



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**FELIPE JOSÉ TRAVASSO OLIVEIRA**

**OTIMIZAÇÃO DO ROTEIRO DE COLETA DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO NO  
MUNICÍPIO DE POMBAL-PB**

Pombal - PB

2016

**FELIPE JOSÉ TRAVASSO OLIVEIRA**

**OTIMIZAÇÃO DO ROTEIRO DE COLETA DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO  
DE POMBAL-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia  
Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia  
Agroalimentar da Universidade Federal de Campina  
Grande, como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Ambiental.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias**

Pombal - PB

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- O48o Oliveira, Felipe José Travasso.  
Otimização do roteiro de coleta de resíduos sólidos urbanos :  
um estudo de caso no município de Pombal-PB / Felipe José  
Travasso Oliveira. – Pombal-PB, 2016.  
32 f. il. color.
- Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) –  
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e  
Tecnologia Agroalimentar, 2016.  
"Orientação: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias".  
Referências.
1. Lixo - Consumismo. 2. Problema do Carteiro Chinês. 3.  
Gerenciamento de Resíduos Sólidos. 4. Teoria de Grafos. I. Farias,  
Camilo Allyson Simões de. II. Título.

CDU 628.4(043)

**FELIPE JOSÉ TRAVASSO OLIVEIRA**

**OTIMIZAÇÃO DO ROTEIRO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB**

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias**  
**Orientador – UFCG/*Campus* de Pombal - PB**

---

**Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque**  
**Examinador Interno – UFCG/*Campus* de Pombal - PB**

---

**M. Sc. Ítala Zimária do Nascimento Medeiros**  
**Examinadora Externa**

Pombal - PB

2016

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória.”

Mahatma Gandhi

## **AGRADECIMENTOS**

À minha querida e falecida avó, por me incentivar a buscar os estudos.

Ao meu filho, José Neto por servir de inspiração em busca dos meus sonhos.

Aos meus pais por me incentivarem a estudar desde o início e nunca deixarem faltar nada para que esse objetivo fosse alcançado com sucesso.

A todos os professores que passaram na minha vida durante todos esses anos, pois foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal.

A todos os amigos, Levi, Elan, Alan, Mauro, Rayan, Tássio, Pierre, Gustavo, Lucas Gil, Caio, que me ajudaram em momentos difíceis e estiveram comigo nos momentos felizes.

Ao professor Camilo Farias por me orientar e fazer com que este trabalho possa ser concluído da melhor forma.

Muito obrigado!

OLIVEIRA, F.J.T. **Otimização do roteiro de coleta de resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso no Município de Pombal - PB**. 2016. 32 fls. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

## RESUMO

O crescimento populacional aliado ao consumismo desencadeia uma série de impactos ambientais. O aumento da produção e do consumo têm resultado numa geração cada vez maior de resíduos sólidos, que são, em grande parte, dispostos de forma inadequada no meio ambiente. Em 2010, na tentativa de minimizar este problema, instituiu-se no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que traz regras para o manejo dos resíduos desde a sua geração até a sua destinação final. Objetivou-se com esse trabalho buscar um aprimoramento em um roteiro de coleta de resíduos no município de Pombal-PB, a fim de buscar uma redução nos gastos municipais com transporte. A metodologia básica consistiu em buscar informações sobre um dos roteiros de coleta de resíduos sólidos no município de Pombal e utilizar o método do Problema do Carteiro Chinês de roteamentos para aperfeiçoar o referido trecho de recolhimento do resíduo. A partir dos resultados encontrados foi possível verificar falhas na exatidão atual e fornecer um roteiro de coleta otimizado para o trecho objeto deste estudo.

**Palavras-chaves.** Lixo. Consumismo. Problema do Carteiro Chinês. Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Teoria de Grafos.

OLIVEIRA, F.J.T. **Otimização do roteiro de coleta de resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso no Município de Pombal – PB.** 2016. 32 fls. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

#### **ABSTRACT**

The population growth combined with consumerism triggers a series of environmental impacts. The increase in production and consumption have resulted in increased generation of solid wastes, which have been improperly disposed in the environment. In 2010, in an attempt to minimize this problem, it was instituted the Brazilian Solid Waste Policy, which provides rules for the management of waste from its generation to its final destination. This study aimed at optimizing the waste collection in the City of Pombal-PB, Brazil, in order to seek a reduction for city expenses on waste transportation. The basic methodology consisted of searching information on the waste collection routes currently held in the city of Pombal. After that, we used the Chinese Postman Problem method to optimize the waste collection route. From the findings, we observed failures in the current collection and provided an optimized route for a study area in Pombal City.

**Keywords:** Trash. Consumerism. Chinese Postman Problem. Waste Management. Graph Theory.

#### **FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Método heurístico para determinação da coleta de resíduos. ....	16
<b>Figura 2:</b> Grafos da ponte de konigsberg .....	17
<b>Figura 3:</b> Mapa da Paraíba. Em destaque, o município de Pombal-PB. ....	19
<b>Figura 4:</b> Mapa de Pombal, com os bairros e as principais rotas. ....	20
<b>Figura 5:</b> Interface do software XNES .....	21
<b>Figura 6:</b> Mapeamento da rota de coleta atual .....	22
<b>Figura 7:</b> Atual rota do estudo de caso .....	23
<b>Figura 8:</b> Atual rota com os pontos geográficos cadastrados.....	25
<b>Figura 9:</b> Grafo determinado para o estudo de caso no software XNÊS.....	26
<b>Figura 10:</b> Início da rota realizada pelo software XNÊS .....	27
<b>Figura 11:</b> Meio da rota realizada pelo software XNÊS .....	27
<b>Figura 12:</b> Fim da rota realizada pelo software XNÊS .....	28
<b>Figura 13:</b> Solução texto realizada pelo software XNÊS .....	28

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
<b>2.1 Geral</b> .....	12
<b>2.2 Específicos</b> .....	12
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
<b>3.1 Resíduos Sólidos</b> .....	13
3.1.1 Definição e Classificação .....	13
3.1.2. Características e Geração de Resíduos Sólidos.....	13
3.1.3. Acondicionamento de Resíduos Sólidos.....	14
3.1.4. Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos.....	15
<b>3.2 Otimização do Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos</b> .....	16
3.2.1 Problemas de Roteamento em Arcos .....	16
3.2.2 Grafos de Euler.....	17
3.2.3 Problema do Carteiro Chinês .....	18
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
<b>4.1 Área de Estudo</b> .....	19
<b>4.2 Definição do Setor de Coleta de Resíduos Sólidos</b> .....	20
<b>4.3 Levantamento do Atual Roteiro de Coleta para o Estudo de Caso</b> .....	20
<b>4.4 Proposição de Roteiro Otimizado para Coleta de Resíduos</b> .....	21
<b>4.5 Comparação dos Roteiros de Coleta</b> .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>5.1 Roteiro de Coleta Atual</b> .....	22
<b>5.2 Roteiro Otimizado para Coleta de Resíduos</b> .....	24
<b>5.3 Comparação dos Roteiros de Coleta</b> .....	29
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	30
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

O consumismo e o crescimento populacional têm propiciado uma geração cada vez maior de resíduos sólidos, que, se dispostos de forma inadequada, podem poluir e/ou contaminar o meio ambiente e trazer prejuízos para saúde pública. Nos últimos anos, tem-se desenvolvido uma série de políticas voltadas para o gerenciamento dos resíduos sólidos, cujo manejo inadequado é normalmente associado a problemas ambientais, sociais e econômicos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, além de definir e classificar os resíduos sólidos quanto à sua origem e periculosidade estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes voltadas para o seu gerenciamento. Ademais, esta política busca, ainda, a chamada responsabilidade compartilhada entre o poder público, as empresas e os consumidores no gerenciamento dos resíduos (BRASIL, 2010).

Fernandes (2016) afirma que sistema de coleta e resíduo sólido no município de Pombal na zona urbana é de 100 % atendida, já na zona rural a frequência de coleta não é diariamente. De acordo com o IBGE (2010), o Brasil produz, em média, cerca de 160 mil toneladas de resíduos por dia. Toda essa produção de resíduos não é depositada de forma adequada, conforme os dados ilustrados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), sendo 50,8% dos resíduos lançados em lixões.

Segundo dados da pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014) mostrou que a produção de resíduos sólidos registrou um acréscimo de 2,9% entre 2013 e 2014, superando o crescimento populacional do país no ano de 2014, que foi de 0,9%, assim é possível verificar o crescimento no lançamento de resíduo sólido em lixões. Devido a esse crescimento na geração de resíduos tem um elevado custo, IMBAM afirma que manejo dos resíduos sólidos produzidos no Brasil implica em um custo entre 7% e 15% do orçamento municipal, totalizando, em média, um gasto anual de R\$ 119,76 por habitante. Aproximadamente metade destes gastos é com recursos humanos e equipamentos (IBAM, 2001). Dessa forma, acredita-se que a melhoria dos roteiros de coleta de resíduos pode levar a uma economia significativa dos já limitados recursos municipais (CARVALHO, 2001).

Os problemas de otimização de rotas surgem em diversos contextos práticos, a exemplo da necessidade de minimizar os custos com os roteiros de recolhimento de resíduos no interior de um município. O planejamento de roteiros eficientes para coleta de resíduos é

certamente uma maneira de reduzir os custos municipais nesse setor (KONOWALENKO, 2012).

Considerando os elevados gastos municipais no recolhimento de resíduos sólidos, propõe-se uma abordagem para melhorar o roteiro da coleta de resíduos sólidos urbanos em uma área selecionada do município de Pombal - PB.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Otimizar o roteiro de coleta de resíduos sólidos em um setor do município de Pombal - PB.

### **2.2 Específicos**

- Definir um setor de coleta do município de Pombal - PB como estudo de caso;
- Fazer um levantamento do atual roteiro de coleta praticado no estudo de caso selecionado;
- Propor um roteiro aperfeiçoado para coleta de resíduos sólidos urbanos;
- Comparar o roteiro de coleta proposto com a situação atual.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Resíduos Sólidos

#### 3.1.1 Definição e Classificação

A Lei n.º 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), estabeleceu fundamentos, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, sendo considerado um grande avanço para mitigar os problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Segundo a lei 12.305/2010, resíduos sólidos é o material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser enquadrados nas seguintes classes:

- a) **Classe I** – perigosos: aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade.
- b) **Classe IIA** – não-perigosos e não inertes: aqueles que podem causar risco a saúde pública ou ao meio ambiente, apresentando características de biodegradabilidade, combustibilidade e/ou solubilidade em água.
- c) **Classe IIB** – não-perigosos e inertes: aqueles que, de acordo com suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

#### 3.1.2. Características e Geração de Resíduos Sólidos

Segundo a cartilha de limpeza urbana (IBAM, 2001), a origem é um dos principais elementos para a caracterização dos resíduos sólidos, agrupando-se em quatro classes: lixo residencial (resíduos sólidos gerados nas atividades domiciliares); lixo comercial (resíduos sólidos produzidos em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem das atividades exercidas no estabelecimento comercial); lixo público (resíduos da varrição, capina, entulho ou móveis descartados pela população nas vias públicas); lixo de fontes especiais (são resíduos com determinadas características que necessitam de cuidados especiais no seu acondicionamento, manipulação e disposição final, como por exemplo, o lixo industrial, hospitalar e radioativo).

Para a definição do serviço de limpeza urbana é necessário conhecer as características dos resíduos gerados, pois estes resíduos variam de acordo com diversos fatores, tais como atividades dominantes, número de habitantes, hábitos e costumes da população, poder aquisitivo da população, aspectos culturais e clima. É preciso ter uma percepção de que as cidades se transformam sem parar, ou seja, a atualização de dados deve ser feita de forma periódica em virtude das mudanças que vão ocorrendo ao longo do tempo. O conhecimento das características dos resíduos sólidos é importante para o acondicionamento, coleta, transporte, destinação dos resíduos sólidos e disposição final dos rejeitos. As características a serem avaliadas podem ser físicas (e.g., composição gravimétrica, peso específico e teor de umidade), químicas (e.g., poder calorífico, pH e relação carbono/nitrogênio), e biológicas (e.g., população microbiana e tipos de microorganismos).

### 3.1.3. Acondicionamento de Resíduos Sólidos

O acondicionamento é a primeira etapa no processo de remoção dos resíduos sólidos. É preciso que seja realizado em recipientes com tampas, confeccionados em material resistente e de formato que permita fácil acesso a limpeza (PAES, 2004). A maior dificuldade é a falta de informação para população acerca da melhor maneira de acondicionar os resíduos produzidos em domicílios, que deve ser compatível com o tipo e a quantidade de resíduos de forma a permitir uma maior qualidade na operação de coleta e transporte dos mesmos. Sendo assim, é necessária uma união entre os gestores municipais e a população, para melhor acondicionar e dispor os resíduos de acordo com os dias e horários especificados. Este processo educacional pode ser feito através de métodos de divulgação em massa, que melhor

informem a população. O resíduo bem acondicionado facilita o processo de coleta e diminui o risco de vetores e da poluição ambiental.

É preciso que se tenha uma separação dos resíduos na fonte geradora, pois é notável que a separação dos resíduos orgânicos (restos de alimentos, podas de árvores e entre outros) do material reciclável (papel, plásticos, vidro, latas, papelão) é de grande importância para a obtenção de um resíduo seco de maior qualidade para ser reciclado (PAES, 2004). Estima-se que os brasileiros jogam fora 76 milhões de toneladas de lixo, dos quais 30% poderiam ser reaproveitados, mas apenas 3% vão para a reciclagem. É preciso ter uma conscientização por parte dos gestores para apresentar e divulgar, por meio da mídia, em escolas e associações de bairro, a importância da coleta seletiva e a melhor maneira de acondicionamento dos resíduos para a população (ABRAPEL, 2014).

Para escolher os tipos de recipientes é necessário levar em considerações algumas características dos resíduos a serem acondicionados, como a sua geração, a frequência com que a coleta é feita, o tipo de edificação e o preço do recipiente (IBAM, 2001).

Xavier (2010) destaca que o recipiente para o acondicionamento do resíduo deverá atender às condições sanitárias, ter capacidade de armazenar o lixo produzido no intervalo de coleta e ser de fácil manuseio para facilitar a coleta. Os tipos de recipientes para os acondicionamentos dos resíduos sólidos domiciliares são: sacos plásticos, tambores e contêineres.

Castilhos Jr et. al. (2003) destacam que o acondicionamento dos resíduos sólidos deve ser compatível com as suas características qualitativas e quantitativas. Isto facilita a identificação e viabiliza o manuseio seguro dos resíduos durante as etapas de coleta, transporte e armazenamento.

#### 3.1.4. Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos

A coleta e o transporte equivalem, respectivamente, à remoção e à transferência dos resíduos sólidos urbanos para um local de armazenamento, processamento ou destinação final.

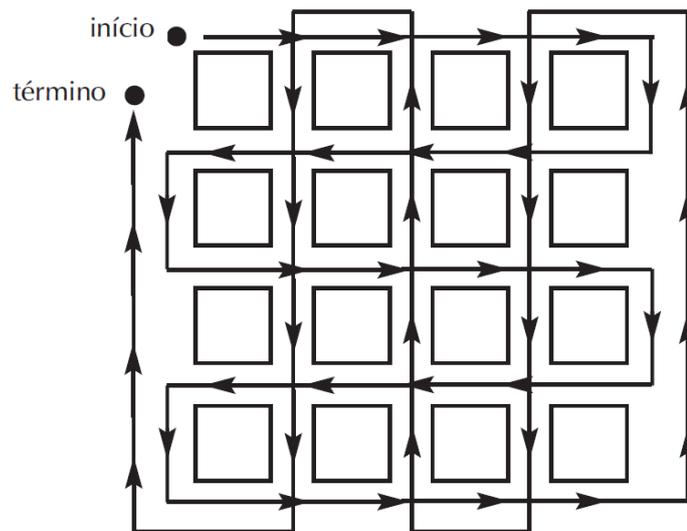
Cunha e Caixeta (2002) ressaltaram que a coleta de resíduos engloba desde a saída do veículo da garagem até o retorno ao ponto de partida. A coleta pode ser classificada em dois tipos: sistema especial de coleta (resíduos contaminados) e sistema de resíduos não contaminados. No caso dos resíduos não contaminados, a coleta pode ser convencional (não exige a separação na fonte geradora) ou seletiva (exige a separação na fonte geradora).

Segundo IBAM (2001), os tipos de transporte encontrados na limpeza urbana são: trator com reboque, caminhão baú ou prefeitura, caminhão basculante convencional e caminhão compactador. Para programar o roteiro de coleta é preciso estimar os recursos necessários e critérios operacionais (IPT, 1995).

### 3.2 Otimização do Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos

Em ambientes urbanos bem planejados é comum utilizar o método heurístico (Fig. 1) para determinação do roteiro de coleta. Este método visa minimizar os percursos improdutivos (IBAM, 2001). No entanto, em situações mais complexas, que levem em consideração os sentidos dos tráfegos, distribuição de casas nos bairros e outras condições, a definição do roteiro de coleta não é trivial.

**Figura 1:** Método heurístico para determinação da coleta de resíduos.



Fonte: IBAM (2001)

#### 3.2.1 Problemas de Roteamento em Arcos

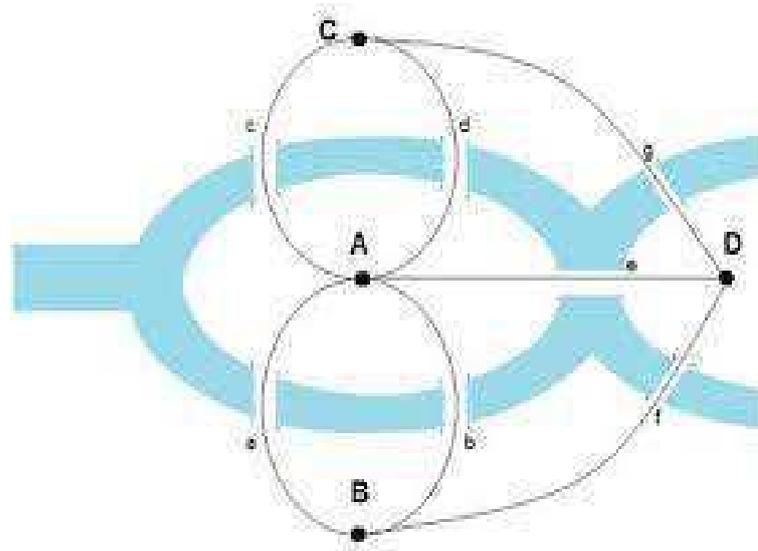
O principal objetivo do sistema de roteamento é percorrer as demandas localizadas em arcos ou em nós de uma rede de transportes (GOLDBARG & LUAN, 2005). Paes (2004) declara que o objetivo dos problemas de roteamento em arcos é indicar um circuito de custo

mínimo em subconjunto de arcos de um grafo<sup>1</sup>, desde que todos os arcos do subconjunto sejam cruzados ao menos uma vez, permitindo o circuito ter ou não restrições. Neste caso, pode-se analisar um roteamento de um veículo por vez ou vários veículos ao mesmo tempo.

### 3.2.2 Grafos de Euler

O grafo de Euler surgiu quando o matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783) tentou resolver o problema das Pontes de Königsberg de acordo com Nicoletti e Hruschka Jr (2006). Tal problema consistiu em gerar uma rota em que se pudesse passar em cada uma das sete pontes exatamente uma vez e voltar ao ponto de origem. No entanto, verificou-se que era impossível conseguir resolver este problema. Na Fig.2 encontra-se o problema das Pontes de Königsberg e o seu respectivo grafo.

**Figura 2:** Grafos da ponte de konigsberg



**Fonte:** Google imagens

Posteriormente, definiu-se que o grafo de um determinado problema seria considerado um grafo de Euler se permitisse um passeio ou *tour* que incluísse todas as suas arestas exatamente uma vez (MORO, 2013). Segundo Konawalenko (2012), um circuito é dito euleriano quando se percorre todas as suas arestas (sem repetição) e retorna-se ao ponto de partida.

<sup>1</sup> Um grafo é formado por dois conjuntos, na qual um conjunto é os vértices e outro conjunto os arcos, assim cada arco estão associados a dois vértices.

### 3.2.3 Problema do Carteiro Chinês

Para Konawalenko (2012), o problema do carteiro chinês (PCC) é um problema de aperfeiçoamento de quaisquer tipos de rotas que visa cobrir todos os arcos de um grafo, minimizando a distância total percorrida. A rota do carteiro chinês difere do circuito euleriano por permitir, se necessário, a repetição de arestas. O PCC pode ser aplicado a grafos não direcionados (ruas de mão dupla), direcionados (ruas de mão única) ou mistos (algumas ruas de mão dupla e outras de mão única).

Desde o surgimento do PCC, ele vem ganhando muita atenção de pesquisadores e empresas que trabalham com logística, principalmente quando se trata das logísticas urbanas.

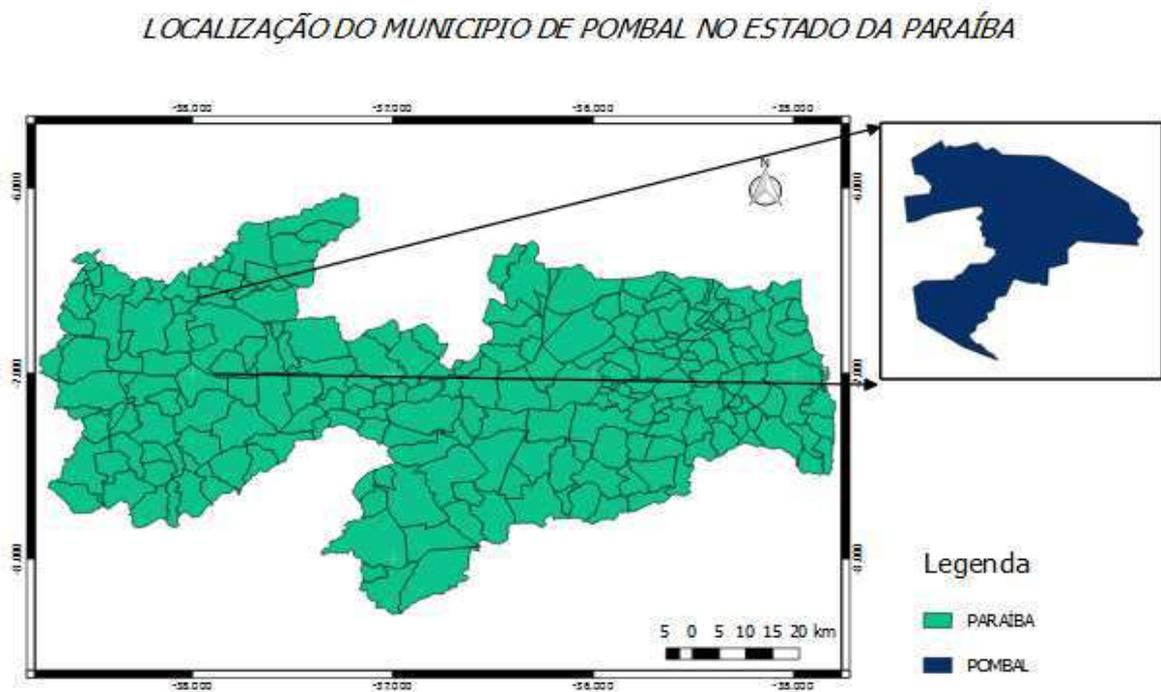
No caso do PCC não direcionado ou simétrico o percurso euleriano só será possível se o grafo for adaptado para possuir um número par de arestas ligadas a todos os vértices no grafo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

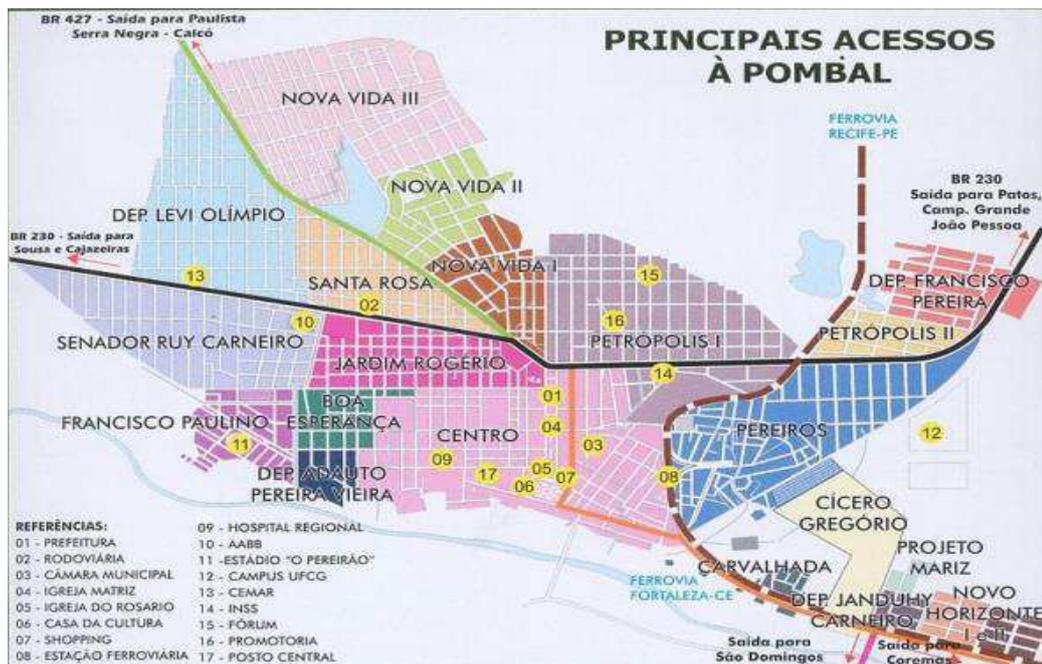
A cidade de Pombal-PB está localizada geograficamente na latitude sul  $06^{\circ}46'13''$  e longitude oeste  $37^{\circ}48'06''$ , conforme mostrado na Fig.3 Na Fig.4 é mostrado o mapa do município de Pombal-PB, onde se pode notar sua área urbana e os bairros existentes na cidade. De acordo com dados do IBGE (2010), a população total do município de Pombal-PB em 2010 era de 32.110 habitantes.

**Figura 3:** Mapa da Paraíba. Em destaque, o município de Pombal-PB.



Fonte: Autor (2016).

**Figura 4:** Mapa de Pombal, com os bairros e as principais rotas.



**Fonte:** Google imagens (2016).

## 4.2 Definição do Setor de Coleta de Resíduos Sólidos

Nesta etapa foram realizadas visitas de campo e entrevistas junto aos responsáveis pela coleta de resíduos sólidos no município de Pombal-PB, a fim de se obter um melhor entendimento dos roteiros atuais de coleta, e para escolha de um estudo de caso para aplicação da metodologia de otimização.

## 4.3 Levantamento do Atual Roteiro de Coleta para o Estudo de Caso

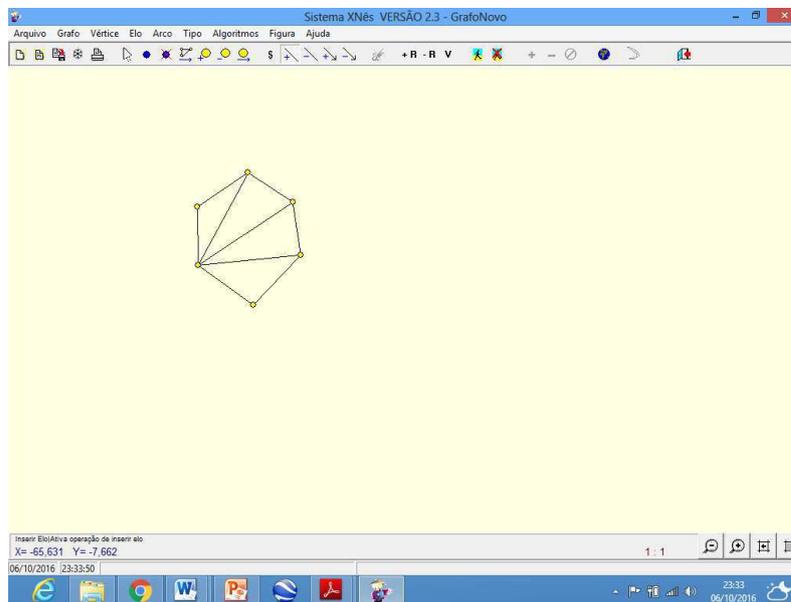
Levantaram-se os principais aspectos da roteirização de coleta no município de Pombal-PB, com especificidade para o trecho escolhido como estudo de caso. Para isto, foram realizadas visitas de campo, uso do aplicativo Google Earth© e o acompanhamento do caminhão de coleta durante alguns dias de trabalho.

O aplicativo Google Earth© foi utilizado para identificar a rota atual e as distâncias entre os vértices da malha viária correspondentes ao estudo de caso.

#### 4.4 Proposição de Roteiro Otimizado para Coleta de Resíduos

Para esta etapa, utilizou-se o software XNÊS para encontrar a melhor rota possível para se realizar a coleta de resíduos para o estudo de caso definido. O *software* XNÊS foi criado para gerar grafos (simétrico, orientados e/ou mistos) e soluções exatas para o Problema do Carteiro Chinês. Mais informações sobre o funcionamento do *software* poderão ser encontradas no trabalho de Negreiros et al. (2009). Na Fig.5 é possível visualizar a interface do *software* XNÊS.

**Figura 5:** Interface do software XNES



**Fonte:** Autor (2016)

#### 4.5 Comparação dos Roteiros de Coleta

Consiste em comparar o roteiro aperfeiçoado por meio do PCC com a rota atual de coleta realizada no trecho do estudo de caso. Para isto, considerou-se o comprimento dos percursos realizados e a porcentagem de ruas percorridas durante os trajetos.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Roteiro de Coleta Atual**

A coleta dos resíduos no município de Pombal-PB é realizada por uma empresa terceirizada, efetuada por meio de um caminhão coletor-compactador e por caçamba. O caminhão coletor-compactador tem a capacidade equivalente a 10 t. considerando o peso específico do lixo igual a  $270 \text{ kg/m}^3$ . As rotas atuais de coleta de resíduos domiciliares e comerciais se concentram em quatro setores, sendo realizadas pela empresa terceirizada Construtoras Ferreira. A partir das visitas de campos, optou-se por adotar o setor de coleta ilustrado na Fig.6.

**Figura 6:** Mapeamento da rota de coleta atual



Fonte: google earth 1.3.29.5 (2016)

O serviço de coleta no setor escolhido é realizado diariamente, pois no mesmo está localizado o maior número de domicílios e comércios. Na Tab. 1 apresentam-se as distâncias e os horários de coleta realizados durante a semana no setor escolhido.

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Horário	Manhã e Tarde	Manhã	Manhã	Manhã	Manhã
Distância Percorrida	37 km	26 km	31 km	26 km	31 km

Fonte: Autor (2016)

Neste setor, também conhecido como Rota do Centro, apenas um caminhão coletor da empresa Construtora Ferreira é utilizado. A equipe da coleta é composta por três funcionários, sendo um motorista e dois garis.

Neste estudo, escolheu-se parte do roteiro da Rota do Centro como estudo de caso. Na Fig. 7 mostra-se o percurso realizado pela Construtora Ferreira para este trecho.

**Figura 7:** Atual rota do estudo de caso



Fonte: Google Earth

É possível verificar na Fig. 7 que rota atual do caminhão não cobre todas as ruas do caso escolhido, havendo a necessidade de espera do caminhão pelo recolhimento do lixo pelos garis. Utilizando a ferramenta régua do *Google Earth*®, encontrou-se uma distância total percorrida pelo caminhão igual a 5.684,50 m para o estudo de caso.

## 5.2 Roteiro Otimizado para Coleta de Resíduos

O *Google Earth*® foi utilizado para cadastrar os pontos geográficos em ordem numérica, conforme mostrado na Fig.8. Ademais, o *Google Earth*® foi usado para determinar a distância linear entre cada um dos pontos geográficos visando à montagem do grafo no software XNÊS (Fig.8).

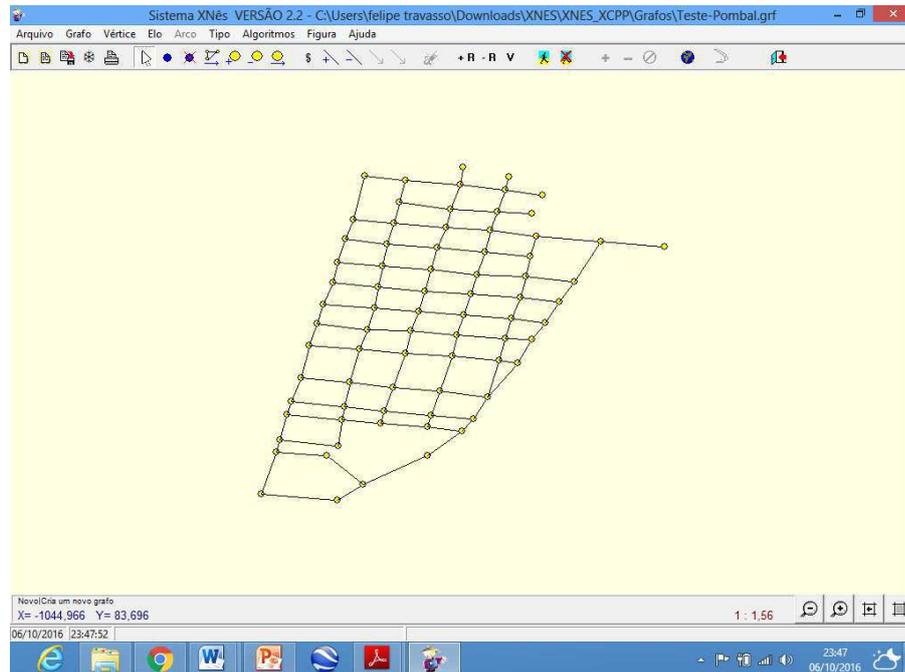
**Figura 8:** Atual rota com os pontos geográficos cadastrados



Fonte: Google Earth

Na Fig.9 apresenta o grafo da rota do estudo de caso do município de Pombal-PB. O grafo foi determinado por meio do mapa municipal e com a ajuda do *Google Earth*© foi possível determinar as distâncias entre os pontos geográficos.

**Figura 9:** Grafo determinado para o estudo de caso no software XNÊS

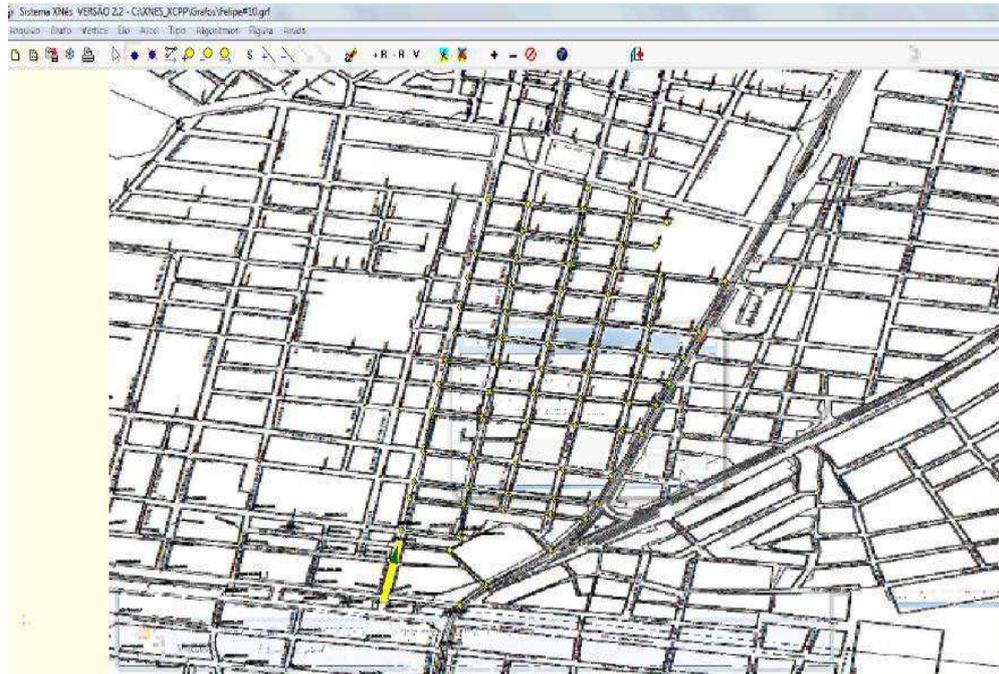


**Fonte:** Autor (2016).

O XNÊS foi ajustado para o modo simétrico e gerou a rota ótima com um percurso total igual a 8393,36 m, que corresponde a uma cobertura de 100% das arestas ou ruas.

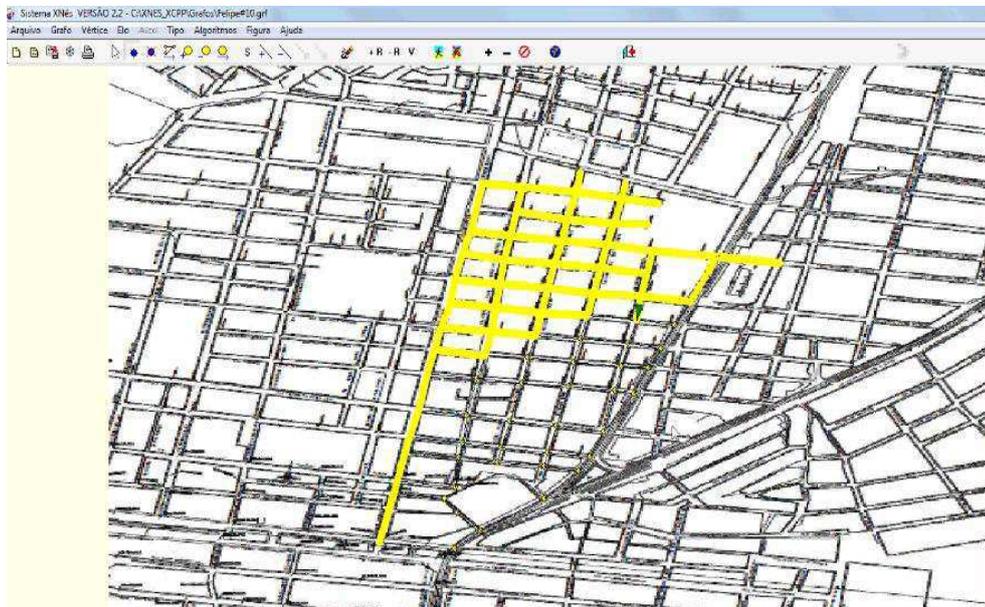
Nas Figuras 10, 11 e 12 é possível observar o início, meio e fim do percurso ótimo gerado no XNÊS para o grafo que representa o estudo de caso.

**Figura 10:** Início da rota realizada pelo software XNÊS



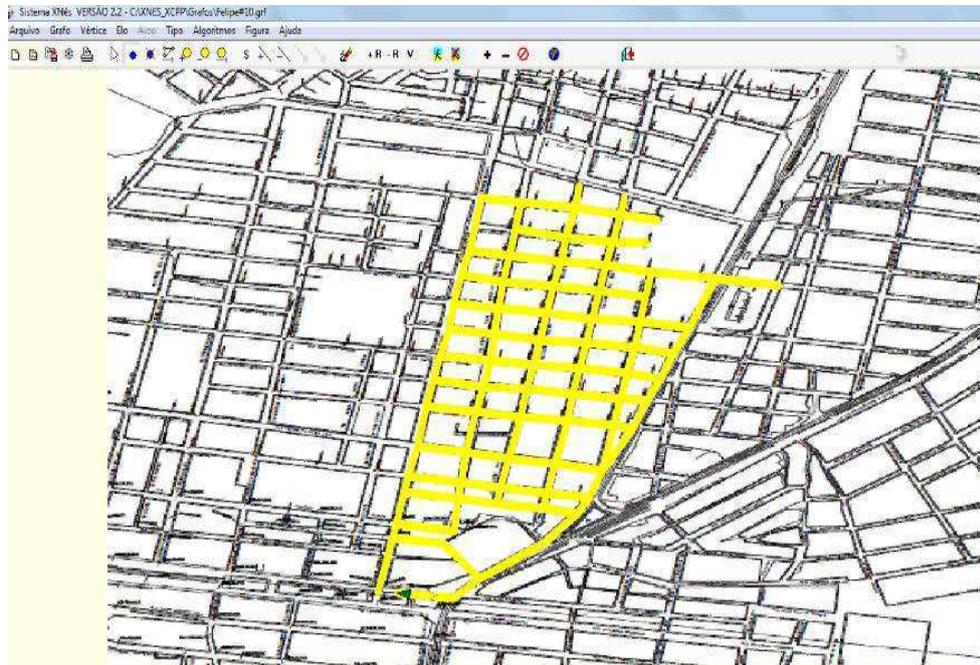
**Fonte:** Autor (2016)

**Figura 11:** Meio da rota realizada pelo software XNÊS



**Fonte:** Autor (2016)

**Figura 12:** Fim da rota realizada pelo software XNÊS



**Fonte:** Autor (2016)

Na Fig 13 encontra-se a solução na forma de texto realizada pelo *software* XNÊS, com todo o percurso e seguindo a roteirização em ordem, conforme numeração dos pontos geográficos da Fig. 8.

**Figura 13:** Solução texto realizada pelo software XNÊS

```

Visualização da Solução
Arquivo  Editar  Formatar  Palavra
[Icons]
Solucao.Txt
Grafo: C:\Users\Felipe travasso\Downloads\XNÊS\XNÊS_XCPP\Grafos\Teste-Pombal.grf
Tipo: Simétrico
Nº de Vértices: 76
Nº de Elos: 125
Nº de Arcos: 0
Origem do Percurso: 1
*** PERCURSO ***
1 - 4 - 6 - 9 - 14 - 19 - 24 - 30 - 36 - 42 - 48 -
54 - 59 - 70 - 71 - 66 - 71 - 72 - 75 - 72 - 67 -
72 - 73 - 76 - 73 - 74 - 73 - 68 - 69 - 68 - 67 -
68 - 62 - 61 - 67 - 66 - 60 - 59 - 54 - 55 - 60 -
61 - 56 - 55 - 49 - 49 - 42 - 43 - 49 - 50 - 56 -
57 - 62 - 63 - 58 - 57 - 51 - 50 - 44 - 43 - 37 -
36 - 30 - 31 - 37 - 38 - 44 - 45 - 51 - 52 - 58 -
63 - 64 - 65 - 64 - 53 - 52 - 46 - 45 - 39 - 38 -
32 - 31 - 25 - 24 - 19 - 20 - 25 - 26 - 32 - 33 -
39 - 40 - 46 - 47 - 53 - 47 - 41 - 40 - 34 - 33 -
27 - 26 - 21 - 20 - 15 - 14 - 9 - 10 - 15 - 16 -
21 - 22 - 27 - 28 - 34 - 35 - 41 - 35 - 29 - 28 -
23 - 29 - 23 - 22 - 17 - 16 - 11 - 12 - 17 - 18 -
23 - 18 - 13 - 12 - 11 - 10 - 7 - 6 - 4 - 5 -
3 - 8 - 13 - 8 - 3 - 2 - 1
Custo Total do Percurso : 839336
  
```

**Fonte:** Autor (2016)

### **5.3 Comparação dos Roteiros de Coleta**

Na rota realizada atualmente, o caminhão percorre 5.684,50 m, cobrindo 66,68% das ruas no trecho escolhido como estudo de caso. Esta situação exige que os garis percorram distâncias longas entre os pontos de coleta de resíduos e o caminhão para as ruas em que o veículo não transita. Com isto, acredita-se que haja uma oneração no serviço de coleta em virtude do maior tempo necessário para conclusão da rota. Em contrapartida, a rota aperfeiçoada permite que o caminhão cubra 100% das ruas em 8393,36 m, permitindo que a coleta seja realizada com mais rapidez e eficiência.

## 6 CONCLUSÕES

Considerando os resultados encontrados pode-se dizer que o objetivo dessa pesquisa na área selecionada foi alcançado, pois a metodologia desenvolvida foi executada e foram obtidos resultados adequados na otimização do percurso de coleta de resíduos sólidos.

Verificou-se que a empresa responsável atualmente não cobre todas as ruas na coleta, indicando que há uma perda de tempo e um esforço excessivo no deslocamento de garis até os pontos de recolhimento dos resíduos. Já no roteiro encontrado pelo software XNÊS, a cobertura das ruas é total, o que diminui o percurso dos garis e o tempo de coleta.

Com a adoção da rota aperfeiçoada é possível reduzir os gastos pela Construtora Ferreira e o tempo de percurso nos roteiros de coleta.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2014. Disponível em:< <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>> Acesso em: 07 maio. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em:< <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>> Acesso em: 07 maio. 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos-Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT 2004, 71p.

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. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, D.F., 03 agos. de 2010, Seção 1, p. 3.

CANALES, G.P., MORALES, G. **Introdução a Sistemas de Transporte**. Apostila de Disciplina. Relatório Técnico 3.2002. Laboratório de Engenharia de Produção, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos do Goytacazes, Rio de Janeiro.

CARVALHO, L.E.X. **Desenvolvimento de solução integrada de sistemas de limpeza urbana em ambiente SIG**. 2001. 340 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001

CASTILHOS JUNIOR, A. B; LANGE, L. C, GOMES, L. P; PESSIN, N. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro: Rima: ABES, 2003. 294 p.

CUNHA, V., CAIXETA F.J.V (2002). **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos Urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas, gestão & Produção**,v. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.

FERNANDES, D. L. **Proposição de alternativas e ações para universalização dos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos no município de Pombal-PB**. 2016. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Campina Grande, Pombal.

Goldberg, M. C. & Luna, H. P. L. (2005). *Otimização Combinatória e programação linear*. Editora Campus, 2 edição.

GOMES, Marcos Jose Negreiros et al. O problema do carteiro chinês, algoritmos exatos e um ambiente mvi para análise de suas instâncias: sistema XNÊS. Pesquisa operacional, Fortaleza, v.29, n.2, p. 323-363, Maio a Agosto de 2009.

**IBAM (2001)** - Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Secretaria Especial do Desenvolvimento Urbano (SEDU), Governo Federal.

**IBGE (2010)** - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, <<http://www.ibge.gov.br>, >Acesso em: 10 de maio. 2016.

IPT (1995). *Lixo Municipal: Manual de Desenvolvimento Integrado*. Relatório Técnico, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP.

KONOWALENKO, Flávia. **Problema do carteiro chinês não-orientado e misto para a otimização de rotas na cidade de Irati/PR**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Disponível em: < [http://www.resol.com.br/cartilha4/coleta/coleta\\_1.php](http://www.resol.com.br/cartilha4/coleta/coleta_1.php)>. Acesso em 30 de setembro de 2016.

MONTEIRO, J.H.P. et al. Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro. IBAM, 2001.

MORO, Matheus Fernando. **O Problema do carteiro chinês aplicado na otimização de rotas usadas na coleta de lixo reciclável: um estudo de caso**. 2013.59 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira.

NICOLETTI, M.C.; FIGUEIRA, L.B.; HRUSCHKA JR., E.R. **Trasferring neural network based knowledge into an exemplar-based learner**, *Neural Computing & Applications*, vol. 1, pp. 10-20, 2007.

PAES, F. G. **Otimização de rotas para a coleta do lixo doméstico: um tratamento grasp do problema do carteiro chinês misto (PCCM)**. 2004. 129 f. Dissertação (Mestre em Engenharia)- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro. 2004.

XAVIER, R. S. **Modelagem e Minimização do Consumo de Combustível para rotas de coleta de lixo**. 2010. 85 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.