



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

RAISSA BARRETO LINS

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO  
PLÁSTICO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB – BRASIL**

JOÃO PESSOA

2018

RAISSA BARRETO LINS

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO  
PLÁSTICO NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB – BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como  
requisito para a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Claudia Coutinho Nóbrega

JOÃO PESSOA

2018

L759a Lins, Raissa Barreto

Análise do Ciclo de Vida do Programa de Coleta Seletiva do Plástico do Município de João Pessoa/PB – Brasil./ Raissa Barreto Lins. – João Pessoa, 2018.

56f. il.:

Orientador: Prof.<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Claudia Coutinho Nóbrega.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Gestão de Resíduos Sólidos 2. Coleta Seletiva 3. Impacto Ambiental  
I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 62:711(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

RAISSA BARRETO LINS

### **AValiação DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO PLASTICO NO MUNICIO DE JOÃO PESSOA/PB- B RASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 05/02/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Claudia Coutinho Nóbrega

Claudia Coutinho Nóbrega

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

Aline Remigio

Aline Remigio  
CT/UFPB

APROVADA

Cristine Pimentel

Cristine Pimentel  
IFPB

APROVADA

Prof. Elisângela Maria Rocha Rodrigues

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Dedico este estudo a Deus pela sua infinita misericórdia. Aos meus pais, Gianna Rachel Barreto Lins e Sérgio Mario Lins Junior, que foram para mim exemplos de profissionais, amor e compreensão ao longo de toda minha vida. Ao meu irmão Sérgio Neto por toda amizade e carinho. Ao meu noivo, André Simões de Albuquerque por todo apoio e companheirismo.

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus, por ter estado ao meu lado durante toda a graduação, me dando forças e me concedendo tantas oportunidades.

Aos meus pais, Sergio Lins e Gianna Barreto, por todo investimento em minha educação e por estarem ao meu lado, sempre me apoiando e comemorando comigo cada conquista. Ao meu irmão, Sérgio Neto, por toda compreensão. A eles sou eternamente grata por todo carinho, paciência e força dada durante estes cinco anos.

Á toda minha família, em especial a minha avó, Dijane Barretto, por todo amor e por sempre torcer por mim.

Ao meu noivo, André, por toda compreensão, amor e encorajamento ao longo de toda a minha graduação.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da UFPB, em especial a querida Prof<sup>a</sup>. Claudia que me orientou durante boa parte do meu curso em pesquisas, estágios, e, neste trabalho. Por todo carinho e oportunidades dadas. As Prof<sup>as</sup>. Carmem e Elisângela, que muito contribuíram em meu aprendizado, através de suas disciplinas e trabalhos publicados juntas.

Aos meus colegas de curso do período 2012.2 por toda amizade. Aos amigos e colegas de profissão, Camila Mello, Rafael Bitu, Nayara Moreira e João Evangelista por estarem ao meu lado ao longo desses anos. A vocês, meu agradecimento e carinho.

Aos amigos do Projeto Lixão do Roger e a equipe do Projeto de Análise de Ciclo de Vida, sem a qual não teria sido possível a elaboração deste estudo, pelos conhecimentos adquiridos e bons momentos vividos. Á Aline Silva, Hozana Raquel e Wanessa Martins, pela enorme contribuição dada, por todo incentivo a academia e ensinamentos adquiridos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Autarquia de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal (EMLUR), a Universidade Jaime I (UJI), e aos núcleos de triagem do município de João Pessoa, que possibilitaram o desenvolvimento desse trabalho.

À Universidade Federal da Paraíba, por todo conhecimento adquirido e a Universidad de Granada pela inesquecível experiência.

A todos os meus amigos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, minha gratidão e amor.

## RESUMO

Com a geração desenfreada de resíduos sólidos na atualidade, a coleta seletiva surge como possível solução adequada para o montante reciclável gerado. O plástico é um material passível de reciclagem amplamente utilizado para variados fins e, por isso, sua reintrodução no processo produtivo revela-se como de grande importância econômica e ambiental. O objetivo geral deste estudo é avaliar o impacto ambiental do ciclo de vida do sistema de coleta seletiva do plástico nos núcleos de triagem do município de João Pessoa, Paraíba – Brasil. Foram considerados dados coletados junto a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR) e as associações de catadores referentes ao total de resíduos coletados no município de João Pessoa no período compreendido entre os anos de 2005 e 2015. A análise ambiental da coleta seletiva fez uso da ferramenta Análise de Ciclo de Vida (ACV) que processou dados de entrada referentes ao quantitativo de plástico coletado, consumo de água, energia e diesel com o auxílio do software SimaPro 8.01. As categorias de impactos ambientais consideradas foram a eutrofização, acidificação, redução da camada de ozônio, aquecimento global e oxidação fotoquímica nas diversas etapas do sistema de coleta seletiva existente na capital paraibana. Os resultados obtidos revelam que a eutrofização e a redução da camada de ozônio não são compensadas pelos benefícios líquidos oriundos da coleta seletiva, mesmo que de maneira pouco significativa, sendo a coleta regular a principal etapa impactante identificada. A acidificação, o aquecimento global e a oxidação fotoquímica resultaram em categorias que compensam em benefícios líquidos advindos da coleta seletiva, onde a reciclagem é a principal etapa compensatória. Verificou-se que embora o quantitativo coletado seja oscilante, a maioria dos núcleos de triagem da capital paraibana obteve significativo avanço no período considerado para estudo. Foi identificado que o resíduo plástico coletado no município é vendido aos atravessadores deste material e posteriormente revendido a empresa recicladora Petromix, situada na capital paraibana. Assim, a reciclagem deve ser realizada com um maior montante de plásticos, afim de destinar corretamente os resíduos deste tipo e reduzir os impactos ambientais oriundos do sistema de coleta seletiva como um todo.

**Palavras-chave:** Gestão de Resíduos Sólidos. Coleta Seletiva. Impacto Ambiental.

## ABSTRACT

Nowadays with the unstoppable production of solid residues, the selective waste collection appears as a possible destination for this sum produced. The plastic is a recyclable material and used in many different ways, therefore, its reintroduction in the productive process reveals its importance in the economic and environmental fields. The general goal of this present study is to evaluate the environmental impact of the life cycle of the selective collection system of plastic in the screening centers of the city of João Pessoa, Paraíba - Brazil. It was considered data collected from the Special Municipal Urban Cleaning Autarchy (EMLUR) and also with the associations of recyclable material collectors as regards to the total of residues collected in the city of João Pessoa, in the period between 2005 to 2015. It was verified that although the quantitative is oscillating, the most screening centers in the Paraíba state capital obtained significant progress in the considered period for research. The environmental analysis of the selective waste collection made use of the tool Life Cycle Analysis (LCA) which processed input data regarding the quantitative aspect of plastic collected, water consumption, energy and diesel with the aid of SimaPro 8.01 software. The categories of environmental impact considered were the eutrophication, acidification, reduction of the ozone layer, global warming and photochemical oxidation in the various stages of the selective waste collection system in the capital of Paraíba. The results obtained reveal that the eutrophication and the reduction of the ozone layer are not compensated by the net benefits from the selective waste collection, even if not significant, being the regular selective waste collection the main impacting stage identified. The acidification, the global warming and the photochemical oxidation resulted in categories that compensate for the net benefits of selective waste collection, where recycling is the main compensatory step. It was identified that the plastic waste collected in the city is sold by the middlemen of this material and later resold to the recycling company Petromix, located in the capital of Paraíba. Thus, the recycling should be made with a larger amount of plastic, in order to allocate properly the waste of this type and reduce the environmental impacts from the selective waste collection system as a whole.

**Key words:** Solid Waste Management, Selective Collection, Environmental Impact.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Municípios com coleta seletiva no Brasil .....	19
<b>Figura 2</b> – Projeto coleta seletiva porta a porta .....	21
<b>Figura 3</b> – Localização dos núcleos de coleta seletiva. ....	22
<b>Figura 4</b> – Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida.....	27
<b>Figura 5</b> – Núcleo de Triagem do Bessa .....	32
<b>Figura 6</b> – Núcleo de Triagem do Cabo Branco .....	34
<b>Figura 7</b> – Núcleo de Triagem do Bairro dos Estados ou Treze de Maio .....	35
<b>Figura 8</b> – Núcleo de Triagem do Caic. ....	37
<b>Figura 9</b> – Núcleo de Triagem de Mangabeira .....	38
<b>Figura 10</b> – Central de Triagem do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.....	39
<b>Figura 11</b> – Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos no Município de João Pessoa .....	42
<b>Figura 12</b> – Preparação de materiais nos núcleos de triagem antes de sua venda aos atravessadores.....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Gravimetria dos Resíduos Sólidos de João Pessoa em 2011.....	25
<b>Gráfico 2</b> – Gravimetria dos Resíduos Sólidos de João Pessoa em 2016.....	25
<b>Gráfico 3</b> – Total de resíduos recicláveis coletados no período de 2005 a 2015.....	41
<b>Gráfico 4</b> – Contribuição líquida para a categoria de impacto eutrofização. ....	45
<b>Gráfico 5</b> – Contribuição líquida para a categoria de impacto acidificação. ....	47
<b>Gráfico 6</b> – Contribuição líquida para a categoria de impacto aquecimento global.....	47
<b>Gráfico 7</b> – Contribuição líquida para a categoria de impacto destruição da camada de ozônio. ....	48
<b>Gráfico 8</b> – Contribuição líquida para a categoria de impacto oxidação fotoquímica .....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Número de Associados por Núcleo de Coleta .....	23
<b>Tabela 2</b> – Evolução da coleta seletiva porta a porta do município de João Pessoa .....	24
<b>Tabela 3</b> – Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Bessa, período de 2005 a 2015. ....	33
<b>Tabela 4</b> – Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Cabo Branco .....	35
<b>Tabela 5</b> – Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Bairro dos Estados..	36
<b>Tabela 6</b> – Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Caic .....	37
<b>Tabela 7</b> – Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem de Mangabeira .....	39
<b>Tabela 8</b> – Quantitativo de resíduos coletados pela Central de Triagem .....	40
<b>Tabela 9</b> – Etapas Analisadas pelo ACV .....	43
<b>Tabela 10</b> – Consumos de eletricidade, água e diesel.....	44

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Análise de Ciclo De Vida
ASCARE - JP	Associação dos Catadores de Recicláveis de João Pessoa
ASMJP	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
ASTRAMARE	Associação dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CFC's	Clorofluorcarbonos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
EMLUR	Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de Ciclo de Vida (ICV)
PEV'S	Postos de Entrega Voluntária
PMGIRS - JP	Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos de João Pessoa
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
	<b>1.1 PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>14</b>
	<b>1.2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>14</b>
	<b>1.3 OBJETO DE PESQUISA .....</b>	<b>15</b>
	<b>1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA .....</b>	<b>15</b>
	<b>1.4.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
	<b>1.4.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
	<b>2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
	<b>2.2 GESTÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL .....</b>	<b>18</b>
	<b>2.3 COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA .....</b>	<b>20</b>
	<b>2.4 PLÁSTICO .....</b>	<b>26</b>
	<b>2.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV).....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
	<b>4.1 NÚCLEOS DE COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA E QUANTITATIVOS COMERCIALIZADOS .....</b>	<b>31</b>
	<b>4.1.1 Núcleo de Triagem do Bessa.....</b>	<b>32</b>
	<b>4.1.2 Núcleo de Triagem do Cabo Branco.....</b>	<b>33</b>
	<b>4.1.3 Núcleo de Triagem do Bairro dos Estados .....</b>	<b>35</b>
	<b>4.1.4 Núcleo de Triagem do Caic.....</b>	<b>36</b>
	<b>4.1.5 Núcleo de Triagem de Mangabeira.....</b>	<b>38</b>
	<b>4.1.6 Central de Triagem do Aterro Sanitário de João Pessoa .....</b>	<b>39</b>
	<b>4.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....</b>	<b>41</b>
	<b>4.2.1 Eutrofização .....</b>	<b>45</b>
	<b>4.2.2 Acidificação.....</b>	<b>46</b>

4.2.3 Aquecimento Global.....	47
4.2.4 Destruição da Camada de Ozônio.....	48
4.2.5 Oxidação Fotoquímica .....	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS .....	51

## SUMÁRIO

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao estilo de vida adotado pela sociedade consumista da atualidade, o montante de resíduos sólidos oriundos da obsolescência dos produtos é cada vez maior. Neste cenário, a busca pelo equilíbrio entre a elevada produção de resíduos sólidos e a sustentabilidade revela-se como uma situação de considerável complexidade.

A situação é significativamente mais complicada quando se consideram os centros urbanos. Nestes locais onde a densidade demográfica é maior, a grande produção de resíduos ultrapassa os limites de acomodação disponíveis na atualidade, fazendo com que se busque medidas cada vez mais onerosas (SILVA et al., 2014). Em meio a toda essa problemática, tem-se uma grande parcela da população considera os resíduos sólidos como algo indesejado e sem valor e, por isso, destina-os ao acaso, gerando prejuízos sociais, econômicos, ambientais e sanitários.

O programa de coleta seletiva é um sistema que objetiva a destinação correta dos resíduos sólidos e, para isso, envolve vários atores de maneira direta ou indireta. Dentre os participantes inseridos diretamente estão os catadores de resíduos domiciliares, a Prefeitura do Município (através de sua empresa de limpeza urbana), os sucateiros e a indústria recicladora, e, indiretamente, os envolvidos são o meio ambiente e a sociedade, sendo o primeiro afetado por vários aspectos, entre os quais os insumos empregados na fabricação de produtos recicláveis (energia, água e matéria prima) e os impactos provocados pela disposição dos resíduos em aterros ou lixões (NÓBREGA, 2003).

Embora a coleta seletiva de materiais recicláveis revele-se como uma maneira eficaz de reincorporar esses resíduos no setor produtivo, a adesão popular a este sistema ainda é pequena e amplamente questionada diante de sua viabilidade econômica e, se sua contribuição social e minimização dos impactos ambientais sobrepõem seus custos.

Em agosto de 2010, foi implantada a Lei Nº 12.305 denominada de Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Esta, representou um importante impulso para a tomada de decisões importantes em relação a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, o que ocasionaria uma significativa melhora no âmbito da Gestão de Resíduos e um maior incentivo para a realização da coleta seletiva (SILVA, 2014). É importante destacar que a partir da lei supracitada, uma parte dos municípios brasileiros tomou medidas como a desativação de lixões, sua posterior substituição por aterros sanitários e, passou a apoiar ou manter cooperativas e/ou associações de catadores.

Considerando-se que o plástico é um material reciclável amplamente gerado pela população do município de João Pessoa, o presente estudo busca analisar o ciclo de vida do sistema de coleta seletiva do referido material, analisando os impactos positivos e negativos gerados.

## **1.1 Problemática**

A geração de resíduos sólidos no Brasil cresce desenfreadamente. Segundo dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), calcula-se que considerando um período de 10 anos, a população brasileira aumentou o equivalente a 12%, enquanto os resíduos produzidos pela mesma sofreram um crescimento de 90% (ABRELPE,2013). Embora exista este aumento significativo, a porcentagem de resíduos sólidos incorporados aos sistemas de coleta seletiva formais ainda é muito baixa, fazendo com que grande parte do montante produzido seja destinado aos lixões ou aterros sanitários do país.

No município de João Pessoa, em 2013, estimou-se que menos de 2% do total de resíduos produzidos pela população foram encaminhados para o programa de coleta seletiva formal (GARCIA et al., 2015). Diante deste quadro de evidente deficiência no sistema, a promoção de estudos que visem o entendimento mais profundo da identificação dos impactos ambientais ao longo de todo ciclo de vida do programa de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares torna-se necessária, a fim de auxiliar no melhor entendimento da situação e na tomada de decisões no âmbito dos resíduos sólidos. Diante do cenário em questão, torna-se possível analisar os impactos ambientais associados ao programa de coleta seletiva do plástico e responder a questionamentos como: A implantação da coleta seletiva do plástico em João Pessoa compensa os impactos ambientais gerados por esta prática?

## **1.2 Justificativa**

A coleta seletiva deve contribuir para redução do montante de resíduos sólidos destinados ao aterro sanitário, aumentando assim sua vida útil. Porém, contradizendo a eficácia deste processo, tem-se uma realidade em que apenas uma pequena parcela dos resíduos produzidos é contemplada por esse serviço.



A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010) representa um marco de uma série de avanços na adoção de novas práticas na dinâmica da gestão de resíduos, assim como da coleta seletiva, porém ainda possui resultados inferiores ao desejado.

Segundo Nóbrega (2003), os resíduos potencialmente recicláveis representam mais de 26% do total produzido. Fonseca (2011), relata que o total de resíduos atendidos pela coleta seletiva no município de João Pessoa em 2010 foi superior a 230.000 Kg, ou seja, apenas 1,5% do total domiciliar produzido. Nesse caso, o estudo do montante de plástico atendido pelo serviço da coleta seletiva serve como modelo representativo do cenário visto na atualidade.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental muito utilizada na análise de objetos e produtos. Porém, neste caso, estuda-se o processo de coleta seletiva como um todo. Segundo a ISO 14040, esta avaliação passa por quatro etapas: a primeira é a definição do objetivo e âmbito do estudo; a segunda etapa consiste na análise do inventário (coleta de dados referente à energia, água, máquinas em geral, que neste caso, é pago pela prefeitura); na terceira e na quarta etapa há o levantamento dos impactos positivos e negativos gerados pelo local em estudo e, posterior avaliação dos resultados já obtidos.

Através dos resultados obtidos, este trabalho busca contribuir para o estudo da gestão de resíduos sólidos no município de João Pessoa, enfatizando-se o programa de coleta seletiva existente. Mais estritamente, o estudo visa realizar uma análise do impacto ambiental do ciclo de vida do plástico recebido pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa no período de 2005 a 2015, elencando os impactos positivos e negativos e, assim questionar a viabilidade deste processo.

### **1.3 Objeto de Pesquisa**

Coleta Seletiva do plástico no município de João Pessoa.

### **1.4 Objetivos da Pesquisa**

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Analisar o impacto ambiental do ciclo de vida do sistema de coleta seletiva do plástico nos núcleos de triagem do município de João Pessoa, Paraíba – Brasil.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Levantar dados quantitativos da coleta seletiva de materiais recicláveis nos núcleos de triagem do município de João Pessoa, junto a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR) e as associações de catadores no período de 2005 a 2015.
- Avaliar os impactos ambientais relacionados a eutrofização, acidificação, aquecimento global, destruição da camada de ozônio e oxidação fotoquímica relacionados à coleta seletiva do plástico.
- Estudar a viabilidade da coleta seletiva do plástico sob o ponto de vista ambiental.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Resíduos Sólidos: definição e caracterização**

A geração de resíduos sólidos é um fator inerente as atividades humanas. Pode-se afirmar que embora a produção de resíduos sempre tenha ocorrido, tem sido intensificada com a urbanização e com o consumismo desenfreado dos últimos anos.

Segundo a Lei Nº 12.305/2010, considera-se resíduo todo material, substância, objeto ou bem descartado gerado a partir de atividades humanas. A referida lei considera como resíduos aqueles nos estados sólido ou semissólido, os gases contidos em recipientes e líquidos, cujas características tornem inviável o seu lançamento em corpos d'água ou na rede pública de esgotos, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos considera o termo rejeito como a parte restrita dos resíduos sólidos, a qual após o esgotamento de todas as possibilidades de tratamento e recuperação, possuem como opção última a sua disposição final ambientalmente adequada.

Embora a Lei Nº 12.305/2010 trate dos resíduos sólidos de maneira geral, muitas são as classificações que podem ser consideradas nesta temática, visto que existem uma ampla variedade de atividades humanas que produzem estes de maneira contínua.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT Nº 10.004 os resíduos são classificados de acordo com o grau de periculosidade que os mesmos oferecem, sendo este fator dependente de propriedades como inflamabilidade, corrosividade, toxicidade ou patogenicidade. Assim, os resíduos passam a ser definidos como perigosos (Classe I) ou não perigosos (Classe II), sendo este último dividido em não inertes (Classe IIA) e inertes (Classe IIB).

O termo resíduos sólidos abrange substâncias ou materiais originados das mais diversas fontes e, por isso, este pode ser outro critério de classificação utilizado. Segundo a ABNT-NBR 10.004 (2204), de acordo com sua origem, os resíduos podem ser classificados em residencial, comercial, industrial, especial, público, serviços de saúde, entre outros. Além disso, as diferentes origens influenciam na composição do resíduo considerado.

Segundo o Manual Operacional das CEASAS do Brasil (2011), os resíduos sólidos também podem ser classificados de acordo com a sua natureza física (secos ou molhados) e de acordo com a sua composição química (matéria orgânica ou matéria inorgânica).

A caracterização e quantificação dos resíduos tem como objetivo auxiliar na gestão através do entendimento dos tratamentos aplicáveis para redução do montante considerado finalmente como rejeito.

## **2.2 Gestão e Geração de Resíduos Sólidos no Brasil**

A gestão adequada de resíduos sólidos é um processo complexo e que envolve a participação de uma série de atores do sistema. O fato da geração de resíduos ocorrer continuamente nos mais diversos âmbitos da sociedade e da grande variedade de resíduos produzidos, dificultam sua destinação adequada. A Política Nacional de Resíduos Sólidos define a coleta seletiva como a atividade em que os resíduos sólidos são previamente segregados conforme sua constituição ou composição, sendo assim, este conceito torna-se apropriado para o auxílio na gestão e geração de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2016 foram coletadas cerca de 71,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos em todo o território brasileiro (ABRELPE, 2017). Esta crescente quantidade ocorre devido ao aumento do consumismo brasileiro e ao crescimento econômico do país. Para a Associação supracitada, comparando-se os dados relacionados a geração de resíduos no Brasil em anos anteriores, nota-se um considerável aumento, fato que confirma a afirmativa anteriormente citadas referente ao aumento considerável do consumismo no território brasileiro.

Para Laurent et al. (2014) é evidente a íntima relação entre o consumismo e a geração de resíduos e, por isso, o aumento do primeiro exige que a população geradora destes materiais, busquem soluções práticas e coerentes, mudanças de hábitos e modelos de gestão que se assemelhem a uma sociedade ambientalmente sustentável, capaz de reverter este quadro.

O grande montante de resíduos gerados divide-se em três grandes grupos: compostáveis, recicláveis e não recicláveis. Entende-se como resíduos compostáveis aqueles constituídos principalmente por matéria orgânica e, com isso, os impactos ambientais gerados quanto as emissões de gases do efeito estufa podem ser minimizados. Considera-se que 51,4% dos resíduos brasileiros são deste tipo, ou seja, mais da metade do total gerado (BRASIL, 2011), o que torna evidente a necessidade de um tratamento adequado para esta parcela em questão.

Os materiais recicláveis envolvem aqueles resíduos que podem ser reintroduzidos no ciclo de produção de onde saiu com substituição total ou parcial de uma matéria-prima nova.

A finalidade deste aproveitamento é aumentar a vida útil de aterros, minimizando assim custos inclusive de energia, água e matéria-prima. Dentre os materiais recicláveis mais encontrados estão o papel, o plástico, o metal e o vidro, sendo estes reaproveitados em muitos locais. Em contrapartida, os resíduos não-recicláveis são aqueles que não estão inseridos nas duas divisões supracitadas, sendo estes compostos por rejeitos (ver item 2.1) que devem ser destinados aos aterros sanitários.

Tendo em vista a grande quantidade de resíduos gerados na atualidade, a sua correta gestão torna-se evidente para o bom funcionamento do sistema, sendo necessário, para isso, a divisão correta dos resíduos e o encaminhamento da menor quantidade possível aos aterros sanitários. De acordo com o Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE (2016), cerca de 18% dos municípios brasileiros possuem o serviço da coleta seletiva, totalizando o equivalente a 1055 cidades atendidas, vale ressaltar que este serviço é pontual, não atendendo a área total do município. Como exposto na Figura 01, os valores desta mesma pesquisa em anos anteriores constataram que o Brasil se encontra em progresso na temática considerada.

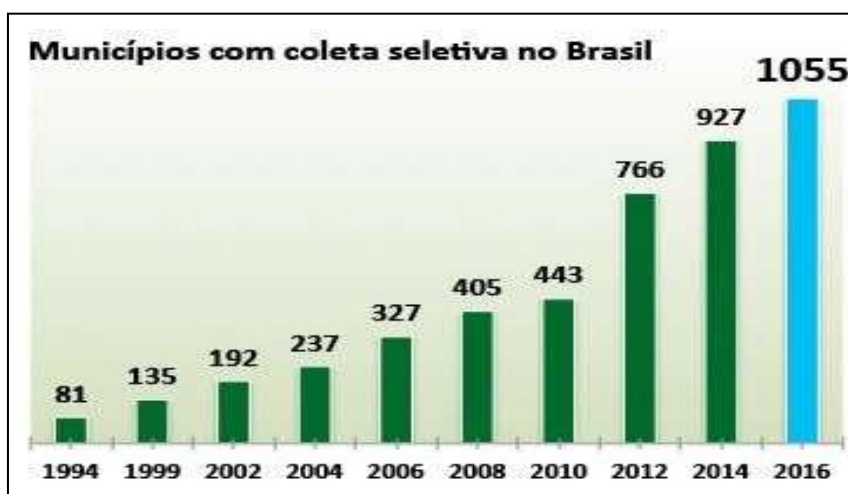


Figura 01: Municípios com coleta seletiva no Brasil

Fonte: CEMPRE, 2016

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS - (Lei Nº 12.305/2010) possui um relevante papel na melhoria da gestão de resíduos vista no Brasil nos últimos anos. Esta política estipulou prazos para a substituição de lixões por aterros sanitários, estimulou o crescimento da coleta seletiva no país, entre outras medidas. Porém, é importante ressaltar que devido a sua extensão, o Brasil possui uma grande diferença de cenários ao longo de seu território, o que acarreta em dificuldades de colocar em prática uma legislação generalista que busca tratar todo o país da mesma maneira (SILVA, 2014).

### 2.3 Coleta Seletiva do Município de João Pessoa

A região nordestina é responsável por abrigar cerca de 28% da população total brasileira (IBGE, 2010), sendo o município de João Pessoa uma das capitais que estão inseridas nesta porcentagem. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) estima que a capital paraibana possui 811.598 habitantes, no ano de 2017, valor este que revela o grande crescimento da área em questão.

De acordo com Nóbrega (2003), a problemática de resíduos em João Pessoa é caracterizada por sucessivas mudanças em seu cenário, onde a disposição final de seus resíduos foi inicialmente realizada no Lixão de São Miguel, sucedido pelo lixão denominado “Batatão” (1958) e, por fim, no chamado Lixão do Roger. Em 2003, ano de desativação do lixão supracitado, os resíduos passaram a ser dispostos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) e iniciou-se o processo de recuperação ambiental da área degradada antes ocupada pelo Lixão.

Para a Autarquia Municipal de Limpeza Urbana de João Pessoa-EMLUR, responsável pelo serviço de limpeza urbana na capital paraibana, a substituição do lixão pelo Aterro Sanitário atende as medidas propostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS - posteriormente implementada. O Aterro Sanitário de João Pessoa recebe os resíduos da capital e de outros municípios circunvizinhos como Bayeux, Cabedelo, Conde, Santa Rita e Alhandra (entre os anos 2013 a 2016). Sabe-se que o seu período de vida útil previsto é de 20 anos (EMLUR, 2008).

Em paralelo com algumas das mudanças supracitadas, foi implantado o programa de coleta seletiva no município de João Pessoa. As medidas acerca da temática iniciaram-se no ano de 1997 com a distribuição de pontos de entrega voluntária (PEV's) em diversos locais da capital, porém, mesmo com o investimento inicial, o programa não obteve o sucesso esperado devido a divulgação insatisfatória e pela baixa participação popular. Anos depois, em 2000, foi iniciado o projeto piloto de coleta seletiva porta a porta (Figura 02), que contemplava inicialmente os bairros de Tambaú, Cabo Branco, Miramar e parte de Manaíra, porém, atualmente, a área de abrangência é superior a inicial. A tentativa obteve relevante êxito e deu origem as associações formadas principalmente por catadores do antigo Lixão, que após sua desativação foram relocados para este serviço (NÓBREGA, 2003).



Figura 02: Projeto coleta seletiva porta a porta

Fonte: Nóbrega, 2003

Como mostrado na Figura 03, no município há sete (07) núcleos de triagem e uma central de triagem (CT) estando esses sob responsabilidade de quatro (04) associações de catadores de resíduos: Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (ASTRAMARE), Associação de Catadores de Resíduos de João Pessoa (ASCARE/JP), o Acordo Verde e Cata Jampa.

Os bairros atendidos pela coleta seletiva na capital paraibana são: Aeroclube, Altiplano, Anatólia, Bancários, Cabo Branco, Estados, Ipês, Jardim Cidade Universitária, Jardim Oceania, Manaíra, Mandacaru, Mangabeira, Miramar, Pedro Gondim, Tambaú, Torre e Treze de Maio (PMGIRS-JP, 2014)

Segundo Bovea et al (2018), considerando os bairros supracitados, o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa atende a 80.722 domicílios. De acordo com os dados do IBGE (2010), esse valor corresponde a aproximadamente 0,3% dos domicílios da capital paraibana.

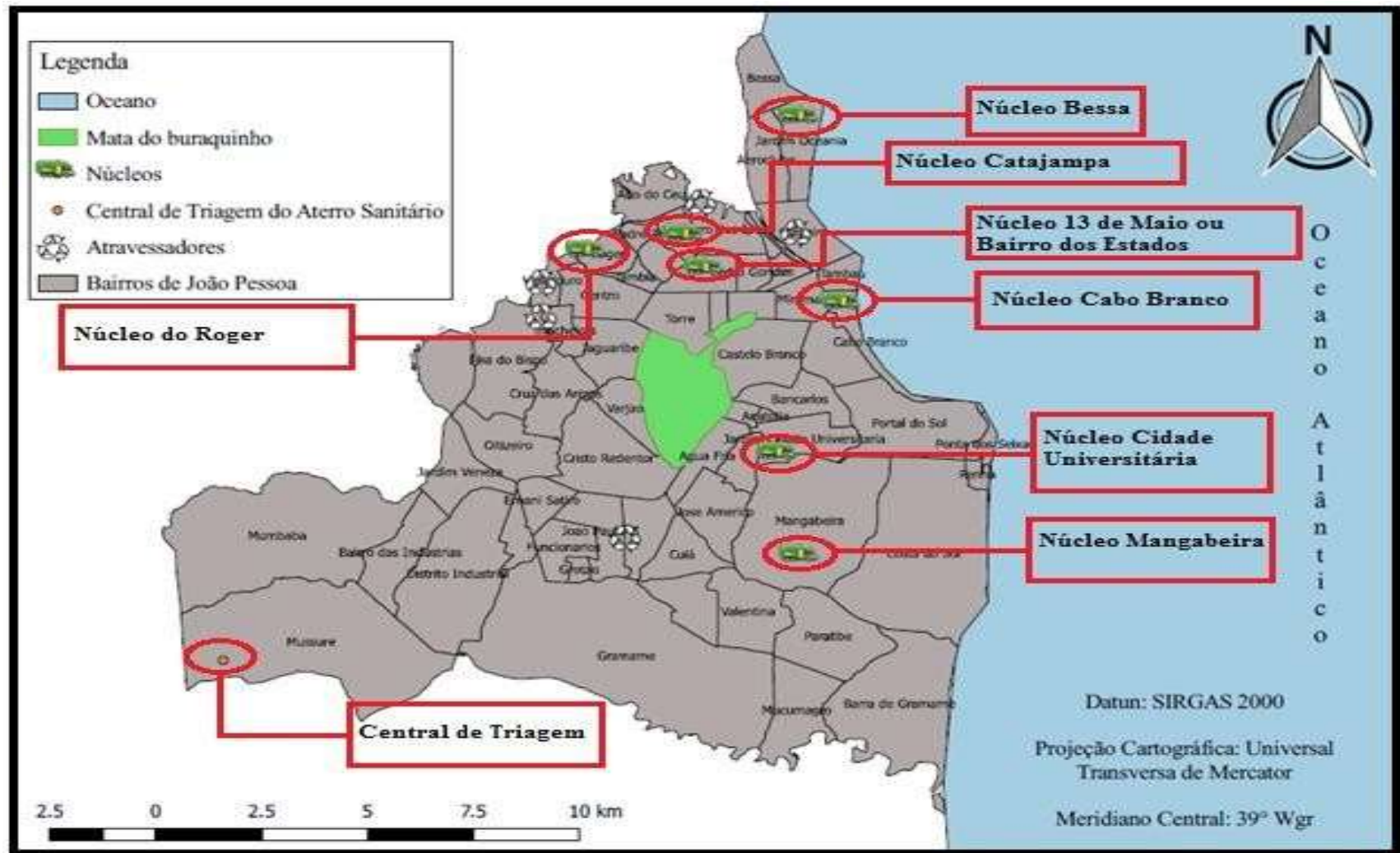


Figura 03: Localização dos núcleos de coleta seletiva.

Fonte: Martins, 2017



Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (2014), as associações estão distribuídas em sete (07) núcleos de coleta seletiva (Bessa, Mangabeira, Jardim Cidade Universitária, Roger, Bairro dos Estados, Cabo Branco e uma central de triagem, localizada próximo ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa), que somam o total de 169 associados responsáveis por atender 18 bairros da capital paraibana com seu serviço. As associações dividem responsabilidades entre os núcleos existentes no município de João Pessoa e a EMLUR apoia como responsável pela gestão geral de resíduos da capital (Tabela 01).

Tabela 01: Número de Associados por Núcleo de Coleta.

<b>Núcleos de Coleta</b>	<b>Número de Associados</b>
Núcleo de Coleta do Bessa	11
Núcleo de Coleta do Cabo Branco	12
Núcleo de Coleta de Mangabeira	18
Núcleo de Coleta do Jardim Cidade Universitária	16
Central de Triagem do Aterro Sanitário	85
Núcleo de Coleta do Bairro dos Estados	11
Núcleo de Coleta do Roger	10
Catajampa	6
<b>Total</b>	<b>169</b>

Fonte: Município de João Pessoa, 2014.

O Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (2014), divide a destinação dada aos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa a depender de sua origem ou conteúdo, podendo esta ser advinda de poda, construções civis, domicílios, comércios, entre outros. Segundo o PMGRS em questão, a parcela reciclável de resíduos deve ser encaminhada para os núcleos de coleta seletiva anteriormente citados para que seja dada a destinação correta destes. Para a EMLUR (2015) aproximadamente, 5,1% da área municipal de João Pessoa possui cobertura de coleta seletiva, possibilitando que cerca de 30% da população total do município de João Pessoa seja contemplada com o serviço oferecido.

Silva (2014) analisou a produção anual de resíduos recicláveis entre o mês de setembro de 2000 e meados de 2014 e, com isso, constatou-se que o quantitativo coletado foi crescente e, que o aumento dos resíduos segregados reflete na maior cobertura da coleta e maior divulgação das ações. Segundo a referida autora, a EMLUR pretende instalar mais três (03) núcleos de coleta seletiva nos bairros de Valentina, Geisel e Boa Esperança e, com isso, irá possibilitar a cobertura de quase 50% dos bairros da capital paraibana.

Para Bovea *et al.* (2012), a coleta seletiva porta a porta no município de João Pessoa está em contínuo crescimento desde sua implantação no ano de 2003. Os autores estimam que em 2010 cerca de 22,36% da população pessoense era servida pelo serviço prestado pela EMLUR, sendo a coleta porta a porta a responsável por 1,50% do total produzido. Em estudo da evolução do quadro municipal, as autoras estimam que em 2020 a população atendida pelo serviço de coleta seletiva oferecido pela EMLUR será de 27,41% (Tabela 02).

Tabela 02: Evolução da coleta seletiva porta a porta do município de João Pessoa

ANO	BAIRRO	DOMICILIOS ATENDIDOS	POPULAÇÃO SERVIDA (%)	COLETA SELETIVA PORTA A PORTA
2003	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar	13.975	5,78%	0,50%
2010	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar, Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio, Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania, Altiplano, Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Mangabeira	54.100	22,36%	1,50%
2020*	Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Miramar, Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio, Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania, Altiplano, Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária, Mangabeira, Valentina, Centro, Expedicionários, Jardim Luna, Cruz das Armas	66.300	27,41%	5%

\*Estimado

Fonte: Bovea *et al.*, 2012

Segundo Pimentel (2017), no ano de 2011 os resíduos sólidos do município de João Pessoa eram compostos majoritariamente por 35,75% de massa orgânica, 14,80% de Resíduos Verde e 14,44% de Plásticos (Gráfico 01). Além disso, materiais como papelões, papéis, tecidos, vidros e metais também são comumente encontrados. A referida autora também relata que no mesmo ano, 21% dos resíduos do município eram de composição reciclável.

De acordo com a EMLUR, a parcela de resíduos que não é atendida pela coleta seletiva do município de João Pessoa é coletada por empresas prestadoras de serviços. Em

relação a coleta domiciliar, a EMLUR relata que as três principais empresas responsáveis são a Marquise S/A, a Revita Engenharia e a Ambiental Soluções Ltda, sendo estas responsáveis por setores determinados da capital. Além disso, a referida Autarquia afirma que o município possui ao todo, cerca de 50 empresas que são cadastradas para coleta de resíduos sólidos diversos.

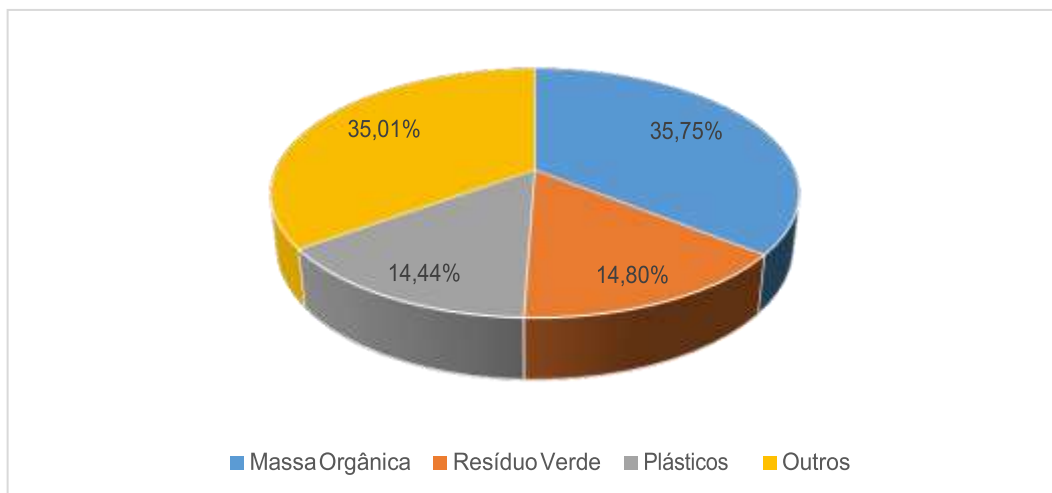


Gráfico 01: Gravimetria dos Resíduos Sólidos de João Pessoa em 2011.

Fonte: Adaptado Pimentel, 2017

Em uma nova gravimetria realizada na capital paraibana no ano de 2016 (Gráfico 02), constatou-se que os percentuais de resíduos referentes a massa orgânica reduziram para 33%, enquanto os Resíduos Verde subiram para 16% (totalizando 49% de material orgânico). Quanto aos recicláveis, houve uma redução de 0,4% no intervalo considerado, ressaltando-se a redução dos plásticos de 14,44% para 10% (PIMENTEL, 2017).

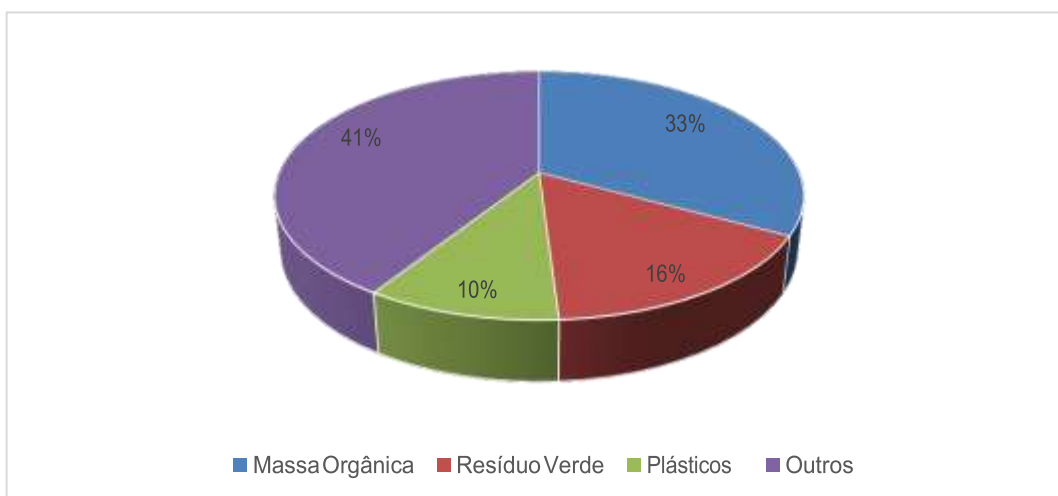


Gráfico 02 - Gravimetria dos Resíduos Sólidos de João Pessoa em 2016.

Fonte: Adaptado Pimentel, 2017

Em um levantamento feito no ano de 2014 pela EMLUR, verificou-se que a geração dos resíduos por habitante da capital paraibana corresponde a uma taxa de 0,94 kg/hab.dia.

## 2.4 Plástico

Os materiais macromoleculares que podem ser moldados por ação de calor e/ou pressão podem ser chamados popularmente como plásticos (ANDRADE et al., 2001), sendo estes classificados de acordo com sua fusibilidade em termoplásticos e termorrígidos.

Segundo estudos desenvolvidos pelo Núcleo de Reciclagem de Resíduos da UFSCar (1999), os plásticos representam uma considerável parcela dos resíduos sólidos urbanos - RSU, sendo aqueles em forma de filme (sem limpeza) componentes de aproximadamente 20% em volume e 8% em massa no resíduo urbano gerada. Além disso, para Oliveira et al (2012) outro dado considerado significativo nesta temática é o fato da população brasileira consumir em média 19 quilos de sacolas plásticas por ano evidenciando ainda mais o uso desenfreado deste material.

Embora o consumo destes poliméricos seja crescente, estudos realizados pela ABRELPE (2013) revelam que a reciclagem do plástico tem aumentado nos últimos anos, assim como a do alumínio e do papel. Isto ocorre devido ao fato de grande parte deste material (principalmente os termoplásticos) ser potencialmente reciclável e, poder ser reinserido na prestação de serviços através desta prática, contribuindo para a economia de recursos naturais não renováveis (petróleo) e reduzindo o seu quantitativo disposto indevidamente. Contudo, a parcela reciclável deste material é composta majoritariamente pelos plásticos rígidos, já que aqueles em formato de filme se encontram muito sujos e contaminados, exigindo uma etapa de limpeza mais complexa que na maioria das vezes não é viável.

No município de João Pessoa a quantidade de matéria orgânica e resíduos verdes correspondem a 51%, enquanto que a fração correspondente ao plástico é de 14% em massa. (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014). Segundo a EMLUR (2016), no período compreendido entre 2005 e 2015, os núcleos da capital paraibana receberam 10.668.259 T de plásticos para reciclagem, valor que ratifica a grande relevância no estudo do plástico como o material de frequente identificação na gestão dos resíduos sólidos urbanos – RSU - a nível nacional e local.

## 2.5 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A ISO 14.040 de 2009, afirma que a Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um produto ou processo estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

A ferramenta ACV auxilia no entendimento detalhado de um determinado processo ou atividade, possibilitando assim sua análise nas variadas etapas (ciclo de vida). No âmbito ambiental a Análise do Ciclo de Vida pode ser usada para a verificação de possíveis impactos ambientais advindos de processos ou atividades.

A mesma norma lista os princípios, a estrutura e define que o processo de Análise do Ciclo de Vida deve ser organizado em quatro fases norteadoras, sendo a definição de objetivos e âmbito, a análise de inventário, a análise de impacto e interpretação dos resultados obtidos (Figura 04). Sendo assim, as aplicações diretas dadas a esta ferramenta são no desenvolvimento e melhoramento do produto, planejamento estratégico, política governamental, marketing, entre outras.

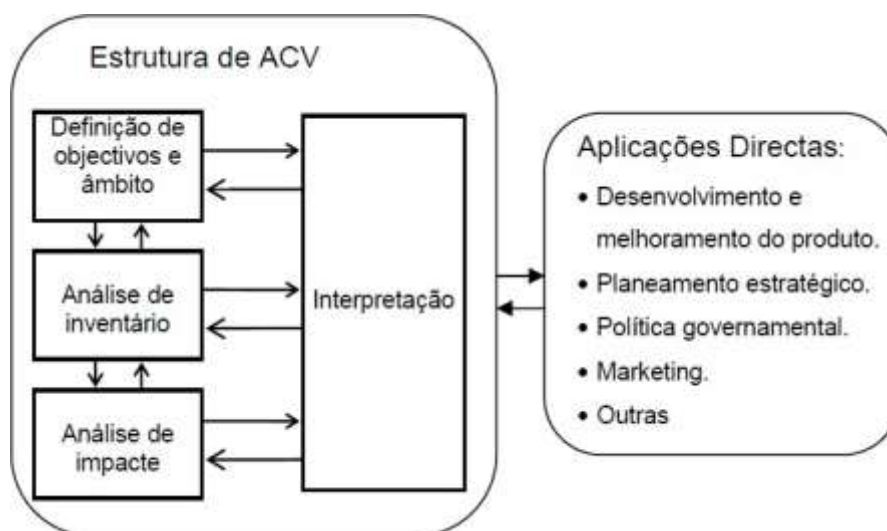


Figura 04: Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida

Fonte: ISO 14040, 2009

Além da norma supracitada, a Associação Brasileira de Normas Técnicas possui uma segunda norma (NBR ISO 14044:2009) que trata sobre a ACV do ponto de vista de seus requisitos e orientações.

A utilização da ferramenta em questão teve início na década de 1980, com o surgimento da gestão preventiva de desenvolvimento de técnicas e metodologias que consideram o âmbito ambiental para a tomada de decisões e medidas preventivas em grande parte dos países do mundo (MAGRINI, 2004). Segundo Fullana Puig (1997), a motivação para a preocupação nesta época ocorre devido à crise do petróleo e o consequente impacto gerado com o meio ambiente devido a esta.

Para Duarte (1997), a avaliação deve incluir todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, incluindo extração e processamento de matérias-primas; fabricação, uso/reuso/manutenção; reciclagem e; disposição final com o objetivo de responder corretamente as questões ambientais em cada uma destas, diminuindo a degradação e realizando um melhor aproveitamento dos materiais. Além disso, a ACV permite a identificação das etapas de um sistema que contribuem, mais significativamente, para determinados impactos ambientais do ciclo de vida do processo ou produto em análise (COLTRO, 2007).

Segundo Klöpffer (2006), a ACV deve ser considerada como uma metodologia ampla e eficiente que possui a capacidade de integrar temas como estrutura, avaliação de impacto e qualidade dos dados.

Na literatura internacional e nacional existem diversos autores (Bovea et. al, (2012), Ferreira, et. al., (2014), Ojeda, Llamas, (2015)) que fazem uso da ferramenta em questão para simular os mais diversos cenários. O objetivo destes estudos é atingir a situação mais viável nos pontos de vista ambiental, social e/ou econômico a partir de resultados quantitativos, facilitando o entendimento do problema e influenciando no processo de decisão do panorama adequado.

Considerando-se a ACV como uma metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais atribuídos ao ciclo de vida, De FEO et al (2005) indicam que a ferramenta em questão é apropriada para aplicação em um sistema de gestão de resíduos sólidos, indicando como dado de entrada a quantidade de resíduos produzidos por um município e, como saída, a emissão de poluentes no meio advinda do referido processo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As unidades empíricas de referência consideradas para elaboração deste trabalho foram os núcleos de coleta seletiva do município de João Pessoa: Cabo Branco, Bessa, Caic, Estados, Mangabeira e Central de Triagem. Segundo a EMLUR (2017), como citado anteriormente, a coleta seletiva de João Pessoa atende aos bairros de Aeroclube, Altiplano Cabo Branco, Anatólia, Bancários, Bessa, Estados, Ipês, Cabo Branco, Jardim Oceania, Jardim Cidade Universitária, Treze de Maio, Manaíra, Mandacaru, Mangabeira, Miramar, Pedro Gondim, Tambaú e Torre.

Para o IBGE (2010), também já relatado anteriormente, o total de domicílios dos bairros atendidos, pelo Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa, é de 80.722 residências.

A pesquisa se caracteriza segundo sua finalidade como de abordagem quali-quantitativa e como de nível de aprofundamento exploratório.

A motivação para a realização do estudo parte da PNRS (2010) a qual caracteriza a ACV como uma ferramenta fundamental na gestão dos resíduos sólidos no país, já que esta é capaz de identificar os impactos ambientais gerados em cada etapa da coleta seletiva e, assim, contribuir para otimização do sistema como um todo.

Com o objetivo de alcançar os objetivos propostos neste estudo, a metodologia a ser utilizada é listada a seguir:

- Realização de pesquisas junto a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR) e das associações ASCARE/JP, ASTRAMARE e Acordo Verde situadas no município de João Pessoa. Os dados seriam obtidos a partir de visitas em campo aos locais supracitados e pesquisa documental.
- Levantamento de dados quantitativos referentes a coleta seletiva da capital paraibana no período de 2005 a 2015 através do banco de dados da EMLUR, perfazendo uma série histórica de 10 anos.
- Separação dos dados obtidos através da diferenciação por tipologia (papel, plástico, metal, vidro e borracha), por ano (2005 a 2015) e por núcleo de origem (Bessa, Cabo Branco, Bairro dos Estados, Caic, Mangabeira e Central de Triagem).
- Para a avaliação dos impactos ambientais fez-se uso do SimaPro (8.01) que foi desenvolvido pela empresa PRé Consultants e é o software mais utilizado para Análise do Ciclo de Vida (ACV). A ferramenta consiste na coleta de dados e, posterior, análise do desempenho ambiental de produtos e serviços, possibilitando a análise de uma forma sistemática e transparente através

do seguimento das recomendações da série ISO 14044 (2009). Além disso, o método de apreciação do Inventário do Ciclo de Vida utilizado neste trabalho, foi o CML-IA baseline versão 3.00/World 2000. A inserção dos dados ambientais no programa supracitado foi realizada através da parceria existente entre a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e a Universitat Jaume I (UJI).

- Como dados de entrada para o SimaPro (8.01), utilizou-se o quantitativo de resíduos vendidos obtidos (núcleos do Bessa, Cabo Branco, Bairro dos Estados, Caic, Mangabeira e Central de Triagem), os dados referentes ao consumo de eletricidade, água e diesel nas diversas etapas analisadas no processo de coleta seletiva e reciclagem.
- Como dados de saída do SimaPro (8.01), foram obtidos os resultados dos impactos gerados nas categorias de eutrofização, acidificação, aquecimento global, destruição da camada de ozônio e oxidação fotoquímica. Embora o método CML-IA baseline versão 3.00/World 2000 gere resultados de uma quantidade maior de categorias, a escolha pelas cinco listadas acima deve-se ao fato de que estes são os mais frequentes dentre a maioria dos estudos analisados (GARCIA,2015).
- Análise dos resultados obtidos para ACV, a fim de averiguar a viabilidade da coleta seletiva do material plástico sob o ponto de vista ambiental. Para isto, considerou-se o impacto gerado nas mais diversas etapas da coleta seletiva, sendo estas agrupadas em sete (07): Coleta Seletiva (CS), Coleta Regular (CR), Núcleos de Triagem (N), Central de Triagem (CT), Transporte (T), Reciclagem (R) e Aterro Sanitário (AS). É importante ressaltar que as emissões consideradas da CS, CR, N e CT são referentes apenas ao material plástico, sendo este valor obtido a partir de cálculo proporcional. Além disso, os valores referentes a etapa de Transporte não incluem os percursos realizados pela Coleta Seletiva (desde a origem até os Núcleos de Triagem) e pela Coleta Regular (desde a origem até a Central de Triagem).
- A partir dos dados obtidos para ACV, verifica-se a viabilidade ambiental da Coleta Seletiva nas mais diversas etapas para cada categoria considerada neste estudo.



## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Núcleos de Coleta Seletiva de João Pessoa e Quantitativos Comercializados.

A coleta seletiva na capital paraibana existe há mais de 15 anos e, desde então, sucessivas mudanças ocorreram no cenário em questão. Segundo a EMLUR (2016), embora a coleta seletiva de resíduos em parte dos núcleos tenha iniciado no ano de 2000, a Autarquia possui apenas registros genéricos dos quantitativos coletados nos primeiros anos de sua implantação. No período contido entre os anos 2000, 2001 e 2002, Nóbrega (2003) fornece que o montante total coletado no Núcleo do Cabo Branco (era o único existente) foi de 167.921kg, 621.961kg e 559.627kg, respectivamente. Os dados dos anos de 2003 e 2004 não foram fornecidos pela Autarquia responsável devido à ausência de dados, pois foram perdidos. É relevante recordar que até parte do ano de 2003 (agosto) os resíduos do município em questão eram dispostos no Lixão do Roger e, apenas a partir de então, passou-se a utilizar o Aterro Sanitário.

Os dados obtidos nos anos de 2005 a 2015 (Tabelas 02 a Tabela 07) pela EMLUR e, mostra o total de resíduos coletados nos núcleos da capital, separando-os em papel, plástico, vidro, metal e borracha, respectivamente. Os dados foram fornecidos em Quilogramas (Kg). Atualmente, a EMLUR reconhece a existência de sete núcleos na capital paraibana, que são os núcleos de coleta do Bessa, Cabo Branco, Mangabeira, Jardim Cidade Universitária, Bairro dos Estados, Roger, Central de Triagem do Aterro Sanitário e Catajampa (EMLUR, 2016).

Os núcleos supracitados recebem assistência da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana quanto ao pagamento de água, energia e aluguel (quando o galpão não é próprio da prefeitura), além de distribuição de almoços, fardas, manutenção nos equipamentos e transporte para a coleta dos materiais recicláveis. Assim, a renda obtida por cada núcleo deve ser diretamente direcionada a seus trabalhadores, sendo a divisão entre os catadores variável em cada associação.

O presente trabalho não considerou os dados referentes ao núcleo de triagem do Roger e ao Catajampa, devido principalmente à existência de poucas informações acerca destes dois locais.

O núcleo do Roger está sob responsabilidade da ASTRAMARE, localiza-se no bairro de mesmo nome, nas proximidades do antigo Lixão do Roger. Diferente do que ocorre nos demais núcleos, o do Roger não desempenha as mesmas funções já que este se limita ao recebimento de materiais recicláveis oriundos do setor empresarial, comercializando assim, os

materiais que chegam voluntariamente. Sendo assim, os associados do local em questão não realizam a coleta porta-a-porta.

#### **4.1.1 Núcleo de Triagem do Bessa**

O Núcleo de Triagem do Bessa está localizado na Rua Projetada S/N, próximo a Rua Nicolau de Melo, no referido bairro.

Analisando os dados fornecidos pela EMLUR (2016), no intervalo de tempo entre os anos de 2005 e 2015, a unidade de triagem do bairro do Bessa (Figura 05) teve como principal material coletado o papel (1.371.853 kg), seguido do metal (823.621 kg) e do plástico (671.606 kg). O referido núcleo realiza coleta nos bairros de Jardim Oceania, Aeroclube, parte de Manaíra e o próprio Bessa, totalizando 3.265.804T de resíduos coletados. O núcleo do Bessa está sob responsabilidade da ASCARE/JP e abrange bairros de alto poder aquisitivo na capital.



Figura 05: Núcleo de Triagem do Bessa

Fonte: Martins, 2017

Na Tabela 3, pode-se observar uma grande oscilação em quantidade de material coletado, acredita-se que há uma forte influência da divulgação dada ao assunto para a população local.

Tabela 03: Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Bessa.

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Bessa	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	71.236	84.540	128.738	130.442	72.867	10.974	90.243	87.115	171.669	303.286	220.743	1.371.853
Plástico	25.363	18.347	41.921	48.625	53.678	66.320	35.956	36.461	84.078	91.041	169.816	671.606
Vidro	61.316	40.138	6.505	15.686	38.242	21.733	10.724	13.137	7.545	129.074	35.167	379.267
Metal	25.365	16.616	24.461	31.901	33.160	47.176	34.861	33.975	291.127	179.625	105.354	823.621
Borracha	0.632	0.732	1.676	2.455	2.135	2.288	1.303	0.693	0.684	1.918	4.941	19.457
<b>Total</b>	183.912	160.373	203.301	229.109	200.082	148.491	173.087	171.381	555.103	704.944	536.021	3.265.804

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

Em análise da Tabela 03, nota-se que no ano de 2010 ocorreu uma considerável queda na comercialização do papel, passando de 72.867 Kg para 10.974 Kg, fator que pode ter sido gerado pelas mudanças no valor cobrado pela coleta deste material, gerando assim falta de interesse nos atravessadores compradores deste. O mesmo ocorreu com o vidro em 2011.

#### 4.1.2 Núcleo de Triagem do Cabo Branco

O Núcleo de Triagem do Cabo Branco situa-se na Rua Paulino Pinto, S/N, no bairro de mesmo nome.

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (2014), o núcleo do Cabo Branco (Figura 06) é responsável pela coleta dos resíduos advindos de parte de Manaíra, Altiplano, Miramar, Cabo Branco e Tambaú, sendo assim, o segundo núcleo de maior quantitativo de resíduos coletados do município, estando abaixo apenas da central de triagem. O presente núcleo, assim como o do Bessa, está sob responsabilidade da ASCARE/JP.

Martins (2017) afirma que os dois núcleos supracitados apresentam como parte de seus maquinários duas prensas, duas balanças, doze carros manuais e um elevador de carga. Além disso, ao comparar os núcleos em questão, a autora relata que o do Cabo Branco possui deficiências estruturais quando comparado ao do Bessa, já que o primeiro possui um espaço reduzido e descoberto para o armazenamento dos materiais coletados.

O núcleo em questão possui um total de doze catadores associados, sendo todos estes do sexo masculino. Quanto a suas dimensões, o núcleo do Cabo Branco destaca-se por ser um local pequeno para desempenhar a atividade a que se destina.

Na última visita feita ao local em questão, o coordenador responsável alegou que a coleta do vidro não estava mais sendo realizada por este núcleo, devido à falta de compradores

e o consequente acúmulo deste durante largos períodos. Assim, todo o montante deste material passaria a ser destinado para o núcleo do Bessa, já que este possui uma área maior para guardar este tipo de material reciclável.



Figura 06: Núcleo de Triagem do Cabo Branco

Fonte: Martins, 2017

Segundo o PMIGRS (2014), o referido núcleo possui 12 associados e dentre seus materiais coletados mais frequentes no período de 2005 a 2015 estão o papel (1.482.589 kg), o plástico (786.943 kg) e o vidro (638.662 kg), sendo este último um valor representativo quando considerado com outros núcleos da capital que alegam a inviabilidade do vidro devido à falta de empresas interessadas por este resíduo. O material denominado borracha destaca-se como de pequena quantidade ao ser comparado com os outros núcleos. Na Tabela 04 observa-se uma grande oscilação no total de resíduos deste núcleo, possuindo uma brusca queda entre os anos de 2014 e 2015 que, segundo a EMLUR (2016), deve-se à queda na participação popular.

Tabela 04: Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Cabo Branco.

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Cabo Branco	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	98.493	183.431	158.654	136.752	11.828	170.972	111.458	33.251	215.827	231.966	129.957	1.482.589
Plástico	55.074	56.797	95.509	63.066	79.829	73.320	44.435	59.441	73.252	88.742	97.477	786.943
Vidro	60.826	59.639	44.424	32.045	50.840	72.540	58.102	76.320	69.627	75.134	39.124	638.622
Metal	40.905	48.740	44.376	36.047	52.356	66.416	47.898	57.858	36.621	69.884	16.993	518.095
Borracha	1.285	1.268	1.250	1.331	1.779	1.681	1.039	1.169	0.816	1.488	2.306	15.412
<b>Total</b>	256.583	349.875	344.213	269.241	196.632	384.929	262.932	228.039	396.143	467.214	285.859	3.441.660

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

#### 4.1.3 Núcleo de Triagem do Bairro dos Estados

Para EMLUR (2016), o Bairro dos Estados ou Treze de Maio (Figura 07) possui um dos núcleos que menos realiza a coleta seletiva de maneira eficiente, coletando apenas 1.832.632 Kg ao longo dos anos em estudo. Segundo a Autarquia, o núcleo supracitado está sob responsabilidade da Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (ASTRAMARE) e o percurso feito por seus associados é definido por esta associação.



Figura 07: Núcleo de Triagem do Bairro dos Estados ou Treze de Maio

Fonte: Martins, 2017

Embora seja o núcleo mais próximo da EMLUR, o referido local de estudo não possui uma organização eficiente, tornando seu crescimento anual baixo (Tabela 4). O núcleo realiza a coleta nos bairros Pedro Gondim, Treze de Maio, Bairro dos Estados, Torre, Ipês e Mandacaru, sendo, alguns destes locais, resididos por uma parcela da população com elevado poder aquisitivo. Assim, considerando a forte relação entre consumo e geração de resíduos, esta área se enquadra como local favorável para uma grande produção de resíduos, fato que não condiz com o quantitativo mostrado na Tabela 05.

Tabela 05- Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Bairro dos Estados

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Bairro dos Estados	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	72.854	115.859	176.324	97.988	56.185	115.839	76.477	62.312	78.213	90.847	78.159	1.021.058
Plástico	38.955	35.201	44.305	40.934	34.435	34.345	22.109	21.376	28.886	42.398	71.119	414.063
Vidro	22.649	20.505	11.471	9.678	18.999	19.986	13.122	8.425	4.784	20.380	10.286	160.285
Metal	31.934	28.430	20.817	21.639	25.972	23.730	14.767	12.586	10.569	23.398	15.332	229.175
Borracha	0.638	0.795	1.425	0.981	0.514	0.614	0.668	0.587	0.562	0.911	0.355	8.050
<b>Total</b>	167.030	200.790	254.342	171.220	136.105	194.514	127.143	105.286	123.014	177.934	175.253	1.832.632

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

#### 4.1.4 Núcleo de Triagem do Caic

Em 2007, ocorreu um grande aumento na produção da coleta seletiva, fato que se deve a inserção da associação Acordo Verde, que abrange os bairros Jardim São Paulo, Anatólia, Bancários, Jardim Cidade Universitária e Mangabeira e que também recebe o material reciclável da Universidade Federal da Paraíba - UFPB (SILVA, 2014). Nesse contexto, encontra-se o núcleo do Caic (Figura 08), que possui sua rota de trabalho também definida entre seus associados, mas com a diferença de que o lucro da venda dos materiais recicláveis é repartido equitativamente entre os trabalhadores do local.





Figura 08: Núcleo de Triagem do Caic.

Fonte: Martins, 2017

Como pode ser visto na Tabela 06, é reduzida a quantidade de dados referentes ao núcleo do Caic ou Jardim Cidade Universitária, isto deve-se ao fato de que sua existência é mais tardia do que os demais núcleos anteriormente citados. Segundo os dados fornecidos pela Autarquia Municipal de Limpeza Urbana (2016), no período de 2005 a 2015, o material coletado em maior quantidade no local em questão é o papel (1.158.022 kg), seguido do plástico (557.930 kg) e do metal (314.168 kg). É relevante considerar que na maioria dos núcleos considerados, o papel e o plástico são os materiais predominantes na coleta e a borracha é o material menos coletado dentre todos os resíduos listados. O total de resíduos atendido pela coleta seletiva do núcleo do Caic no período em questão foi de 2.420.724T (Tabela 06).

Tabela 06- Comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Caic.

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Caic	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	-	-	78.235	219.243	169.034	133.692	127.870	80.875	112.765	117.460	118.848	1.158.022
Plástico	-	-	61.596	116.216	90.117	66.206	43.747	29.368	34.537	45.457	70.686	557.930
Vidro	-	-	22.842	45.702	48.959	45.104	27.843	21.535	25.489	57.345	19.349	314.168
Metal	-	-	19.264	56.348	47.622	85.017	31.533	19.275	31.361	61.964	25.969	378.353
Borracha	-	-	2.550	2.497	1.870	1.707	0.655	0.279	0.396	1.199	1.097	12.250
<b>Total</b>	-	-	184.487	440.006	357.602	331.726	231.648	151.332	204.548	283.425	235.949	2.420.724

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

Os dados obtidos referentes a comercialização da coleta seletiva no núcleo de triagem do Caic no período de 2007 a 2015 (Tabela 06) revelam que não houveram muitas oscilações no intervalo considerado, mas sim um gradativo avanço no montante atendido pelo serviço.

#### 4.1.5 Núcleo de Triagem de Mangabeira

Assim como o núcleo do Caic, a Associação Acordo Verde também é responsável pelo núcleo de Mangabeira (Figura 09). Segundo Moraes (2017), a rota percorrida pelos associados de ambos os núcleos é definida por seus trabalhadores que dividem todo o arrecadado equitativamente. Além disso, como os núcleos de Mangabeira e Caic estão próximos, os atravessadores de ambos são praticamente os mesmos, assim como os valores de venda por material que são similares ou iguais.



Figura 09: Núcleo de Triagem de Mangabeira

Fonte: Martins, 2017

A Tabela 07 mostra o quantitativo de resíduos coletados pelo núcleo de Mangabeira no período de 2010 a 2015. Segundo Silva (2014), a ausência de dados durante os anos de 2005 a 2009 deve-se ao fato da implantação posterior do local de estudo (que ocorreu apenas no ano de 2007 e, ausência de dados na EMLUR no período de 2007 a 2009. Mesmo com poucos dados



fornechos, sabe-se que a quantidade coletada no núcleo em questão é inferior à boa parte dos anteriormente citados. Diferente dos demais núcleos, o de Mangabeira possui uma maior coleta de papel e metal, possuindo um total coletado de 910.057 kg no intervalo considerado.

Tabela 07- Comercialização de resíduos coletados pelo núcleo do Mangabeira (Kg).

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Mangabeira	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	-	-	-	-	-	10.095	58.810	42.183	34.562	84.828	92.973	323.451
Plástico	-	-	-	-	-	5.722	36.375	30.458	31.024	55.198	49.398	208.175
Vidro	-	-	-	-	-	2.590	23.277	14.835	25.145	45.430	27.406	138.684
Metal	-	-	-	-	-	2.450	22.150	21.612	55.004	81.511	54.283	237.010
Borracha	-	-	-	-	-	0.79	0.237	0.118	0.565	1.059	0.679	2.737
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	20.936	140.849	109.206	146.300	268.026	224.739	910.057

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

#### 4.1.6 Central de Triagem do Aterro Sanitário de João Pessoa

Além dos núcleos supracitados, a capital paraibana possui uma central de triagem localizada próxima ao Aterro Sanitário Metropolitano do Município (Figura 10) que está sob responsabilidade da ASTRAMARE. Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (2014), a Central de Triagem em questão possui um total de 85 associados que trabalham em horários distintos.



Figura 10: Central de Triagem do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

Fonte: Martins, 2017

Conforme mostrado na Tabela 08, o montante de resíduos coletados pela Central de Triagem (CT) é o de maior valor quando comparado com os locais citados anteriormente, isto ocorre devido ao maior número de associados presentes no local, funciona três expedientes e a maior quantidade de resíduos, já que este se localiza próximo ao ambiente de disposição final de resíduos sólidos do município de João Pessoa. Segundo a EMLUR (2016), nesta CT, os resíduos chegam, em geral, sem uma separação prévia e passam por esteiras onde ocorre uma rápida separação realizada pelos associados. O montante de resíduos considerados não recicláveis pelos trabalhadores, é encaminhado para o aterramento. Os dados tabulados são oscilantes no decorrer dos anos, sendo o vidro e a borracha, os materiais de menor coleta e o papel e o plástico como de maior quantitativo. Os dados fornecidos pela EMLUR (2016) revelam que em um estudo de 10 anos do quantitativo de resíduos coletados pela central de triagem, houve um aumento superior ao dobro no total triado. Através destes dados, pode-se afirmar que houve representativo progresso na problemática em questão, totalizando 18.854.413T de resíduos coletados no tempo de estudo considerado.

Tabela 08- Comercialização de resíduos coletados pela Central de Triagem.

ANO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
Central de Triagem	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	PESO	
Papel	135.975	369.679	127.975	349.549	2.027.246	505.610	187.682	510.016	710.090	636.616	759.689	6.320.128
Plástico	465.934	381.203	945.893	986.332	684.346	1.013.810	242.716	756.339	1.036.778	945.851	570.340	8.029.543
Vidro	24.413	44.644	70.171	68.685	51.030	110.920	52.585	112.640	17.640	168.418	58.779	779.926
Metal	128.329	131.740	534.908	578.730	295.093	403.330	160.887	221.530	250.481	152.797	192.791	3.050.617
Borracha	9.713	19.499	124.634	185.482	67.612	42.950	12.862	58.870	70.728	67.740	14.110	674.200
<b>Total</b>	<b>764.364</b>	<b>946.765</b>	<b>1.803.581</b>	<b>2.168.778</b>	<b>3.125.327</b>	<b>2.076.620</b>	<b>656.732</b>	<b>1.659.395</b>	<b>2.085.717</b>	<b>1.971.422</b>	<b>1.595.712</b>	<b>18.854.413</b>

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2005-2015)

Notas: Dados de Pesquisa (2018).

De acordo com o Gráfico 3 pode-se comparar o total de resíduos coletados no período de 2005 a 2015 nos cinco núcleos de coleta seletiva e na Central de Triagem do município de João Pessoa, dependendo do tipo do material. Do total caracterizado, tem-se que o papel, o plástico e o metal são os materiais mais segregados na capital paraibana e que na CT há maior quantidade de material coletado, comparado com os demais núcleos estudados.

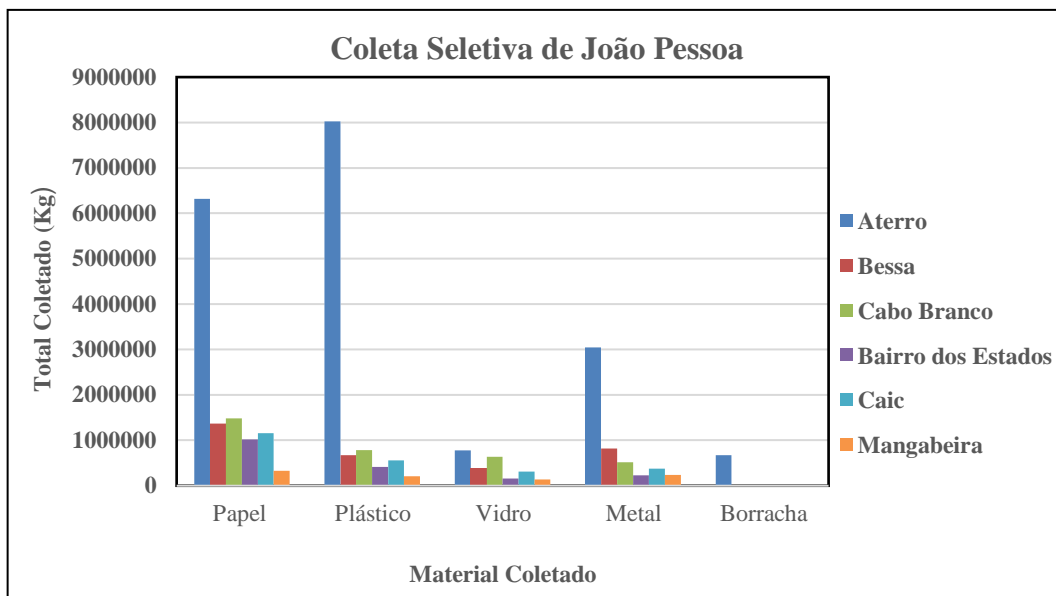


Gráfico 3: Total de resíduos recicláveis coletados no período de 2005 a 2015

Fonte: Adaptado EMLUR, 2016.

Segundo os dados fornecidos pela EMLUR (2016), a maior produção coletada é a Central de Triagem localizada próxima ao Aterro Sanitário, 18.854.413T, seguida do núcleo de Cabo Branco, 3.441.660T. Considerando-se a proporcionalidade de dados fornecidos, o núcleo que apresenta menor produção coletada é o de Mangabeira, 910.057kg (2010-2015), seguido pelo Bairro dos Estados, 3.441.660T.

O total geral coletado no município de João Pessoa nos anos de 2005 a 2015 foi de 30.725,290T de materiais como metal, vidro, papel, plástico e borracha.

## 4.2 Análise do Ciclo de Vida

Para elaboração do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) da gestão de resíduos sólidos domiciliares e da coleta seletiva dos núcleos do município de João Pessoa, torna-se necessário a coleta de dados de entrada e saída requeridos pelo sistema. No presente trabalho, considerou-se como entradas os dados quantitativos da coleta seletiva do plástico entre os anos de 2005 e 2015 (item 4.1) e dados referentes ao consumo de energia (kwh/T), água (kg/T) e diesel (l/T) nos núcleos, central de triagem, aterro sanitário, atravessador e indústria recicladora. Como saídas, considerou-se as categorias de eutrofização, acidificação, aquecimento global, destruição da camada de ozônio e oxidação fotoquímica.

A coleta de resíduos sólidos nos núcleos de João Pessoa ocorre de maneira semelhante entre si, possuindo o seguinte roteiro (Figura 11):

- 1) Descarte dos resíduos sólidos pelos habitantes do município de João Pessoa.
- 2) Recolhimento dos resíduos descartados pela coleta seletiva ou pela coleta regular. No primeiro caso, os resíduos já segregados na fonte são destinados aos núcleos da capital paraibana. No segundo caso, a massa de resíduos sólidos é destinada diretamente ao aterro sanitário (podendo passar pela Central de Triagem ou não).
- 3) Os resíduos que se encontram nos núcleos de triagem e são passíveis de reciclagem são separados por material, entre os quais o plástico.
- 4) Após serem segregados, os materiais são destinados para a comercialização, sendo primeiramente entregue a agentes intermediários (atravessadores) e, posteriormente, revendidos por estes para as indústrias recicladoras.
- 5) As indústrias recicladoras reiniciam o ciclo.

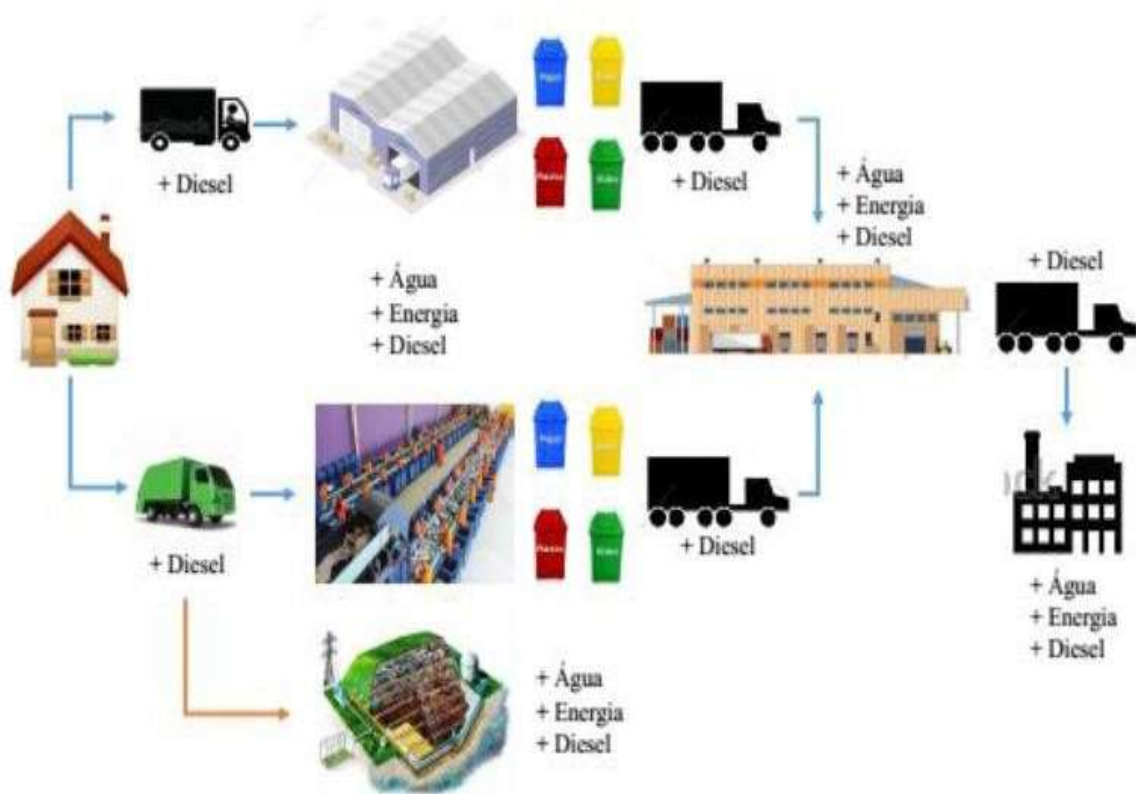


Figura 11: Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos no Município de João Pessoa.

Fonte: Garcia (2016)

Assim, as fronteiras do sistema podem ser definidas a partir da eliminação dos resíduos pela população até a reciclagem da matéria prima pelas indústrias cabíveis.

Para melhor entendimento o sistema foi dividido em etapas (Tabela 9) a fim de analisar e determinar os impactos ambientais gerados por cada uma destas e constatando aquelas consideradas mais críticas.

Tabela 9: Etapas analisadas pela ACV

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>
<b>Coleta Seletiva (CS)</b>	Coleta de resíduos passíveis de reciclagem desde sua origem até os núcleos de triagem. A CS é realizada por caminhões das associações.
<b>Coleta Regular (CR)</b>	Coleta de resíduos domiciliares não segregados. A CR é realizada pelo caminhão compactador da EMLUR.
<b>Núcleos (N)</b>	Consumo de água, eletricidade e diesel proveniente dos Núcleos do Bessa, Cabo Branco, Estados, Mangabeira e Caic.
<b>Galpões (G)</b>	Consumo de água, eletricidade e diesel proveniente dos Galpões dos atravessadores.
<b>Central de Triagem (CT)</b>	Consumo de água, eletricidade e diesel proveniente das atividades desempenhadas dentro da CT.
<b>Aterro Sanitário (AS)</b>	Consumo de água, eletricidade e diesel do aterro sanitário (sem a recuperação de energia)
<b>Transporte (T)</b>	Consumo de diesel no transporte de resíduos do núcleo e da CT até o atravessador e dele a indústria recicladora.
<b>Reciclagem (R)</b>	Consumos de água, eletricidade e diesel advindos da reciclagem.

Fonte: Adaptado Ibáñez-Forés, 2009.

Quanto aos dados de entrada, a obtenção de valores referentes ao consumo de água e energia nos núcleos de triagem foram obtidos juntos a EMLUR (2015), através da apresentação de contas dos referidos locais. Os dados de diesel foram calculados por trecho tomando como base o Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos mostrado na Figura 11.

Para o galpão do atravessador, considerou-se os consumos de água, eletricidade e diesel sendo zero (0), já que os materiais são vendidos pelos catadores devidamente preparados (Figura 12) para serem revendidos a indústria recicladora, tornando desnecessário o uso de prensa e de outros equipamentos.



Figura 12: Preparação de materiais nos núcleos de triagem antes de sua venda aos atravessadores.

Fonte: Autora, 2017.

Segundo Garcia (2016), a reciclagem do plástico requer o consumo de 400 kg/T de água e de 4190 kwh/T de eletricidade, não sendo necessário o consumo de diesel. A indústria recicladora do material em questão utilizada para o presente estudo é a Petromix, situada na capital paraibana.

Tabela 10: Consumos de eletricidade, água e diesel

<b>Instalações</b>	<b>Diesel (L/T)</b>	<b>Água (kg/T)</b>	<b>Eletricidade (Kwh/T)</b>
<b>Coleta Seletiva</b>	188,285	0	0
<b>Núcleos</b>	0	5856,714	50,116
<b>Galpão Atravessadores</b>	0	0	0
<b>Central de Triagem</b>	0	1072,984	45,878
<b>Transporte</b>	45,503	0	0
<b>Reciclagem</b>	0	400	4190
<b>Aterro Sanitário</b>	0,010	0	0,041

Fonte: Autora, 2018

A unidade funcional do presente estudo foi definida como 1 tonelada de resíduos sólidos domésticos gerados.

Com os dados mostrados na Tabela 10 e, posterior aplicação no software selecionado, torna-se possível a avaliação dos impactos ambientais oriundos da coleta seletiva do plástico no município de João Pessoa. As categorias de impacto investigadas foram a eutrofização (Kg PO<sub>4</sub> eq), acidificação (Kg SO<sub>2</sub> eq), oxidação fotoquímica (Kg C<sub>2</sub> eq), redução na camada de ozônio (Kg CFC<sub>-11</sub> eq) e aquecimento global (Kg CO<sub>2</sub> eq).

#### 4.2.1 Eutrofização

Segundo Barbosa et al. (2016), esta categoria de impacto trata do processo de acúmulo de matéria orgânica, de maneira gradativa, nos mananciais, resultando no elevado índice de nitrato ou fosfato. Para Silva et al. (2017), este enriquecimento é visível na composição de espécies e na redução da diversidade ecológica, sendo mais visível em águas superficiais, já que nestes ambientes o impacto gerado é evidenciado pelo crescimento das águas e a consequente queda de oxigênio. A unidade da eutrofização é Kg PO<sub>4</sub> eq.

Considerando que os valores negativos representam benefícios ambientais líquidos e são atribuídos a prevenção de emissões (FOOLMAUN, 2012), o Gráfico 4 mostra que as etapas de coleta regular e aterro sanitário são as mais impactantes. Sabendo-se que a Coleta Regular (CR) considerou o trajeto entre a Origem e a Central de Triagem (CT), o possível motivo para o resultado obtido para esta categoria deve ser proveniente do fato da rota percorrida ser grande em relação a quantidade de plástico transportado.

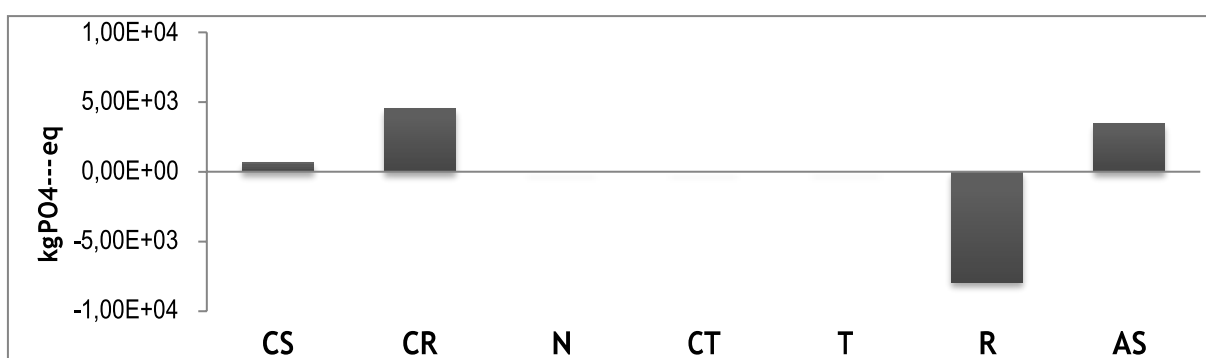


Gráfico 4: Contribuição líquida para a categoria de impacto eutrofização

Fonte: Autora, 2017.

O impacto advindo do Aterro Sanitário deve-se ao fato da quantidade de plástico destinada a este local ser superior a parcela reciclada, inviabilizando esta etapa do processo para a categoria em questão. Além disso, o ASMJP não possui recuperação de gás. É relevante

considerar que a produção de lixiviado pode favorecer a eutrofização, já que essa substância apresenta contaminantes que, caso não sejam tratados, podem provocar ou agravar esta categoria.

De maneira geral, o Gráfico 4 mostra que o valor negativo obtido na etapa da reciclagem é benéfico ao meio ambiente líquido devido a prevenção de emissões, colaborando positivamente neste impacto. Porém, a reciclagem não compensa as principais emissões positivas provenientes da CS, CR e AS.

#### **4.2.2 Acidificação**

A categoria de impacto denominada acidificação influencia diretamente o solo, a água subterrânea, as águas superficiais, os organismos biológicos, os ecossistemas e os materiais por ele atingidos, podendo ocasionar desastres como a mortalidade de peixes e o esfarelar dos materiais dos edifícios (SILVA et al., 2017). As substâncias que mais contribuem para a acidificação são  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{NH}_x$ . A unidade utilizada para a acidificação é  $\text{Kg SO}_2 \text{ eq}$ .

No Gráfico 5 observa-se que as etapas mais impactantes, no período de 2005 a 2015, para a referida categoria são a Coleta Seletiva e a Coleta Regular. Considerando este quadro, tem-se que ambas as etapas possuem altas emissões de  $\text{SO}_2$  advindo do transporte de resíduos realizado pelas mesmas. A CS, devido à proximidade entre a origem e os núcleos, possui valores menores de quilometragens percorridas e, conseqüentemente, de impactos advindos desta etapa. O percurso feito pelo caminhão compactador que transporta os resíduos desde sua origem até a Central de Triagem do município de João Pessoa (Coleta Regular) é longo, e, por isso, necessita de grandes quilometragens. Além disso, considera-se que a quantidade de plástico coletada é pequena quando comparada ao montante transportado, resultando em uma grande queima de combustível que favorece, portanto, emissões maiores de gases, se comparado com a coleta seletiva que percorre distâncias bem menores com mais plásticos que outros resíduos reciclados.



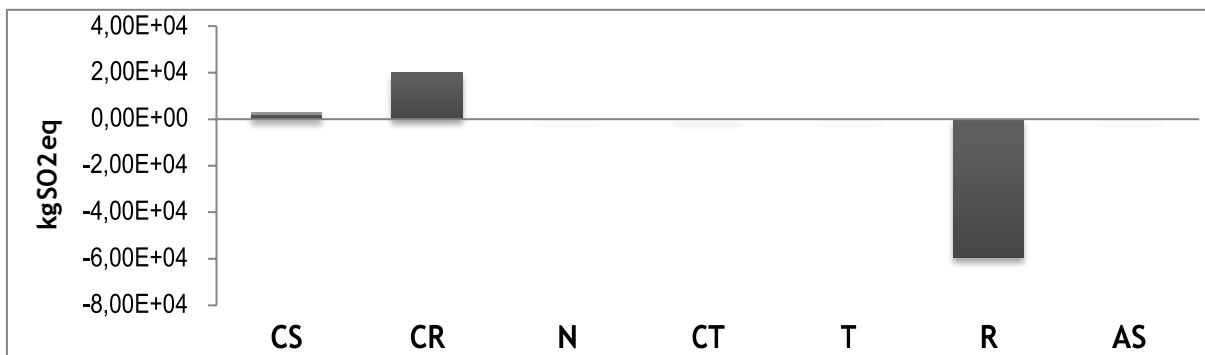


Gráfico 5: Contribuição líquida para a categoria de impacto acidificação.

Fonte: Autora, 2017.

Mesmo com os dados supracitados, nota-se que na categoria de acidificação a reciclagem compensa as outras etapas como a CS e CR, ou seja, as emissões evitadas pela etapa da reciclagem são significativas.

#### 4.2.3 Aquecimento Global

O aquecimento global está relacionado a emissão de gases como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> que podem ser originados pela intensa urbanização e por veículos automotivos, por exemplo, resultando no aumento da temperatura. Para Mendonça (2007) esta categoria de impacto pode resultar em efeitos benéficos ou nocivos para os seres humanos, outras espécies e ecossistemas, sendo isto dependente principalmente do local e da magnitude da mudança climática resultante. A unidade utilizada para o aquecimento global é Kg CO<sub>2</sub> eq.

Observando o Gráfico 6, verifica-se que a etapa de maior impacto é a CR, devido ao fato do montante de plástico ser pequeno quando comparado ao total de resíduos transportado desde sua origem até a CT.

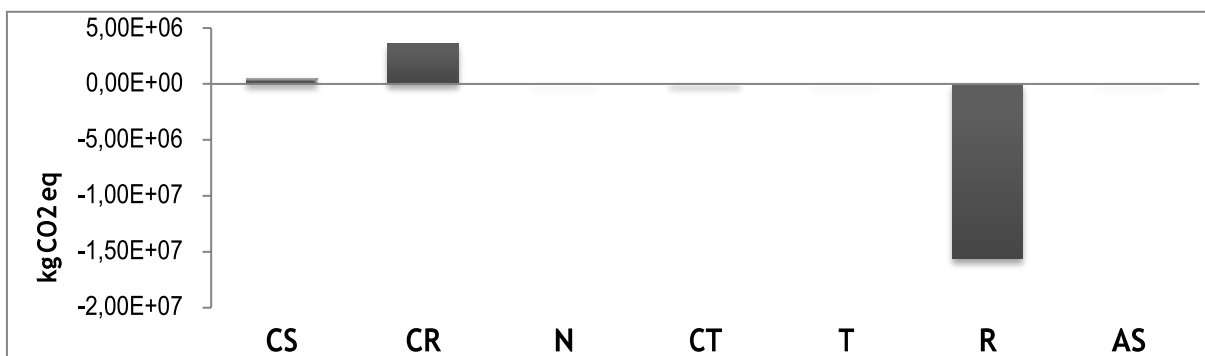


Gráfico 6: Contribuição líquida para a categoria de impacto aquecimento global

Fonte: Autora, 2017

Mesmo existindo emissões de CO<sub>2</sub> nas demais etapas, a reciclagem compensa os impactos gerados para a categoria de Aquecimento Global.

#### 4.2.4 Destruição da Camada de Ozônio

Esta categoria está relacionada com a existência de substâncias contribuintes para a destruição da camada de ozônio devido a liberação dos chamados clorofluorcarbonos (CFC's) e outros poluentes. A unidade utilizada para a destruição da camada de ozônio é Kg CFC-11 eq.

Diferente do que ocorre nas outras categorias supracitadas, a depleção da camada de ozônio revela que a reciclagem não compensa as emissões de CFC-11. Observando o Gráfico 7, as maiores emissões são advindas da Coleta Seletiva e, principalmente, da Coleta Regular, fator que é justificado pelo transporte de quantidades pequenas de plásticos em relação aos grandes percursos percorridos.

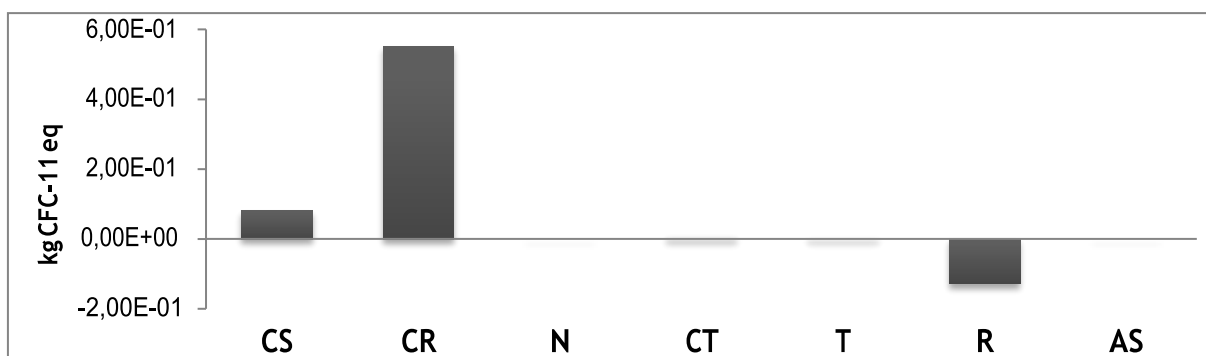


Gráfico 7: Contribuição líquida para a categoria de impacto destruição da camada de ozônio

Fonte: Autora, 2017

Além disso, as etapas do núcleo, central de triagem, transporte e aterro sanitário são colaboradoras em pequena escala, isto se deve ao consumo de combustível utilizado nestes setores. Assim, embora a reciclagem represente uma contribuição positiva a mesma é capaz de compensar apenas parte da emissão gerada pela CS e pela CR.

#### 4.2.5 Oxidação Fotoquímica

A categoria de impacto denominada como oxidação fotoquímica é capaz de identificar os níveis de emissões de  $C_2H_4$  referente a cada etapa da gestão de resíduos sólidos domiciliares (RSD) dos Núcleos do município de João Pessoa. A unidade utilizada para a oxidação fotoquímica é Kg  $C_2H_4$  eq.

No Gráfico 8 é possível identificar os níveis de emissões de  $C_2H_4$ , referentes a cada etapa da gestão de plástico no município de João Pessoa. Para a oxidação fotoquímica, a reciclagem apresentou-se favorável, havendo poucas alterações visuais no gráfico para as demais variáveis. Embora pesquisas indiquem que o aterro sanitário pode colaborar significativamente no impacto relacionado à oxidação fotoquímica, esta afirmação não foi comprovada neste estudo.

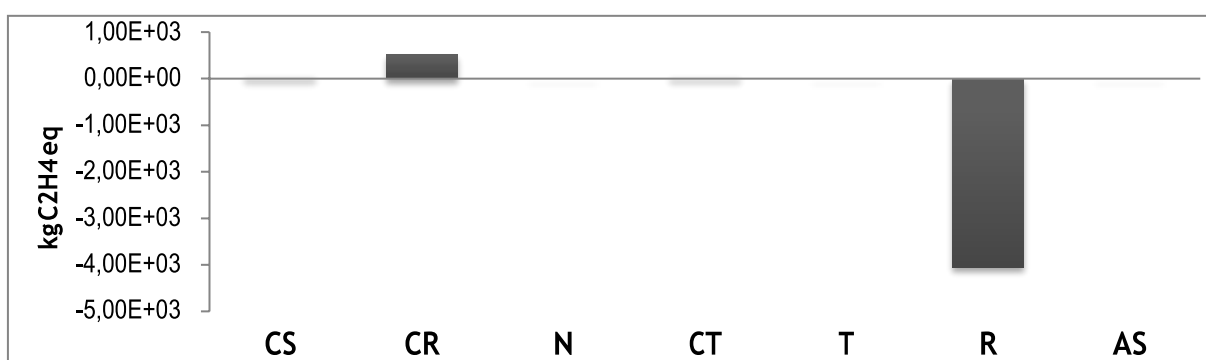


Gráfico 8: Contribuição líquida para a categoria de impacto oxidação fotoquímica

Fonte: Autora, 2017

A oxidação fotoquímica é analisada pela emissão de gás  $C_2H_4$  e, para este estudo, a reciclagem surge como principal compensação do impacto gerado por outras etapas, superando, inclusive, o somatório de todas as outras, com uma abordagem positiva de evitar a emissão do referido gás.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da série histórica de dez (10) anos de dados referentes a coleta seletiva no município de João Pessoa, tornou-se possível notar a evolução do cenário referente a esta temática no local de estudo. Embora haja oscilações, é possível afirmar que a maioria dos núcleos tem obtido significativos avanços no total reciclado, como o Bessa, por exemplo. As associações são divergentes entre si, sendo a organização interna de cada núcleo variável.

Dentre as cinco categorias de impactos selecionadas para a análise de ciclo de vida aplicada a coleta seletiva do plástico, concluiu-se que a mesma compensa os impactos ambientais referentes a acidificação, aquecimento global e oxidação fotoquímica. Analisando-se as etapas do percurso realizado pelo plástico, foi verificado que a reciclagem é a principal responsável pela compensação, sendo esta a maior responsável pela geração de benefícios ambientais líquidos.

As categorias de depleção da camada de ozônio e eutrofização apresentaram resultado negativo para o período analisado neste estudo, ou seja, contribuem para o agravamento desses impactos, mesmo que em pequena proporção. Dentre as etapas do percurso realizado pelo plástico, verificou-se que a coleta regular é a principal responsável pela não compensação, isto ocorre devido ao fato do montante de plástico reciclado ser pequeno junto as distancias percorridas para seu reaproveitamento.

Assim, considerando o horizonte da pesquisa, conclui-se que a coleta seletiva do plástico no município de João Pessoa possui resultado satisfatórios no âmbito ambiental e por este motivo devem ser realizados esforços objetivando o aumento da parcela de resíduos recicláveis atendidos pelo serviço, já que isto resultaria na geração de maiores benefícios ambientais líquidos.

Identificou-se que o resíduo plástico coletado no município é vendido aos atravessadores deste material e posteriormente revendido a empresa recicladora Petromix, situada na capital paraibana.

Para obtenção de resultados genéricos que retratem os impactos ambientais advindos da coleta seletiva do município de João Pessoa em suas variadas etapas, recomenda-se um estudo posterior com outros materiais como o papel, alumínio, borracha e metal.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724: Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.044: resíduos sólidos: classificação.** Rio de Janeiro, 2009.

ABRACEN. **Manual Operacional das Ceasas do Brasil.** Belo Horizonte: AD2 Editora, 2011.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** 2016. São Paulo.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** 2017. São Paulo.

ANDRADE, C.T.; COUTINHO, F.M.B.; DIAS, M.L.; LUCAS, E.F.; OLIVEIRA, C.M.F. e TABAK, D. Dicionário de polí- meros. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001. p. 116.

BARBOSA, Francisco Luan Almeida; LIMA, Patricia Veronica Pinheiro Sales. **Eutrofização dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará.** I Encontro de Iniciação Acadêmica, v. 1, n.1. 2016.

BOVEA, MARÍA D.; IBÁÑEZ-FORÉS, VALERIA; COUTINHO-NÓBREGA, CLAUDIA; DE MEDEIROS-GARCÍA, HOZANA R.; BARRETO-LINS, RAISSA. **Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study.** WASTE MANAGEMENT, v. 72, p. 65-77, 2018.

BOVEA, M. D.; NÓBREGA, C. C.; MORAIS JUNIOR, J. A.; FONSECA, E.; LIMA, J. D. **Evolution of Environmental Performance in Waste Management in João Pessoa-Paraíba-**

**Brazil.** In.: XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia, 11-13 de julio de 2012.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política nacional de resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.**

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, Setembro, 2011.

CANTOIA, S.F. **Educação Ambiental e Coleta Seletiva em Presidente Prudente: Avaliando seus resultados no Conjunto Habitacional Ana Jacinta.** 2007. 174p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Faculdade Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, São Paulo, 2007.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Guia da coleta seletiva de lixo.** 2º Ed. São Paulo, 2016.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão.** Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

DUARTE, M. D. **Caracterização da Rotulagem Ambiental de Produtos.** 1997. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

EMLUR – Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana. **Relatório de Atividades Anual.** João Pessoa, 1998 - 2002.

EMLUR – Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana. **Relatório de Atividades Anual.** João Pessoa, 2000 - 2017.

FERREIRA, E. M.; CRUVINEL, K. A. S.; COSTA, E. S. **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás.** Revista Monografias Ambientais - REMOA v.14, n.3. 2014, p.3401-3411. DOI: 10.5902/2236130813520.

FONSECA, E.; XAVIER, E., OLIVEIRA, O.S.; QUEIROGA, F. D. – **Coleta seletiva no município de João Pessoa**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre. 2011. 36-45p.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEEAWON, T. **Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius**. The International Journal of Life Cycle Assessment, Janeiro de 2013. Volume 18, Issue 1, pp 155-171.

FULLANA, P.; PUIG, R. **Análisis del Ciclo de Vida**. Rubes Editorial: Barcelona, 1997.

GARCIA, H. R. M. **Avaliação do Ciclo de Vida Socioambiental do Programa de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de João Pessoa/PB, Brasil. Estudo de Caso: Núcleo do Bessa**. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016

GARCIA, H. R. M.; NÓBREGA, C. C.; BOVEA, M. D. E.; SILVA, C. M.; LINS, R. B. **Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada a Coleta Seletiva no Município de João Pessoa (PB) – Brasil**. In: 28º CBESA, 2015, Rio de Janeiro.

IBÁÑEZ-FORÉS, V. **Optimización del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de Castellón de la Plana Mediante la Aplicación de Técnicas de Análisis del Ciclo de Vida (ACV)**. 2009. 231 f. Proyecto Final de Carrera (Ingeniería Industrial) – Universitat Jaume I, 2009. ÍNDICE DE PROGRESSO SOCIAL. Índice de Progresso Social 2015. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Estudos e Pesquisas Informações Geográficas, número 10. Brasil, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa Censo Demográfico**, 2017.

ISO 14040:2009: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. ABNT, 2ª ed, Rio de Janeiro, Brasil: 21p.

ISO 14044:2009b: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações**. ABNT, 1ª ed, Rio de Janeiro, Brasil: 46p.

KLOPFER, W. **The role of SETAC in the development of LCA**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 11, p.116-122. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILDA, M. Z.; CHRISTENSEN, T. H. **Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: lessons learned and perspectives**. Waste Management, v. 34, p. 573-588, 2014.

MAGRINI, A. **Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos**. Revista Brasileira de Energia, v. 8, n. 2, 2004.

MARTINS, W. A.. **Avaliação do Ciclo de Vida do Programa de Coleta Seletiva do Município de João Pessoa/PB, Brasil**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

NÓBREGA, C.C. **Viabilidade Econômica, com Valoração Ambiental e Social, de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares – Estudo de Caso: João Pessoa/PB**. 2003. 176p. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.



OLIVEIRA, L. L.; LACERDA, C. S.; ALVES, I. J. B. R.; SANTOS, E. D.; OLIVEIRA, S. A.; BATISTA, T. S. A. **Impactos Ambientais Causados pelas Sacolas Plásticas: o Caso Campina Grande - PB.** BioFar: Revista de Biologia e Farmácia. V. 7, nº 1, 2012.

PIMENTEL, C.H.L. **A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de João Pessoa/PB - À Luz das Rotas Tecnológicas.** 2017. 284p. Tese (Doutorado pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

PMGIRS – **Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa.** Volume I – Diagnóstico. Agosto, 2014.

PRé Consultants, 2013. SimaPro v. 8.0. PRé Consultants, B.V. Amersfoort, The Netherlands.

REMÉDIO, M. V. P. **Estudo da Viabilidade de Reciclagem de Plásticos em Forma de Filmes Provenientes do Rejeito de uma Usina de Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos.** UFSCar, São Carlos. 1999.

SILVA, A.C. **Análise da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Capitais do Nordeste Brasileiro: O Caso de Aracaju/SE e João Pessoa/PB.** 2014. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB.

SILVA, A.C.; NÓBREGA, C.C.; LINS, R.B.; SILVA, C.M. **Análise da Coleta Seletiva dos Municípios de Aracaju e João Pessoa: um passo para a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos urbanos municipais.** In: Giovanni Seabra (Org.). TERRA, Saúde Ambiental e Soberania Alimentar. 1 ed. João Pessoa: Barlavento, 2014, v.III p.882-835.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. **Análise Ambiental do Ciclo de Vida do Etanol Combustível.** Economia & Região. Londrina (Pr), v.5, n.1, p.129-155, jul./dez. 2017.