uma eficiência de conversão de 100% pelos cálculos das Eqs. (1) e (2) e, sendo apresentados os resultados na Tabela 5.

**Tabela 5**

*Determinação de emissão CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nos Ecopontos de São Luís- MA.*

Resíduo	Geração (g/g resíduo)		Volume resíduo (t)*	Estimação de emissão nos ecopontos (t)*	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
<b>Plástico</b>	4,26×10 <sup>-2</sup>	1,83×10 <sup>-3</sup>	440	18,70	0,81
<b>Papel</b>	3,02×10 <sup>-2</sup>	1,81×10 <sup>-3</sup>	1193	13,29	0,79
<b>Poda e Capina</b>	3,36×10 <sup>-2</sup>	1,84×10 <sup>-3</sup>	3966	14,78	0,81
<b>Madeira</b>	3,33×10 <sup>-2</sup>	2,00×10 <sup>-3</sup>	58	14,52	0,99

\* Valores calculados para o interstício da pesquisa (26 meses).

O volume dos materiais foi avaliado ao longo do período de pesquisa, servindo como base para o cálculo das emissões estimadas de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Para viabilizar a análise integrada, os dados foram convertidos para uma unidade comum (toneladas), permitindo a comparação direta entre os diferentes resíduos e gases.

A partir dos resultados encontrados conclui-se que os Ecopontos resultam na emissão de 61,29 t/CO<sub>2</sub> e 3,29 t/CH<sub>4</sub> considerando os 4 resíduos estudados durante o interstício de 26 meses. Segundo Voicu *et al.*, 2019, as emissões de CH<sub>4</sub> dos RSU, contribuem significativamente para as mudanças climáticas e o aquecimento global, por isso, autoridades ambientais estão adotando políticas e estratégias para reduzir essas emissões dos GEE.



## 4 CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que os Ecopontos de São Luís- MA constituem uma estratégia efetiva na organização e triagem de RSU, proporcionando não apenas a destinação ambientalmente adequada de mais de 80 mil toneladas de resíduos de janeiro de 2022 até fevereiro de 2024, mas também, a geração de dados estratégicos para o planejamento energético e ambiental do município.

A análise dos resíduos coletados, aliada à caracterização química e à estimativa do PCS de frações específicas, como plástico, papel, madeira e poda/capina, revelou um potencial energético considerável, com destaque para os resíduos plásticos que apresentaram PCS comparáveis ao de combustíveis fósseis. Além disso, a estimativa de emissões GEE (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), baseada na composição elementar e geração mensal média dos resíduos, reforçando a importância da valorização energética como mecanismo de mitigação de emissões e transição para uma economia de baixo carbono.

A conversão teórica desses resíduos em energia e a contabilização dos créditos de carbono associados demonstram que parte significativa dos resíduos gerados poderia ser integrada a sistemas de pirólise ou coprocessamento, reduzindo a pressão sobre os aterros sanitários e promovendo a geração de valor ambiental e econômico.

Os resultados obtidos também destacam o papel essencial das cooperativas de catadores no ciclo da LR, tanto na triagem dos recicláveis quanto no pré-processamento de resíduos com potencial energético. Essa articulação entre poder público, sociedade civil e setor produtivo representa uma oportunidade concreta para estruturar uma política pública local voltada à valorização energética e à monetização de créditos de carbono, alinhada aos princípios da economia circular e da responsabilidade compartilhada.

Assim, conclui-se que os Ecopontos, além de sua função operacional de descarte, podem ser reconfigurados como polos estratégicos de captação de resíduos com valor energético, contribuindo para a sustentabilidade urbana e o fortalecimento de políticas integradas de gestão de resíduos sólidos, energia e clima. Recomenda-se, por fim, o desenvolvimento de estudos complementares sobre a viabilidade técnica e econômica da conversão energética local, bem como a criação de um plano municipal de valorização energética de resíduos, com base nos dados aqui sistematizados.





## 5 AGRADECIMENTOS

À Prefeitura Municipal de São Luís, através da SEMOSP, CGLU e SEMA, bem como as cooperativas e associações que autorizaram o acesso aos seus empreendimentos, especialmente os presidentes da COOPRESL, ASCAMAR e COOPEOURO, que são reconhecidas pela colaboração prestada fundamentais para realização deste trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo patrocínio financeiro concedido sob o código “CAPES – Finance Code 001”, mais especificamente pelo projeto processo nº88881.510240/2020-01, no âmbito do Programa CAPES 013/2020 – PDPG Amazônia Legal.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, C. J. V., Costa, A.D., & Santos, L. O.M. L. (2023). ECOPONTOS: Uma Análise da Gestão de Resíduos da Construção Civil na Cidade de São Luís - Ma. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar* - ISSN 2675-6218, v. 4, n. 6, p. e463466.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2008). *NBR 13230: Embalagens e Acondicionamento Plásticos Recicláveis – Identificação e Simbologia*. Rio de Janeiro, 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004). *NBR 10004-1:2024 – Resíduos sólidos — Classificação – Parte 1: Requisitos de classificação*. Rio de Janeiro.
- Bezerra, D. E. (2020). *Redes Neurais Artificiais para determinação da composição de resíduos sólidos urbanos*. (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Estadual da Paraíba - UFPB.
- Duailibe, R. O. (2020). *Resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento sustentável: a coleta seletiva nos Ecopontos de São Luís-Maranhão*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Maranhão- UFMA.
- Ferreira, I. T. M., Schirmer, W. N., Machado, G. O., & Gueri, M. V. D. (2014). Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, n. 4, p. 284-297. <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/38618/23624>
- Galavote, T., Sena, L. G., Calixto, L. M., Dutra, R. M. S., Coimbra, T. C., Chaves, G. L. D., & Siman, R. R. (2023). Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, e20220108. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220108>
- Gomes, S., Weirich Neto, P. H., Silva, D. A., Antunes, S. R. M., & Rocha, C. H. (2017). Potencial Energético de Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. vol. 22, n. 6, p. 1197–1202. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017143432>
- Gonçalves, P. P., Lindoso, T. C., Bogéa, R. C., Santos Júnior, M. S., Pinheiro, P. A., Wetters, M. F. L. F., & Pinheiro, N. C. A. (2022). Avaliação dos fatores que influenciam no desempenho dos ecopontos: Um estudo de caso no município de São Luís, Maranhão. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 11(1), 156–177. [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/9137/6005](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9137/6005)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. *São Luís (MA) Cidades e Estados*. (2022).



- <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/sao-luis.html>
- Johari, A., Hashim H., & Ramli, T. (2012). Generalization, formulation and heat contents of simulated MSW with high moisture content. *Journal of engineering Science and Technology*, v.7, n.6, p.701-710.
- Komilis, D., Evangelou, A., Giannakis, G., & Lymperis, C. (2012). Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management*, v. 32, n. 3, p. 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034>
- Liu, J. I., Paode, R. D., & Holsen, T. M. (2012). Modeling the energy content of municipal solid waste using multiple regression analysis. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v, 46, n. 7, p. 650-656.
- Liu, S.Y., Liang, S., Chen, Z.Q., Ma, Y.G., Gao, W.C., Tian, X.Y., & Luo, Y.Q. (2024). Mathematical modeling and indirect carbon emission reduction analysis of urban wastewater treatment systems under different temperature conditions. *Water*, 16 (21), 3039. <https://doi.org/10.3390/w16213039>.
- Lohmann, G., Gehling, G. R., & Cybis, L. F. A. (2021). Uso de Matriz Pedigree Modificada na Escolha de Dados de Composição Elementar de Resíduos Sólidos Urbanos. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, v.14, n.1, 279-294. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.70403>
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). (2022). Enquadramento e Contexto. *Aquecimento Global de 1,5°C: Relatório Especial do IPCC sobre Impactos do Aquecimento Global de 1,5°C acima dos Níveis Pré-industriais no Contexto do Fortalecimento da Resposta às Mudanças Climáticas, Desenvolvimento Sustentável e Esforços para Erradicar a Pobreza*. p. 49–92. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.003>
- Pessoa Filho, J. S. (2020) *Tratamento Térmico para Aproveitamento Energético de Resíduos Plásticos: Análise Experimental*. (Tese de doutorado) Universidade Federal de Uberlândia-UFU. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29586/1/TratamentoTermicoAproveitamento.pdf>
- PETROBRAS S.A. (2016). *Relatório de referência PETROBRAS: Emissões de gases de efeito estufa no refino e transporte de óleo e derivados, no Estado de São Paulo, 2013* (Diretoria Corporativa e de Serviços - DC&S). 70 p.
- Pinto, S. C. O. P. S. (2009). *Caracterização de Combustíveis Derivados de Resíduos obtidos a partir de resíduos industriais não perigosos*. Dissertação de Mestrado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Polí, D. C. R., Zancheta, M. N., Boari, Z. M., Meldonian, N. L., Moura, C. L., & Jiurgiu, P. A. (2013). Uma Avaliação das Metodologias para Determinação do Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, v. 8, n. 8, p. 9-31.
- Reis, A. A., Protásio, T. P., Melo, I. C. N. A., Trugilho, P. F., & Carneiro, A. C. O. (2012). Composição da Madeira e do Carvão Vegetal de *Eucalyptus Urophylla* em Diferentes Locais de Plantio. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 32, n. 71, p. 277. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.71.277>
- Santana, R. F., Aragão Júnior, W. R., & El-Deir, S. G. (2020). *Resíduos Sólidos: Desenvolvimento e Sustentabilidade*. Recife: EDUFRPE. Gampe, 1ª edição, 479 p.
- São Luís. CGLU. Comitê Gestor de Limpeza Urbana. (2018). *Lei Municipal Nº 6.321 de 27 de março de 2018*. Estabelece e organiza o Sistema de Limpeza Urbana e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no município de São Luís e dá outras providências. [https://www.saoluis.ma.gov.br/arquivos/2560\\_lei\\_6\\_321\\_10025023.pdf](https://www.saoluis.ma.gov.br/arquivos/2560_lei_6_321_10025023.pdf)
- Schirmer, W. N., Ferreira, I. T. M., Ribeiro, C. B., Pavanello, G. P., Machado, G.O., & Rodrigues, P. R. P. (2017). Caracterização de biomassa residual de fábrica de papel-cartão para aproveitamento energético. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 10, n. 4, p.



- 1113-1132. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1113-1132>
- Silva, D. A., Muller, B. V., Kuiaski, E. C., Eloy, E., Behling, A., & Colaço, C. M. (2015). Propriedades da Madeira de *Eucalyptus Benthamii* para Produção de Energia. *Pesquisa Florestal Brasileira*. v. 35, n. 84, p. 481–485. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.677>
- Silva, E. R., Sebastião Junior, N. V., Tonelli, J. T. C. L., & Martins, G. (2014). Estimativa do Potencial de Conversão Energética de Resíduos Sólidos Urbanos através do Processo de Incineração. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, v. 18, p. 06.09- 06.16 <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/138981>
- Silva, R. C., Marchesan, R., Lopes, V. C., Gomes, B. K. S., Eufrazio, T. P., Alvarez, S. F., Rodrigues, B. S., Mendes, J. G. N., Saraiva, K. F., & Farias, B. B. (2022). Avaliação dos Índices de Qualidade Energética do Fuste e do Galho do Clone de *Eucalyptus spp.* *Tecnologia de Produtos Florestais*. v.1. p.69-81.
- Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. SNIS (2023). *Diagnóstico temático manejo de resíduos sólidos urbanos*. Ministério do Desenvolvimento Regional.
- Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. SNIR (2023). *O que é logística reversa*. <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/>
- Trugilho, P. F. Bianchi, M. L., Rosado, S. C. S., Lima, J. T. & Napoli, A. (2012). Análise Elementar da Madeira de Clones de *Eucalyptus*. *Biomassa & Energia*, v. 5, n. 1, p. 53-58.
- Vargas, D. B., Delazeri, L. M. M & Ferrera, V. H. P. (2022). *O Avanço do Mercado Voluntário de Carbono no Brasil: Desafios Estruturais, Técnicos e Científicos*. Escola de Economia de São Paulo.
- Voicu, G., Vieru, D., Dincă, N., & Toma, L.M. (2019). Mathematical models which predict CH<sub>4</sub> emissions from MSW landfills – Comparisons. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, v.17, n.1, p.195-200.

## **6 CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO**

### **6.1 Importância social**

O potencial energético dos RSU em São Luís pode desempenhar um papel crucial na promoção de benefícios amplos contribuindo na conscientização da população acerca da relevância do uso dos ecopontos, reutilização dos resíduos, fomentando uma cultura de sustentabilidade. Além disso, o fortalecimento de cooperativas e associações de catadores é fundamental para garantir a inclusão social desses trabalhadores, por meio de programas de capacitação, acesso a recursos e melhores condições de trabalho, essas organizações conseguem transformar resíduos em oportunidades de geração de emprego e renda.

A redução do descarte irregular em terrenos baldios, reflete diretamente na melhoria da qualidade de vida das comunidades, ao prevenir problemas como proliferação de doenças, enchentes e degradação ambiental. Por fim, ações educativas, campanhas de sensibilização ajudam a engajar a sociedade em práticas responsáveis, promovendo um impacto social positivo e alcançando uma transformação no comportamento coletivo em prol do meio ambiente.

### **6.2 Importância econômica**

A reutilização dos RSU oferece uma gama de benefícios econômicos, posicionando-se como uma solução estratégica para reduzir custos e estimular o desenvolvimento sustentável. A comercialização dos recicláveis, como papel, plástico, vidro e metais, gera oportunidades diretas de renda para catadores e cooperativas. No âmbito municipal, a diminuição do volume de resíduos destinados a aterros sanitários reduz gastos significativos com coleta, transporte e tratamento final.

Em virtude disso, a captação de créditos de carbono é um mecanismo previsto pelo mercado internacional permitindo que o município obtenha recursos financeiros adicionais ao evitar emissões dos GEE.

Outra vantagem econômica é a atração de investimentos para tecnologias inovadoras de reciclagem, como aprimoramento da usina de compostagem até recuperação energética. Tais investimentos podem transformar resíduos antes considerados descartáveis em insumos valiosos para a EC, ampliando as oportunidades de negócios no setor e criando postos de trabalho.

### **6.3 Importância ambiental**

O reaproveitamento dos resíduos contribui para a redução da emissão dos GEE como o CO<sub>2</sub>, e CH<sub>4</sub>, que estão entre os maiores responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. A preservação de recursos naturais diminui a necessidade de extração de matérias-primas, reduzindo a pressão sobre a biodiversidade.

A destinação adequada dos resíduos previne contaminação do solo, atmosfera, recursos hídricos, além de reforçar o compromisso com os ODS, especialmente os relacionados aos números 8, 11 e 12, promovendo crescimento econômico sustentável, cidades mais resilientes e a redução da geração de resíduos por meio da reciclagem e reuso.

Esses objetivos estão entrelaçados com o artigo 225 da Constituição Brasileira que reforçam o compromisso com o desenvolvimento mais equilibrado e sustentável, beneficiando tanto o meio ambiente quanto as gerações futuras.

## ANEXO

PREFEITURA DE <b>SÃO LUÍS</b> <small>POR UMA CIDADE MELHOR</small>		DADOS CADASTRAIS		
NÚMERO DO DOCUMENTO:	S/N			
DATA DO DOCUMENTO:	22/03/2024	DATA DE ABERTURA:	22/03/2024	
SITUAÇÃO (MOTIVO DA TRAMITAÇÃO):	CADASTRADO		PRAZO DE RESPOSTA:	-
DEPARTAMENTO ATUAL:	SEMOSP-PROT			
TIPO DOCUMENTAL:	OFÍCIO			
INSCRIÇÃO IMOBILIÁRIA:	-			
REFERÊNCIA:	RESPOSTA AO:	RESPONDIDO POR:		
CLASSIFICAÇÃO ARQUIVÍSTICA:	GRAU DE ACESSO:	TIPO DE SUPORTE:		
99.99.99 - NÃO INFORMADO	PÚBLICO	DIGITAL		
INTERESSADO:	CPF/CNPJ:	ENDEREÇO:		
JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA	03127803389	-		
PROCEDÊNCIA:	PROTÓCOLO-SEMOSP			
ASSUNTO:	REFERENTE A SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA CONCLUIR UMA DISSERTAÇÃO			



Verifique o código de autenticidade 28227070.091090.8584493.8.8224343311531386800178 em <https://www.event3.com.br/documentos>



**I SIMPÓSIO MARANHENSE  
MULTIDISCIPLINAR SOBRE GERAÇÃO  
DE ENERGIA E SEUS IMPACTOS  
SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o trabalho **LOGÍSTICA REVERSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS ECOPONTOS EM SÃO LUÍS-MA**, dos autores **JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA, Harvey Alexander Villa Velez e PAULO HENRIQUE DA SILVA LEITE COELHO**, foi apresentado no I Simpósio Maranhense Multidisciplinar sobre Geração de Energia e seus Impactos Socioeconômicos e Ambientais, realizado no período de 05 a 07 de novembro de 2024 na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), em São Luís (MA).

São Luís, 07 de novembro de 2024.

*Auro Atsushi Tanaka*  
Coordenador Geral

REALIZAÇÃO



APOIO



Diagramação: Marcelo Alves  
Capa: Gabrielle do Carmo



A Editora Fi segue orientação da política de distribuição e compartilhamento da Creative Commons. Atribuição-Compartilhado 4.0 Internacional. [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt\\_BR](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR)



O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

61 Integração energética no Maranhão: tecnologia, sustentabilidade e impactos socioeconômicos [recurso eletrônico] / Ricardo Aguirre Leal, Paulo Henrique da Silva Leite Coelho e Lucyléa Gonçalves França [orgs.]. – Cachoeirinha : FI, 2025.  
199p.

ISBN 978-65-5272-098-6

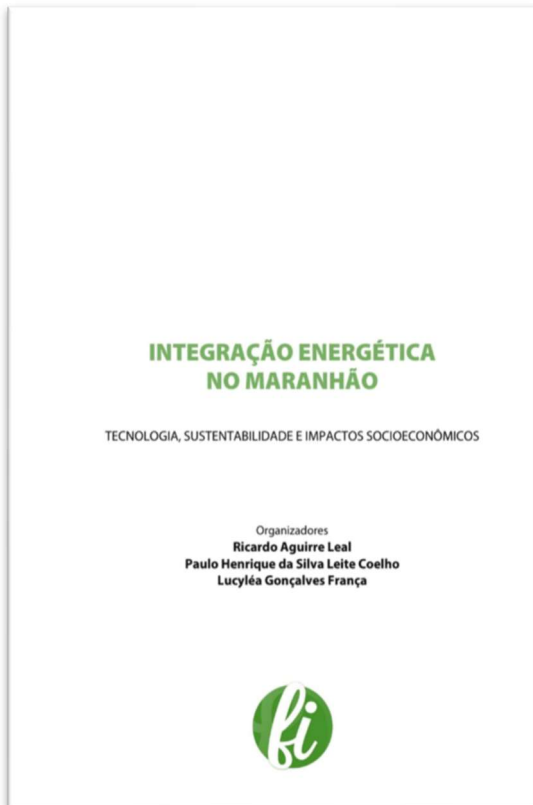
DOI 10.22335/9786552720986

Disponível em: <http://www.editorafi.org>

I. Energia – Integração – Maranhão. I. Leal, Ricardo Aguirre, II. Coelho, Paulo Henrique da Silva Leite. II. França, Lucyléa Gonçalves.

CDU 621.1/9(812.1)

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023



SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>119</b>

6/2

<b>7</b>	<b>137</b>
<b>8</b>	<b>153</b>
<b>9</b>	<b>173</b>

# 7

## LOGÍSTICA REVERSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOS ECOPONTOS EM SÃO LUÍS-MA <sup>1</sup>

*Jennifer da Cruz Arouche Silva <sup>2</sup>*

*Harvey Alexander Villa Vélez <sup>3</sup>*

*Paulo Henrique da Silva Leite Coelho <sup>4</sup>*

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, estipula que, após o tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), os materiais rejeitados devem ser encaminhados para aterros sanitários. Aterros são construções de engenharia que englobam a impermeabilização do solo, coleta, utilização ou queima do biogás, sistemas de drenagem, gestão e tratamento do chorume, além de um monitoramento ambiental e geotécnico, visando prevenir danos à saúde pública e riscos à segurança, assim como reduzir impactos ambientais negativos.

Em 2022, estimou-se que cada brasileiro produziu, em média, 1,04 kg de RSU por dia, resultando em 77,1 milhões de toneladas de resíduos ao longo do ano, o que equivale a mais de 211 mil toneladas diariamente, ou cerca de 380 kg por habitante anualmente (Abrema, 2023).

---

<sup>1</sup> Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGC&TAmb) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pelo apoio e incentivo; à Prefeitura de São Luís através da Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP) e Comitê Gestor de Limpeza Urbana (CGLU); ao Estado do Maranhão, por meio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA); e principalmente às cooperativas/associações que permitiram minha entrada em seus empreendimentos para que eu pudesse fazer o registro fotográfico de materiais com os quais conseguem o sustento de suas famílias em especial aos presidentes da COOPRESL, ASCAMAR e da COOPEOURO.

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental. Estagiária de Pós-graduação na SEMA. Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental na UFMA. [jennifer.aruche@discente.ufma.br](mailto:jennifer.aruche@discente.ufma.br)

<sup>3</sup> Engenheiro de Alimentos. Professor no Departamento de Engenharia Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnologias na UFMA. [harvey.villa@ufma.br](mailto:harvey.villa@ufma.br)

<sup>4</sup> Matemático. Professor do Departamento de Engenharia Química, Centro de Ciência Exatas e Tecnologias na UFMA. [coelho.paulo@ufma.br](mailto:coelho.paulo@ufma.br)



## CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

**Harvey Alexander Villa Vélez<sup>1</sup>, Jennifer da Cruz Arouche Silva<sup>2</sup>,  
Luís Fernando Cirqueira da Silva Correia<sup>3</sup>, Luzidelma do Nascimento Freitas Rocha<sup>4</sup>,  
Thomas Victor de Sousa Malheiros Rocha<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil, [Harvey.villa@ufma.br](mailto:Harvey.villa@ufma.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil, [jennifer.aruche@discente.ufma.br](mailto:jennifer.aruche@discente.ufma.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil, [luis.correia@discente.ufma.br](mailto:luis.correia@discente.ufma.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil, [luzidelma.rocha@discente.ufma.br](mailto:luzidelma.rocha@discente.ufma.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brasil, [thomas.malheiros@discente.ufma.br](mailto:thomas.malheiros@discente.ufma.br)

Resumo: O presente artigo discute sobre Economia Circular (EC) na promoção da sustentabilidade ambiental e econômica, trazendo abordagens sobretudo no que diz respeito às perspectivas atuais e futuras, e ressaltando algumas diferenças entre os modelos econômicos linear e circular. Esta revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar os principais conceitos da EC, analisando sua evolução histórica e importância para o desenvolvimento sustentável, através de produções atualizadas disponíveis nas plataformas de divulgação científica. Para concluir, enfatiza-se que EC almeja que os materiais descartados sejam destinados adequadamente, evitando desperdícios e contribuindo para a sustentabilidade ambiental, busca-se o uso sustentável dos recursos naturais mantendo-os em ciclos contínuos de uso e reuso, por fim a EC é um modelo econômico sustentável que contribui para a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Economia Circular (EC). Economia Linear (EL). Reuso.



## APÊNDICE



São Luís- MA, 21 de março de 2024.

A Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP).

**Assunto: Fornecimento de Dados para Elaboração de Dissertação.**

Sr. Responsável, no instante em que o cumprimento, levo ao vosso conhecimento a solicitação de autorização para que a aluna de mestrado Jennifer da Cruz Arouche Silva, estudante do 3º semestre do curso de Ciência e Tecnologia Ambiental na UFMA, consiga realizar pesquisa para desenvolvimento de sua dissertação, obtendo dados: Comitê Gestor de Limpeza Urbana- CGLU, São Luís Engenharia Ambiental (SLEA), Ecopontos e Cooperativas.

**Título da dissertação:** Avaliação do Potencial Energético, Créditos Carbono e Logística Reversa dos Resíduos das Cooperativas e Ecopontos da Cidade de São Luís-MA.

Orientador: Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez.

**Objetivo geral:** Quantificar o potencial de resíduos sólidos para aplicação de sistemas reversos através da reutilização na cidade de São Luís- MA.

**Objetivo específico:** Identificar os resíduos coletados no sistema municipal através dos ecopontos, cooperativas que estão cadastradas ou em fase de registro na prefeitura de São Luís;

**Metodologia do objetivo específico:** **A pesquisa dará início com a identificação todos os 25 ecopontos da Cidade, assim como a descrição dos materiais e quantidade (toneladas) semestral que os ecopontos receberam no ano 2022, 2023, até o primeiro bimestre de 2024, através de informações registradas na Prefeitura, por meio do Comitê Gestor de Limpeza Urbana (CGLU).** Em seguida, será realizada uma pesquisa aprofundada acerca das cooperativas que estão com o cadastro atualizado, estando aptas para exercerem suas plenas atividades e as que estão em fase de registro. Diante disso, preciso **obter dados com os nomes das cooperativas cadastradas, bairro, tipo de materiais trabalhados em todos os estabelecimentos, bem como a quantidade (toneladas) semestral de cada resíduo no ano de 2022, 2023, até o primeiro bimestre de 2024.**

Destaca-se que a pesquisadora se compromete em manter os dados coletados em discrição e diante da escrita da pesquisa serão utilizados os dados com imparcialidade para preservar a empresa. Além disso, a pesquisadora, também se responsabiliza juntamente com seu orientador em garantir a integridade da instituição, bem como comprometendo- se a utilizar os dados, **exclusivamente para os fins científicos**, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Agradecemos desde já!  
Atenciosamente.

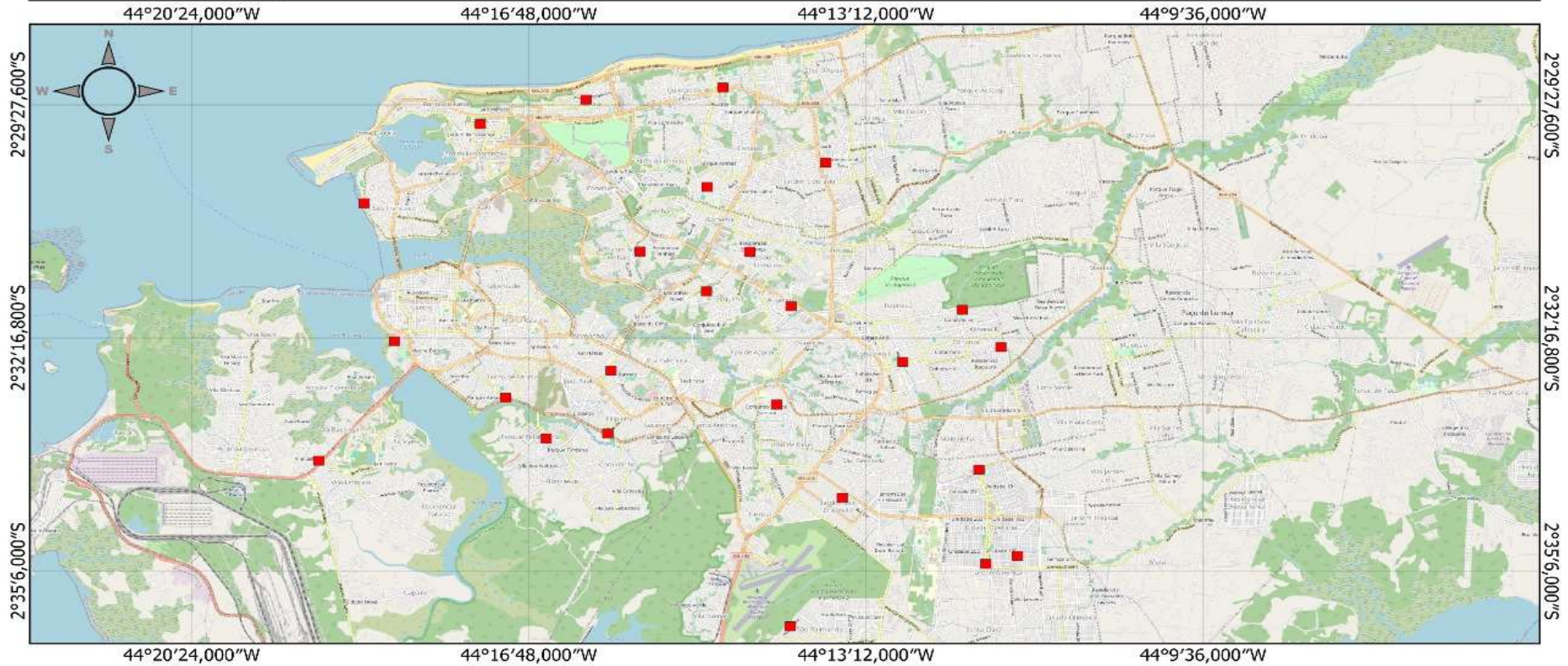
Documento assinado digitalmente  
**HARVEY ALEXANDER VILLA VELEZ**  
Data: 21/03/2024 18:42:43-0300  
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

(ORIENTADOR)

Documento assinado digitalmente  
**JENNIFER DA CRUZ AROUCHE SILVA**  
Data: 21/03/2024 17:48:35-0300  
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

(MESTRANDA)

# Mapa dos Ecopontos Localizados no Município de São Luís - MA



## Situação Geográfica



## LEGENDA

- |                            |                               |                                  |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| ■ Ecoponto Angelini        | ■ Ecoponto Bapiracó           | ■ Ecoponto Residencial Esperança |
| ■ Ecoponto Amil            | ■ Ecoponto Jardim América     | ■ Ecoponto Sacavém               |
| ■ Ecoponto Barrão          | ■ Ecoponto Mata Roma          | ■ Ecoponto São Cristóvão         |
| ■ Ecoponto Bequimão        | ■ Ecoponto Parque Amazônicos  | ■ Ecoponto São Francisco         |
| ■ Ecoponto Calhau          | ■ Ecoponto Planalto Amil I    | ■ Ecoponto São Raimundo          |
| ■ Ecoponto Centro          | ■ Ecoponto Parque dos Nobres  | ■ Ecoponto Turu                  |
| ■ Ecoponto Cidade Operária | ■ Ecoponto Primavera          | ■ Ecoponto Vila Isabel           |
| ■ Ecoponto Cohaserna       | ■ Ecoponto Recanto do Vinhais | ■ Município de São Luís          |
| ■ Ecoponto Ipen Calhau     | ■ Ecoponto Renascença         | ■ Municípios do Maranhão         |

Sistema de Coordenadas Geográficas  
DATUM SIRGAS 2000

Fonte: OSM Standard (2024); IBGE (2022); Prefeitura de São Luís (2024).

Elaboração: Jennifer da Cruz Arouche Silva

