
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA – DECART
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

AMANDA BEZERRA MATIAS

**TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA NA LOCALIZAÇÃO DE
PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA PARA COLETA SELETIVA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE TERESINA - PIAUÍ**



Recife

2017

AMANDA BEZERRA MATIAS

**TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA NA LOCALIZAÇÃO DE
PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA PARA COLETA SELETIVA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE TERESINA - PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação,

Área de concentração: Cartografia e Tecnologia da Geoinformação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M433t	<p>Matias, Amanda Bezerra.</p> <p>Tecnologia da geoinformação aplicada na localização de pontos de entrega voluntária para coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos da cidade de Teresina - Piauí / Amanda Bezerra Matias. – 2017. 90 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2017. Inclui Referências e Apêndices.</p> <p>1. Engenharia Cartográfica. 2. Sistema de informação geográfica. 3. Resíduos sólidos urbanos. 4. Coleta seletiva. 5. Roteamento. I. Sá, Lucilene Antunes Correia Marques de. (Orientadora). II. Título.</p>
526.1 CDD (22. ed.)	UFPE BCTG/2017-337

AMANDA BEZERRA MATIAS

**TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA NA LOCALIZAÇÃO DE
PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA PARA COLETA SELETIVA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE TERESINA - PIAUÍ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 22/ 06/ 2017

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Luiz Portugal (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro (Examinadora Externa)
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

A Deus, por ser essencial em minha vida, ao meu pai Edvar Matias Lima Verde e minha mãe Marias da Conceição Bezerra da Silva Matias, pelo sacrifício e dedicação para que eu chegasse até esta etapa de minha vida, e a todos os meus familiares pelo apoio e carinho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos de mestrado, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço a minha mãe Maria da Conceição Bezerra da Silva Matias, que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço e ao meu pai Edvar Matias Lima Verde, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que pra mim foi muito importante.

À Professora Dra. Lucilene Antunes pelas orientações, dedicação, incentivos e apoio, nesses dois anos de mestrado.

Aos professores de graduação do IFPI – Instituto Federal do Piauí, que hoje são meus colegas de trabalho, em especial ao professor Msc Eduilson Livio e Msc Liliam Melo pelas orientações e apoio durante toda a construção da minha pesquisa.

Às minhas amigas de colégio e de vida Karol, Talita e Iara. À minha amiga Stella Batista pela paciência, companheirismo e conselhos que sempre me fortaleceram. Aos colegas de turma do Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, em especial ao Ermerson Vasconcelos e Heithor Alexandre, pelas conversas, ajudas e que sem eles eu não teria conseguido.

À PROPESQ/UFPE pela bolsa de pesquisa CAPES/PROPESQ e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aos Professores do programa e aos professores da banca examinadora, pelos ensinamentos, contribuições, propostas para esta dissertação e para o meu enriquecimento profissional.

Por fim, agradeço a todos que de uma certa forma contribuíram, direta e indiretamente, para que eu conseguisse concluir esta etapa.

RESUMO

No Brasil, a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos aborda alternativas para melhorar o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, uma delas é estabelecer a implementação de programas de reciclagem. Muitos municípios enfrentam desafios em adaptar o modelo de coleta convencional para a modalidade de coleta seletiva. Diante dessa dificuldade esta pesquisa teve como objetivo propor a localização de novos pontos para a instalação e redistribuição de contentores de armazenamento de materiais recicláveis, conhecidos por PEV – Pontos de Entrega Voluntária, aplicando Tecnologias da Geoinformação. Partiu-se da hipótese que, ao adotar a instalação de PEV em áreas mais próximas as residências a população passará a intensificar a sua participação no que tange a separação e armazenamento de materiais recicláveis. A metodologia consistiu: na caracterização das áreas mais adequadas para a instalação dos PEV, na estimativa de distribuição dos pontos por meio da quantidade de pontos necessários para cada bairro e nas análises de distância a partir de algoritmo de roteamento. A primeira etapa da metodologia foi a criação de um Modelo de Dados Espaciais para a representação dos elementos geográficos aplicados ao problema de localização e a sua implementação em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados. A segunda etapa foi a definição das áreas de praças, parques e alguns estabelecimentos comerciais como sendo as áreas mais adequadas para a instalação dos PEV. A terceira etapa foi o cálculo da quantidade de PEV necessária para cada bairro que levou em consideração uma estimativa da quantidade de resíduos potencialmente recicláveis coletados semanalmente. A quarta etapa consistiu na geração de uma rede topológica e na execução do algoritmo de roteamento *Dijkstra* para calcular a menor distância entre as residências e as áreas propícias a instalação de PEV. Dos resultados da pesquisa foram propostos 34 PEV distribuídos pelos 23 bairros da zona centro da área urbana da cidade de Teresina. Desta pesquisa observou-se que a proposta de localização para a instalação de novos PEV, utilizando Tecnologia da Geoinformação para representar os elementos geográficos e aplicar análises espaciais no apoio a tomada de decisão, obteve bons resultados e conseguiu alcançar uma cobertura de mais de 80%.

Palavras-chave: Sistema de informação geográfica. Resíduos sólidos urbanos. Coleta seletiva. Roteamento.

ABSTRACT

In Brazil, the National Solid Waste Policy (PNRS) addresses alternatives to improve the management of urban solid waste, one of which is to establish the implementation of recycling programs. Many municipalities face challenges in adapting the conventional collection model to the selective collection mode. Faced with this difficulty, this research aimed to propose a methodology for the definition of the location of points for the installation of containers of storage of recyclable materials, known as VDP - Voluntary Delivery Points, applying Geoinformation Technologies. Starting from the hypothesis that, by adopting the installation of VDP in areas closer to the residences, the population will intensify its participation in the separation and storage of recyclable materials. The methodology consisted: at characterization of the most suitable areas for the installation of the VDP, in the estimation of the distribution of the points by means of the number of points required for each neighborhood and in the distance analysis from a routing algorithm. The first step of the methodology was the creation of a Spatial Data Model for the representation of the geographical elements applied to the localization problem and its implementation in a Database Management System. The second stage was the definition of the areas of squares, parks and some commercial establishments as being the most suitable areas for the installation of the VDP. The third step was to calculate the amount of VDP needed for each neighborhood that took into account an estimate of potentially recyclable waste collected weekly. The fourth step consisted in the generation of a topological network and in the execution of the Dijkstra routing algorithm to calculate the shortest distance between the residences and the propitious areas for the installation of VDP. As a result of the research, 34 VDP were distributed in the 23 neighborhoods of the central zone, urban area of the city of Teresina. The research allowed to observe that the location proposal for the installation of VDP, using Geoinformation Technology to represent the geographic elements and to apply spatial analysis to support decision making, reached a coverage of more than 80% of the study area.

keywords: Geographic information system. Urban solid waste. Selective collect. Routing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição das pesquisas por tipo de TIC.....	20
Figura 2 – Distribuição do número de estudos por país.....	21
Figura 3 – Componentes de programação e aplicação que constroem o SIG.....	22
Figura 4 – Níveis da Modelagem de Dados Espaciais.....	23
Figura 5 – Estrutura de Dados Espaciais	26
Figura 6 – Ordem de prioridade do manejo dos resíduos sólidos.	30
Figura 7 – Existência de serviços de coleta seletiva para os municípios brasileiros no ano de 2015. 32	
Figura 8 – Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pela coleta seletiva dos municípios participantes do SNIS-RS em 2015, por agente executor.	32
Figura 9 – Percentual de municípios para cada modalidade de coleta seletiva.	34
Figura 10 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.	35
Figura 11 – Mapa de Localização do Município de Teresina – Piauí.	36
Figura 12 – PEV de maior porte com capacidade volumétrica de 2500 litros/cada.....	38
Figura 13 – PEV de menor porte (PEVINHO) com capacidade volumétrica de 300 litros/cada.	39
Figura 14 – Caracterização e localização dos PEV em Teresina - Piauí.	40
Figura 15 – Modelo Conceitual de Dados Espaciais.....	44
Figura 16 – Mapa da Distribuição dos Bairros da Zona Centro de Teresina e a Tabela Com a População Para Cada Bairro.	48
Figura 17 – Visualização das tabelas dentro do banco Postgres/PostGIS.....	51
Figura 18 – Análise de proximidade com a ferramenta do complemento GRASS.....	55
Figura 19 – Exemplo de interseção entre arcos.	56
Figura 20 – Exemplo de interseção entre arcos onde não pode haver quebra de arcos.	57
Figura 21 – Topologia de arco e nó.....	60
Figura 22 – Distribuição dos pontos propostos para a instalação de PEV.....	70
Figura 23 – Rotas determinadas com percurso de 500 metros partindo dos PEV propostos.	72
Figura 24 – Rotas determinadas com percurso de 500 metros partindo dos pontos já existentes.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos comerciais credenciados no sistema de coleta seletiva.....	38
Tabela 2 – Localização dos Pontos de Entrega Voluntária em Teresina - Piauí.....	39
Tabela 3 – Descrição dos dados do modelo de representação.....	45
Tabela 4 – Relação de bairros com a quantidade de recicláveis gerada semanalmente em kg.	52
Tabela 5 – Número de Pontos de Entrega Voluntária estimado para cada bairro.....	53
Tabela 6 – Número de Pontos de Entrega Voluntária estimado para cada bairro e quantidade de elementos da classe Local_pev_p existentes em cada bairro.	54
Tabela 7 – Resultados do Bairro Redenção.....	64
Tabela 8 – Resultados do Bairro Tabuleta.	64
Tabela 9 – Resultados do Bairro Piçarra.....	65
Tabela 10 – Resultados do Bairro Cabral.....	65
Tabela 11 – Resultados do Bairro Matinha.	65
Tabela 12 – Resultados do Bairro Marquês de Paranaguá.....	66
Tabela 13 – Resultados do Bairro Nossa Senhora das Graças.....	66
Tabela 14 – Resultados do Bairro Cristo Rei.	66
Tabela 15 – Resultados do Bairro Três Andares.....	67
Tabela 16 – Resultados do Bairro São Pedro.	67
Tabela 17 – Resultados do Bairro Vermelha.....	68
Tabela 18 – Resultados do Bairro Ilhotas.	68
Tabela 19 – Resultados do Bairro Monte Castelo.....	69
Tabela 20 – Resultados do Bairro Centro.	69
Tabela 21 – Número de PEV propostos para cada bairro.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CELIMP - Coordenação Especial de Limpeza Pública
- CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem
- GPS – Sistema de Posicionamento Global
- GRSU - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MDE – Modelagem de Dados Espaciais
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- OGC- Open Geospatial Consortium
- OMT-G - *Object Modeling Technique for Geographic Applications*
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PEV – Ponto de Entrega Voluntária
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- RFID – Identificador de Radiofrequência
- RIDE – Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina
- SEMPLAM - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina
- SENDUH - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação
- SDU – Superintendência de Desenvolvimento Urbano
- SDR – Superintendência de Desenvolvimento Rural
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
- SNIS-RS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento em seu componente sobre Resíduos Sólidos
- TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
- UML – *Unified Modeling Language da Rational Software Corporation*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos da Pesquisa	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Estruturação da Pesquisa	16
2	TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	17
2.1	Sistemas de Informações Geográficas	19
2.1.1	Componentes Básicos de um SIG	21
2.2	Modelagem de Dados Espaciais	23
3	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	28
3.1	Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos	30
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	35
4.1	Procedimento Metodológico	35
4.2	Caracterização da Área de Estudo	35
4.3	Recursos Tecnológicos	40
4.3.1	Base de Dados Espaciais	40
4.3.2	Programas Computacionais	41
4.3.3	Equipamentos Eletrônicos e Computacionais	41
5	MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS PARA LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA	42
5.1	Modelo Conceitual	42
5.2	Modelo de Implementação	47
5.2.1	Criação da base de dados dentro do Postgres/PostGIS	47
5.3	Etapas para localização de Pontos de Entrega Voluntária	51
5.4	Criação da Rede Topológica	56

5.5	Análise de Roteamento – Algoritmo Dijkstra.....	60
5.6	Resultados e Discussões	62
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – SCRIPTSQL DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL NO POSTGRES/POSTGIS	81
	APÊNDICE B – ALGORITMO DE CAMINHO MÍNIMO DIJKISTRA	87

1 INTRODUÇÃO

A promoção do desenvolvimento sustentável é uma preocupação mundial. A ONU – Organização das Nações Unidas, na sua 70ª assembleia Geral, que ocorreu em setembro de 2015, definiu os objetivos e metas da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, na qual os países membros teria o prazo de 15 anos para cumprir com o que foi acordado. Nesta Agenda é colocado que para a redução dos impactos ambientais negativos é necessário uma atenção sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos. E dentre as metas propostas estava a redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

A PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos foi criada para enfrentar os principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. A PNRS foi instituída através da Lei nº. 12.305, no ano de 2010. A Lei propõe a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS, a responsabilidade da destinação dos resíduos sólidos deveria ser compartilhada entre os geradores de resíduos, os cidadãos e os titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos, devendo ser aplicada uma logística reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo. Além de criar metas para a eliminação dos lixões, que foi de quatro anos, ou seja, a partir de 2 de agosto de 2014 os lixões deveriam estar extintos. Fato que não ocorreu.

A lotação das áreas de destinação e a escassez de planejamento e tratamento dos resíduos sólidos são problemas que estão cada vez mais presentes nas discussões sobre a GRSU - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Essa problemática vem ocorrendo no mundo todo.

Dentre as ações previstas na PNRS estava em chegar no ano de 2015 com o índice de reciclagem de resíduos sólidos de no mínimo 20% (BRASIL, 2010). Mas, de acordo com o SNIS-RS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, no seu componente sobre Resíduos Sólidos, o indicador médio *per capita* de resíduos sólidos coletados seletivamente no ano de 2015 foi de 17,1kg/hab/ano, o que corresponde a 4,7% do total de resíduos domiciliares e públicos coletados (SNIS, 2017).

O SNIS-RS (2017), estima que, se for atribuído 30% de total de resíduos coletados, à fração de materiais potencialmente recicláveis, a massa coletada de forma seletiva não

alcançaria 15% de todo material potencialmente recicláveis, ou seja, no ano de 2015 não foi alcançada a meta de no mínimo 20% de reciclagem no País.

A PNRS indica que devem ser empregados os avanços tecnológicos, pois os produtos consumidos apresentam cada vez composições mais complexas, incluindo compostos perigosos, que apresentam uma vida útil curta e logo são descartados (CHALKIAS; LASARIDI, 2011). Todos esses resíduos despejados em aterros sanitários, sem nenhum tipo de tratamento, dependem da decomposição realizada pela própria natureza. Chalkias e Lasaridi (2011) afirmam que, a Terra está ficando sem espaço para acomodar a grande quantidade de resíduos sólidos gerados e os recursos naturais que são capazes de realizar a autolimpeza dos sistemas já se encontram sob estresse.

O Brasil apresentou avanços na implantação de programas de coleta seletiva, mas encontra-se ainda em fase inicial. De acordo com o SNIS-RS apenas 22,5% dos municípios brasileiros possuíam programas de coleta seletiva para o ano de 2015, em sua maioria, não abrangia toda a população urbana (SNIS, 2017).

Segundo Campos (2014) um dos maiores desafios enfrentados pelos municípios estão relacionados com a dificuldade de mobilizar a população para a separação de materiais recicláveis. Oliveira e Paschoalin Filho (2016) pontam que, uma das principais questões que permitem a contribuição voluntária da população está relacionada à localização dos equipamentos de coleta, isto é, os pontos de entrega deverão estar próximos aos usuários para não atrapalhar a sua rotina cotidiana, como é o caso dos PEV – Ponto de Entrega Voluntária. Portanto, a distribuição dos PEV em locais predefinidos seria um fator importante para solução dos problemas dos resíduos.

As Tecnologias da Geoinformação podem auxiliar no posicionamento dos PEV, através da Cartografia e dos Sistemas de Informações Geográficas. Bem como, das etapas de coleta e destinação final dos resíduos sólidos. Segundo o IBGE (2011), os processos de coleta e o destino final dos resíduos são os mais importantes, pois interferem direta e indiretamente no cotidiano da sociedade e também sobre o meio ambiente.

Como discutido, são necessários planejamentos de serviços focados no uso de elementos geográficas para oferecer um contexto operacional, tático e estratégico para decisões que envolvam a questão fundamental: onde? (LONGLEY et al. 2013).

A pesquisa teve como objetivo um estudo sobre a aplicação de Tecnologias da Geoinformação no processo de distribuição e localização de novos PEV para a coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos com base em Modelagem de Dados Espaciais e em Sistemas de

Informações Geográficas, para subsidiar a operacionalização e adequação da Política Nacional de Resíduos Sólidos da cidade de Teresina – Piauí.

Na pesquisa foi empregada a MDE – Modelagem de Dados Espaciais, onde foram definidas as variáveis envolvidas e seus relacionamentos, o que possibilitou a construção de uma base de dados espaciais. A base de dados espaciais foi implementada em um SIG – Sistemas de Informações Geográficas, a partir do qual foram desenvolvidas análises espaciais para determinação da posição dos PEV.

No que se refere as análises espaciais, o SIG permitiu a redução de informações em unidades menores, como por exemplo, filtrar apenas os lotes que pertencem a categoria residencial, separar os elementos geográficos que representam as áreas de praças, parques e estabelecimentos comerciais, como também permitiu calcular as distâncias respeitando uma rede topológica representando o comprimento das vias.

Na determinação da localização de áreas para a instalação de PEV foram analisados uma série de critérios que influenciam na quantidade e na distribuição desses pontos. Um primeiro critério foi a análise de roteamento, áreas de influência dos PEV, onde devam ser instalados e que a distância dos deslocamento da população não ultrapasse 500m de caminhada até os PEV. Outro critério foi a caracterização das áreas, sendo o foco da reciclagem abranger as áreas residenciais. Quanto ao acesso, as áreas teriam que permitir a circulação de veículos coletores, como também estar disponível a população em qualquer hora e dia da semana (BRINGHENTI, 2004).

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia para a distribuição e ampliação de Pontos de Coleta Seletiva de resíduos sólidos urbanos empregando Tecnologias da Geoinformação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Construir um modelo conceitual e implementar, a partir de dados do cadastro urbano, na cidade de Teresina - Piauí;
- Identificar áreas para localização de instalação de Pontos de Entrega Voluntária considerando uma análise espacial;
- Gerar uma rede topológica para executar análise de roteamento;

- Analisar os resultados quanto a abrangência dos Pontos de Entrega Voluntária propostos e comparar com os PEV já existentes na área de estudo.

1.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

Capítulo 1 – Introdução e Objetivos. Neste capítulo é exposta a ideia da pesquisa, bem como a problemática e a justificativa para escolha do tema. Também são apresentados os objetivos geral e específicos.

Capítulo 2 – Trata de um levantamento teórico sobre conceitos e consideração relativos as Tecnologias da Geoinformação aplicadas em programas de coleta seletiva, abordando os Sistemas de Informações geográficas e Modelagem de Dados Espaciais.

Capítulo 3 – São os levantamentos teóricos relacionados as consideração, os conceitos e os aspectos legais sobre Resíduos Sólidos Urbanos e a Coleta Seletiva.

Capítulo 4 – Metodologia da Pesquisa. Aborda os procedimentos metodológicos empregados na realização da pesquisa, de modo a alcançar os objetivos traçados. A área de estudo é a Cidade de Teresina, estado do Piauí. Em seguida, estão relacionados os recursos tecnológicos e apresentados os documentos cartográficos produzidos. Uma análise dos resultados de desenvolvimento da base cartográfica digital e da metodologia de localização de pontos de entrega voluntária.

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações.

2 TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A compreensão de conceitos de dados e informações espaciais na implementação de planos de gestão e desenvolvimento sustentável, para apoiar demandas territoriais, ambientais, de programas sociais, entre outros, tem ganhado uma valorização decorrente de uma maior preocupação com o meio ambiente e com as questões sociais e econômicas (CINDE, 2010). Com efeito, o planejamento e a GRSU podem variar de acordo com diferentes interesses – social, ambiental, econômico ou político – dos grupos envolvidos. Assim, Obeng e Agyenim (2011) argumentam que para uma melhor compreensão da realidade territorial, a GRSU sustentável deve subsidiar uma orientação de conhecimento sobre os componentes ambientais, sociais e econômicos, garantindo uma atenção de prioridade equilibrada entre eles.

No processo de organização territorial, o espaço geográfico precisa ser analisado. De acordo com Joly (2013), o espaço urbano é uma realidade complexa e dinâmica, sendo necessário, conhecê-lo bem para utilizá-lo e que o instrumento eficaz para esse conhecimento é a Cartografia. FITZ (2008), define a representação cartográfica como a representação gráfica da superfície da Terra de forma simplificada, de modo a permitir a distinção dos fenômenos nela existentes e seus elementos constituintes.

Neste contexto surge os SIG – Sistemas de Informações Geográficas, que são vistos como uma ciência de transformação e representação das informações geográficas com o objetivo de resolver problemas do mundo real. Os SIG constituem-se não só em instrumento de representação cartográfica, mas também como um método que nos ajudam a gerenciar o espaço físico territorial, tornando simples a tarefa de organizar e armazenar, acessar e recuperar, manusear e sintetizar, além de aplicar o conhecimento na resolução de problemas. (LONGLEY et al., 2013; MOURA, 2016). Assim, a representação cartográfica torna-se um meio para informa os gestores sobre qual caminho deve ser seguido para tomar decisões estratégias e de ações.

Os SIG podem ser aplicados a problemas socioeconômicos e ambientais, podem promover a tomada de decisão efetiva de curto e longo prazo, podem ser combinados com outras tecnologias entre muitas outras aplicações (LONGLEY et al., 2013). Problemas que envolvem um aspecto de localização é um exemplo de análise espacial desenvolvida pelos SIG (JOLY, 2013).

Ao considerar o estudo de implementação de um programa de coleta seletiva, a participação da população torna-se essencial. Um dos métodos para inserir as atividades de

separação dos resíduos sólidos recicláveis, no cotidiano da população de uma cidade, refere-se a instalação de pontos de armazenamento desses resíduos em locais estratégicos e bem distribuídos.

A esses pontos são chamados de PEV – Ponto de Entrega Voluntária, que tem como objetivo principal localizar um conjunto de áreas para a instalação de contentores de armazenamento de materiais separados seletivamente, respeitando uma série de critérios que exige um dimensionamento de variáveis associadas a informações espaciais, devendo ser feito o uso máximo das informações disponíveis, para garantir que o resultado do processo seja aceitável pela maioria dos interessados (SUMATHI; NATESAN; SARKAR, 2008; OLIVEIRA, 2011).

Segundo Bringham (2004), para a adoção de um Programa de Coleta Seletiva, cada município deve considerar as suas características e condições locais na escolha do programa que melhor se adapta à região.

As características variam dentro do ambiente de um município como, por exemplo, as atividades econômicas entre dois bairros vizinhos podem ser diferentes, o que leva a uma heterogeneidade de dados em torno da mesma localidade (GALLARDO et al., 2015).

Para o sucesso do sistema de coleta seletiva é fundamental a suposição de que quanto mais próximo dos pontos de entrega voluntária forem das residências maior a probabilidade de que eles passem a fazer a seleção dos materiais reciclados e que depositem esses materiais nos pontos de armazenamento de entrega voluntária.

Longley et al. (2013) afirmam que, os SIG podem auxiliar na solução de problemas como localização até sofisticadas análises espaciais de apoio a tomada de decisão. Gallardo et al., (2015) complementam que o processo de tomada de decisão tem como fundamento a escolha de uma série de critérios relacionados ao problema.

De acordo com Khan e Samadder (2016) um primeiro critério a ser avaliado para a instalação de PEV consiste na definição da distância máxima que cada cidadão percorreria de suas residências até esses pontos sem ter que fazer uma longa caminhada. Para os autores o ideal seria a instalação de contentores ao longo dos cruzamentos de vias, no qual levaria a uma distância percorrida em aproximadamente 100m.

No contexto em que se insere a estrutura urbana dos municípios brasileiros, a instalação de PEV em cada esquina das quadras, ou seja, nos cruzamentos de vias, ficaria inviabilizado, pois a organização espacial urbana não dá suporte para esse tipo de localização.

Segundo Peixoto, Campos e D'Agosto (2006) a distância ideal para incentivar a participação da população, e levando em consideração as limitações urbanas características dos

municípios brasileiros, seria de 300 metros, podendo chegar ao máximo de 500 metros. Logo, o principal critério a ser utilizado é a instalação de PEV a uma distância máxima de 500m das residências.

Além de estar próximo as residências, um segundo critério para a escolha de localização de pontos de entrega voluntária está relacionado ao a definição de áreas de fácil acesso, ou seja, áreas com boa visibilidade, facilidade de acesso tanto para a população quanto para os veículos coletores, como também a permissão de acesso pela população em qualquer hora e em qualquer dia da semana (BRINGHENTI, 2004).

No estudo realizado por Bringhenti (2004), foi abordada uma análise das áreas onde os PEV estavam instalado, tendo sido observado que os PEV de melhor desempenho operacional estavam localizados em praças, justamente por serem áreas de fácil acesso e aberta a população 24h por dia. Outras áreas que podem ser consideradas adequadas são parques e alguns estabelecimentos comerciais.

Um terceiro critério seria a elaboração de indicadores para estimar a quantidade de pontos necessários para abranger toda a população e indicar a distribuição dos pontos. Longley et al. (2013) fundamentam que as mais importantes fontes de dados para criar indicadores de localização de atividades são censos demográficos populacionais e técnicas de redução de dados como a análise de agrupamento. Para a presente pesquisa as informações foram reduzidas nas análises por bairros, na qual foram utilizadas a população de cada bairro para estimar a quantidade necessária de PEV e a distribuição das residências, ou seja, levando em consideração apenas os lotes pertencentes a categoria residencial.

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Santos, Coutinho-Rodrigues e Current (2008) afirmam que, a qualidade e a quantidade das informações disponibilizadas, são a garantia do sucesso no processo de tomada de decisões. O uso do SIG como instrumento de apoio tem permitido o aumento na manipulação da quantidade e complexidade dos dados espaciais. Os SIG potencializam a tomada de decisão em sistemas gerenciais, pois permitem a manipulação de dados espaciais, gráficos e descritivos, auxiliando as empresas no acompanhamento da dinâmica de geração e análise de dados no gerenciamento de tarefas (LEITE et al., 2015).

Miranda (2015), ao discutir o conceito de Sistema de Informação Geográfica, observou que existe uma tendência em defini-lo de forma restrita. Para o autor um SIG vai além do campo

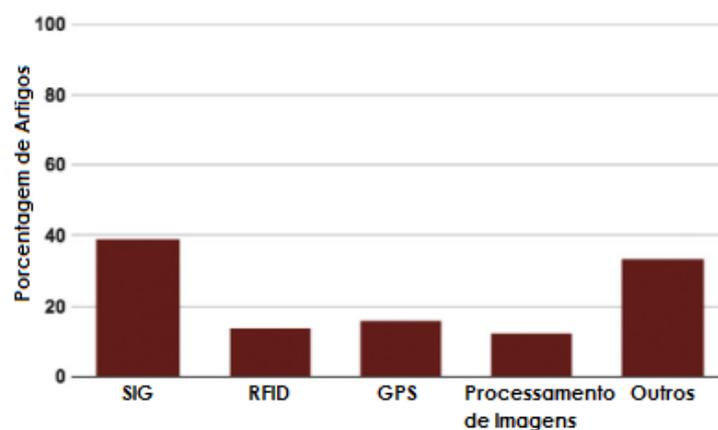
de automação da Cartografia, incluindo pacotes de propósitos gerais em estatística, tomada de decisão, banco de dados, entre outros.

A definição de SIG pode ser encontrada de diversas maneiras, diferenciando-se no que diz respeito a classificação dos seus objetivos e objetos. Existem definições que consideram os aspectos do sistema informatizado, nas quais o SIG seria um conjunto de programas computacionais para entrada, armazenamento, recuperação, manipulação e saída de dados espaciais. Miranda (2015) considera a definição que os mapas e as mais diversas análises espaciais, trazendo a ideia de uma ciência da informação espacial e não apenas uma tecnologia.

Dentre as vantagens na utilização de SIG está o baixo custo, a maior rapidez no processo de tomada de decisão, a visualização de resultados através de representação gráfica, a diversidade de cenários que podem ser analisados ao mesmo tempo, o que garantem bons resultados na indicação de possíveis áreas para instalação de pontos para coleta seletiva (BRINGHENTI, 2004; SUMATHI, NATESAN, SARKAR, 2008).

Em um estudo realizado por Malaré et al. (2017), onde foi abordado uma pesquisa sobre como as TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação vem sendo utilizadas para apoiar soluções de problemas de gestão de resíduos sólidos, os SIG foram as tecnologias mais empregadas, representando 38% das publicações analisadas, ou seja, de todos os estudos analisados o SIG foi a TIC mais utilizada para soluções envolvendo gestão de resíduos sólidos (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição das pesquisas por tipo de TIC.

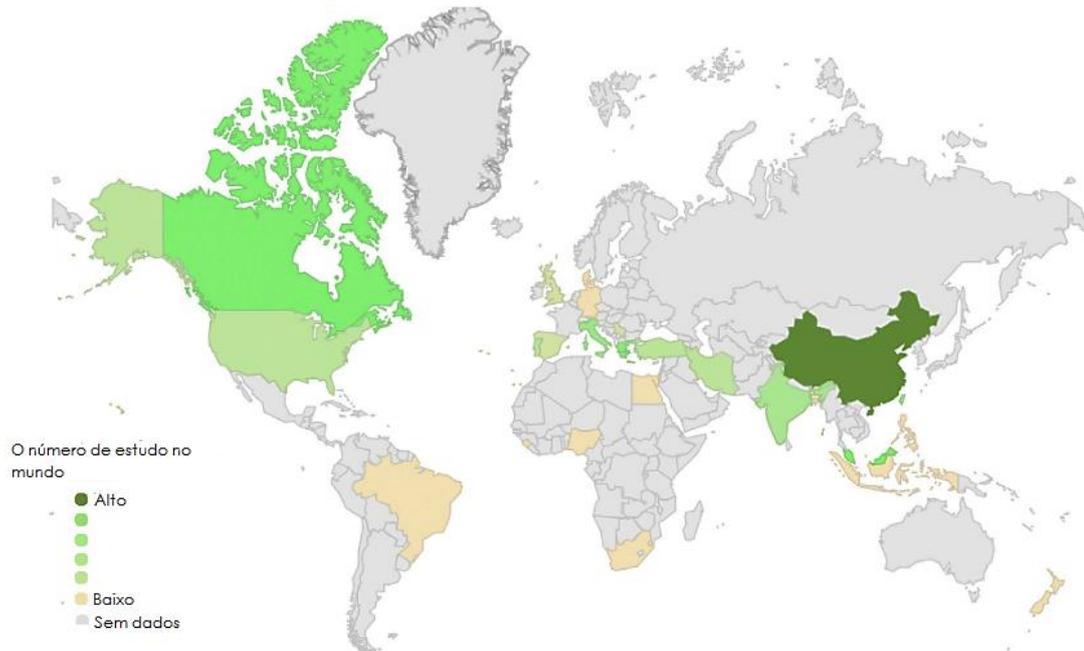


Fonte Adaptada: (MALARÉ et al., 2017)

Malaré et al. (2017) identificaram, ainda, que a maioria das publicações que expõem problemas e soluções em matéria de gestão de resíduos foram realizados nos países da Ásia, América do Norte e Europa. O Brasil apresentou um baixo número de publicações com essa

temática (Figura 2). Os autores justificam essa distribuição das publicações ao fato de que os SIG foram combinados com as outras tecnologias como a RFID – Radiofrequência e o GPS – Sistema de Posicionamento por Satélite que demandam altos investimentos financeiros para sua aquisição.

Figura 2 – Distribuição do número de estudos por país.



Fonte Adaptada: (MALARÉ et al., 2017)

2.1.1 Componentes Básicos de um SIG

Com base nos conceitos apresentados por Miranda (2015) o ambiente SIG possui os componentes de informática, os módulos de programas de aplicações e os recursos humanos.

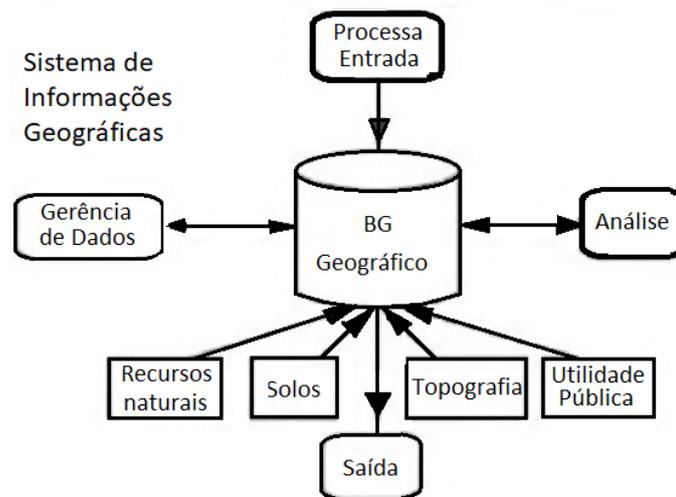
Os recursos humanos estão atrelados as pessoas ou instituições com conhecimento das funcionalidades do sistema e que são responsáveis pela criação de projetos, a implementação, uso e prestação de assistência para os SIG.

No componente módulo de programação e aplicação estão os subsistemas que constroem o SIG (Figura 3). Eles podem ser classificados como subsistemas de (MIRANDA, 2015):

- Entrada de dados: que tem as funções de coleta e pré-processamento dos dados espaciais e não espaciais de diversas fontes;

- Gerência de dados: apresenta as funções responsáveis por gerenciar os dados e permitir a sua recuperação, atualização e edição. Esse subsistema trata da estruturação dos dados tanto no que diz respeito ao modo como eles devem ser manuseados no computador quanto ao modo que eles serão percebidos pelos usuários do sistema.
- Análises dos dados: tem por função agregar e desagregar dados, estimar parâmetros e restrições, aplicar tomadas de decisão, realizar funções de modelagens, entre outras tarefas. As análises em SIG usam o potencial dos computadores para medir, comparar e descrever o conteúdo do banco de dados;
- Saída: representa a maneira como os dados e resultados são apresentados aos usuários. Podem ser por meio de mapas, tabelas ou gráficos.

Figura 3 – Componentes de programação e aplicação que constroem o SIG.



Fonte: (MIRANDA, 2015)

As operações de análise espacial se apresentam como a parte mais importante dentro do SIG, pois são realizações de processos para estudar os padrões dos fenômenos relacionados com a Terra e as suas interações com a sociedade.

Dentro do subsistema de análise existem uma infinidade de ferramentas e operadores que atuam no domínio de dados espaciais, topológicos e não espaciais, tanto separadamente como em conjunto.

As funções fundamentais de análise em SIG podem ser classificadas como operadores de reclassificação, que transformam as informações não espaciais associadas com um só mapa, operadores de sobreposição, que envolve a combinação de dois ou mais mapas de acordo com

condições *Boleanas*, e operadores de vizinhança, que atribui valores para uma localização de acordo com as características das regiões vizinhas (MIRANDA, 2015).

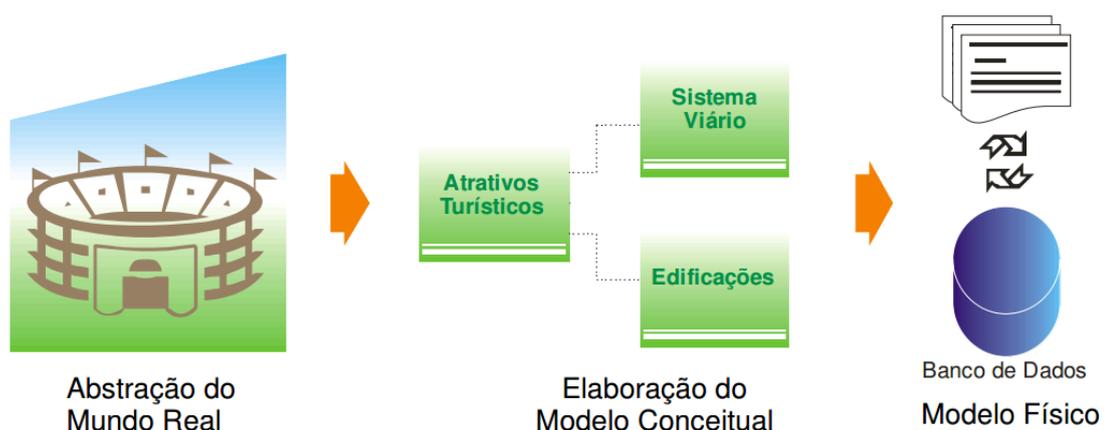
2.2 MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS

Segundo Davis Júnior e Borges (1994) a implementação em computador de uma representação cartográfica depende da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações. Este procedimento consiste em usar modelos matemáticos para representar de forma aproximada os fenômenos reais e que possa também simular diferentes cenários.

A representação do mundo real se caracteriza por um processo de abstração da realidade e de seus relacionamentos, que é obtida através de uma MDE – Modelagem de Dados Espaciais. A MDE apresenta a realidade com um grau variado de informações, permitindo a compreensão adequada de todas as classes de objetos que se deseja estudar, os relacionamentos entre seus atributos, e evitando a presença de dados e de atividades ambíguas ou inconsistentes (ANDRADE, 2006; LIMA; LOBATO; LEAL, 2011).

O processo de abstração é um fator fundamental na modelagem de dados, pois permite reduzir o número de complexidade e de informações a serem consideradas (CARVALHO, 2013; MIRANDA, 2015). Câmara et. al. (2005), apresentam quatro níveis de abstrações para aplicações geográficas, como esquematizado na Figura 4.

Figura 4 – Níveis da Modelagem de Dados Espaciais.



Fonte: CORREIA (2010).

- **Abstração do Mundo Real:** estuda, analisa e resume o fenômeno geográfico a ser representado, visando a geração da base de dados espaciais.

Neste nível corresponde a definição de quais elementos do mundo real devem ser representados. No que se refere ao problema de localização de pontos de entrega voluntária, os dados espaciais são as áreas de praças, parques e estabelecimentos comerciais, por serem consideradas áreas adequadas para instalação de PEV. Além destes, devem ser representados os limites administrativos municipais, as zonas especiais, os bairros e as áreas residenciais, no caso, representadas por lotes, bem como o sistema viário.

- **Modelo conceitual:** a elaboração do modelo conceitual permite conhecer os relacionamentos entre os dados espaciais, tanto gráfico como descritivo. A partir da sua conclusão devem estar definidas as variáveis que vão compor a base de dados espaciais, bem a estrutura dos dados e seus relacionamentos.

De acordo com Miranda (2015), os fenômenos geográficos podem ser representados por entidades, juntamente com dados sobre sua posição geográfica e de atributos que os caracterizam. As entidades geográficas são compreendidas por quatro partes:

- Posição geográfica: que é definida pelo sistema de coordenadas;
- Tipo: representa a classificação da representação gráfica do fenômeno;
- Atributo: são os dados não espaciais que descrevem as características dos fenômenos a partir de sua localização geográfica. Pode ser descritivos em termos quantitativos ou qualitativos;
- Relações: são as interações entre os fenômenos, podendo ser relações de pertinência, localização ou vizinhança.

Neste nível é realizado o processo de atribuir conceitos a cada parte da entidade geográfica. Nesta etapa acontece o processo de criação de um modelo conceitual. Dentre os modelos existentes para dados espaciais o modelo OMT-G se apresenta como o mais simples e de fácil implementação.

O OMT-G - *Object Modeling Technique for Geographic Applications* é uma técnica orientada a objetos, que parte de primitivas geográficas definidas para o diagrama de classes da UML – *Unified Modeling Language da Rational Software Corporation*. A técnica tem a capacidade formular modelagem topológica, de estruturação de rede, e de múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais (QUEIROZ; FERREIRA, 2006).

Esse modelo é baseado em três componentes principais que definem sua estruturação: classes, relacionamentos e restrições de integridade espaciais.

Para o processo de localização do posicionamento dos PEV foram utilizadas as classes georreferenciada, por trazerem consigo as propriedades geométricas, além de definir conceitos para objetos espaciais do tipo geo-campo (objetos distribuídos continuamente no espaço) e geo-objeto (objetos geográficos discretos, individualizáveis). Um exemplo são as classes de bairro e lote.

Os tipos de relacionamentos entre suas classes utilizados foram:

- Associações simples: representam relacionamentos estruturais entre objetos de diferentes classes, tanto convencionais como georreferenciadas;
- Relações topológicas de rede: representam os relacionamentos entre objetos que estão conectados uns com os outros e que podem ser mantidos através de estruturas de dados dos SIG, sendo representadas por nós e arcos conectados; e
- Relações espaciais: representam as relações topológicas entre as classes georreferenciadas.

As restrições de integridade utilizadas foram a agregação espacial, no qual são representados os relacionamentos topológicos **todo-parte**, uma estrutura topológica que possui três classificações:

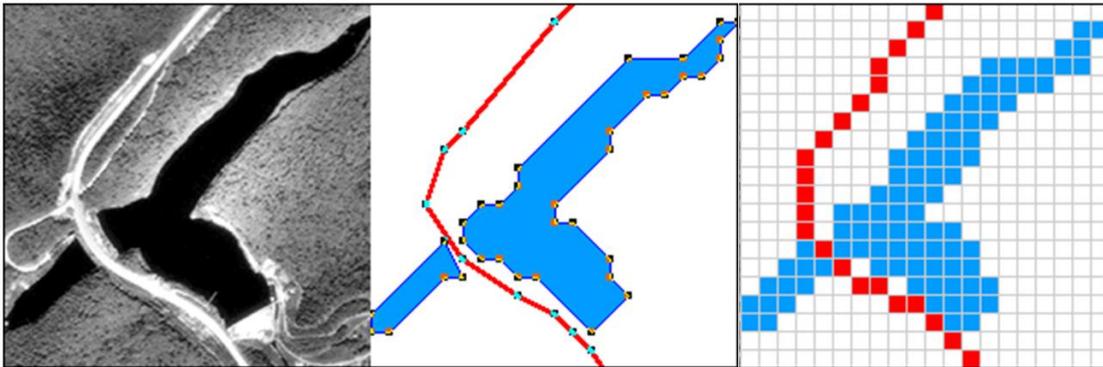
- Subdivisão espacial: o objeto tido como todo é subdividido em partes de mesma natureza topológica, e a geometria do todo é coberta pela geometria das partes (por exemplo, as áreas residenciais são subdividida em lotes);
- União espacial: é o inverso da subdivisão espacial, ou seja, o todo é composto pela união das partes (por exemplo, uma zona distrital é a união de bairros); e
- Contém: é quando a geometria do todo contém a geometria das partes (por exemplo, áreas residenciais contém praças)

A outra restrição presente na pesquisa é a generalização cartográfica, também conhecida por generalização conceitual, que realiza transformações sobre a representação cartográfica com o intuito de melhorar a visualização do mapa, assim melhorando sua compreensão.

A transformação mais comum utilizada em generalização é a representação espacial conforme a escala utilizada, por exemplo, um lote pode ser representado em um mapa de escala grande por um polígono e em um mapa de escala pequena por um ponto. Além dessa transformação é possível haver a necessidade de representação em diferentes formas da mesma entidade geográfica em uma mesma escala e ao mesmo tempo, como foi utilizado as duas formas para os lotes para que fosse possível realizar as análises espaciais.

As estruturas de dados empregadas no SIG são: **Matricial** – é uma matriz de linhas e colunas, que formam células que possuem um valor, assim é possível determinar sua posição geográfica e conhecer seus atributos; e **Vetorial**: definida pela Geometria Euclidiana é formada de pontos, linhas e áreas (Figura 5).

Figura 5 – Estrutura de Dados Espaciais



Fonte Adaptada: Gruver (2017)

Nesta pesquisa são utilizados apenas os modelos de dados vetoriais. Segundo Longley et al. (2013) estes modelos são utilizados em SIG devido a facilidade de armazenamento, a vasta disponibilidade de ferramentas para processamento e análises cartográficas e pela qualidade de produção cartográfica.

- **Modelo físico:** é a última etapa da Modelagem, onde é feita a implementação em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Geográficos, no qual inclui os padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para cada entidade.

Dentro do ambiente SIG, as entidades geográficas utilizadas nos modelos de dados vetoriais são comumente chamadas de feições, onde o seu armazenamento é feito em tabelas e que cada feição ocupa uma linha e cada informação sobre ela ocupa uma coluna. Essas feições podem ser classificadas em feições simples e feições topológicas.

Nas feições simples a estrutura de linhas e polígonos são formados por segmentos de reta que podem se sobrepor, não havendo integração entre os objetos (LONGLEY et al., 2013).

Já as feições topológicas são mais complexas por apresentarem restrições topológicas. A representação topológica se dá pela utilização de arcos e nós, em que para cada arco existem dois nós conectados e para cada nó deve passar um ou mais arcos.

Longley et al. (2013) afirmam que, a importância da utilização de feições topológicas em SIG é decorrente do seu papel no processo de validação dos dados, edição e otimização de consultas. Um exemplo de consultas proveniente de feições topológicas é calcular a melhor rota entre dois pontos.

3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos tem sido um tema de frequente debate sobre os aspectos relacionados a poluição do meio ambiente e a saúde pública. Esses aspectos começaram a ser apresentados com o advento da Agenda 21, elaborada na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, que considerou o crescente descarte de Resíduos Sólidos Urbanos, em todo o mundo, uma questão fundamental a ser observada quanto a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1995). Em 2015 a ONU adotou a Agenda 2030, que dentre seus objetivos e metas foi novamente apontado a necessidade de ações e planos sobre a gestão de resíduos sólidos.

No Brasil, em janeiro de 2007 foi aprovada a PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico, pela Lei nº 11.445, que incluiu a gestão de resíduos sólidos como parte do conceito de saneamento básico (BRASIL, 2007). E em 2010, foi criada a Lei Federal nº 12.305, que instituiu a PNSR – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), trazendo uma nova visão da GRSU para o País, reunindo princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes voltados para uma gestão integrada e o gerenciamento ambiental.

Um aspecto relevante apresentado pela PNSR foi o prazo de até o ano de 2014 para a extinção de todos os lixões a céu aberto existentes nos municípios brasileiros, porém essa meta não foi atingida e encontra-se em discussão no Congresso Nacional para sua prorrogação, com novos prazos entre os anos de 2018 a 2021, que será aplicado de acordo com a quantidade de habitantes em cada município.

A PNSR traz alguns conceitos inovadores. Na definição do conceito de resíduos é apresentado uma distinção entre resíduos sólidos e rejeitos. O primeiro está relacionado com o possível aproveitamento energético ou tratamento, enquanto que, os rejeitos não são possíveis de serem aproveitados (BRASIL, 2010). Os conceitos são assim descritos no Artigo 3º da Lei nº. 12.305, Incisos:

“XV – rejeitos: resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI – resíduos sólidos: 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 esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para

isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Neste contexto, a PNRS, além de exigir a extinção dos lixões a céu aberto, também obrigou aos municípios brasileiros a depositar os rejeitos de tratamento de resíduos em aterros sanitários.

Uma outra obrigatoriedade instituída pela Lei nº12.305/2010 é a estruturação e implementação de sistemas de Logística Reversa por meio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que visa o reaproveitamento de matéria-prima e energia através de programas de coleta seletiva e da reciclagem (OLIVEIRA, 2011). O Artigo nº. 33, cita alguns tipos de resíduos obrigatórios na Logística Reversa, como: agrotóxicos e seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes e seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, e vapor de sódio e mercúrios e de luz mista; e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

No que se refere a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, consumidores, fabricantes, distribuidores, comerciantes, importadores e o governo são responsáveis pelos produtos desde o seu tratamento até a sua destinação final. Em relação aos consumidores, espera-se uma atitude pró ativa e o efetivo engajamento no processo da coleta seletiva, Fabricantes, distribuidores, comerciantes e importadores terão o desafio de implementar a logística reversa; e os municípios precisam elaborar os planos de gestão integrada, promover a erradicação dos os lixões, operacionalizar ou ampliar a coleta seletiva, realizar a compostagem e a efetiva integração dos catadores de materiais recicláveis (MMA, 2014).

A PNRS também inovou em relação aos objetivos a serem alcançados (Art. 7º), especialmente, com relação aos seguintes temas: priorização, nas aquisições e contratações governamentais, para produtos reciclados e recicláveis; integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; rotulagem ambiental e consumo sustentável; e inseriu uma ordem de prioridade, que deve ser adotada no manejo de resíduos sólido de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, como ilustrado na Figura 6 (MMA, 2014).

Figura 6 – Ordem de prioridade do manejo dos resíduos sólidos.



Fonte: MMA (2014).

Podemos dividir a Gestão de Resíduos Sólidos em cinco etapas, que são elas a geração, acondicionamento, coleta, transporte e destinação final. As tecnologias da geoinformação podem ser inseridas em pesquisas que envolvem cada uma dessas etapas. De acordo com Malaré et al. (2017) os Sistemas de Informações Geográficas são as tecnologias mais presentes no estudo sobre resíduos sólidos, com destaque para aplicações nas etapas de acondicionamento no que se refere a localização e monitoramento de contentores, e nas etapas de transporte e destinação final com aplicações de estudo de rotas e localização de aterros sanitários.

A etapa de geração consiste na caracterização e quantificação dos resíduos sólidos gerados. O acondicionamento é a segunda etapa que corresponde no processo de separação e preparação dos resíduos para coleta. Os Pontos de Entrega Voluntária estão inseridos nesta etapa. Na sequência temos as etapas de coleta, transporte e destinação final que consiste na retirada dos resíduos armazenados e transportados para uma estação de tratamento ou para um aterro sanitário.

De acordo com Campos (2014), para os municípios brasileiros se adequarem a nova Lei é necessário a criação ou implantação de melhorias nos programas de coleta seletiva com vista à incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, o auxílio a Logística Reversa ou outro tipo de tratamento, para a obtenção da menor quantidade de material residual não passíveis de tratamento de resíduos sólidos.

3.1 COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Lei nº. 12.305/2010 em seu Artigo 3º, Inciso V, conceitua coleta seletiva como sendo a: “*coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição*” (BRASIL, 2010). A coleta seletiva é entendida como uma das principais alternativas para reduzir a quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários, aumentar a

taxa de reciclagem de distintos materiais e garantir trabalho e renda para os catadores de materiais recicláveis (MMA, 2014).

Para os órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta a obrigatoriedade da coleta seletiva é exigida desde o ano de 2006, por meio do Decreto Federal nº 5.940, que Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis (BRASIL, 2006).

Após o advento da PNRS, foi possível perceber um aumento no número de municípios que passaram a contar com programas de coleta seletiva. O SNIS-RS constatou para o ano de 2015, que dos 3.520 municípios participantes da pesquisa, a coleta seletiva foi praticada em 1.256, o que corresponde a 22,5% dos municípios brasileiros (Figura 7).

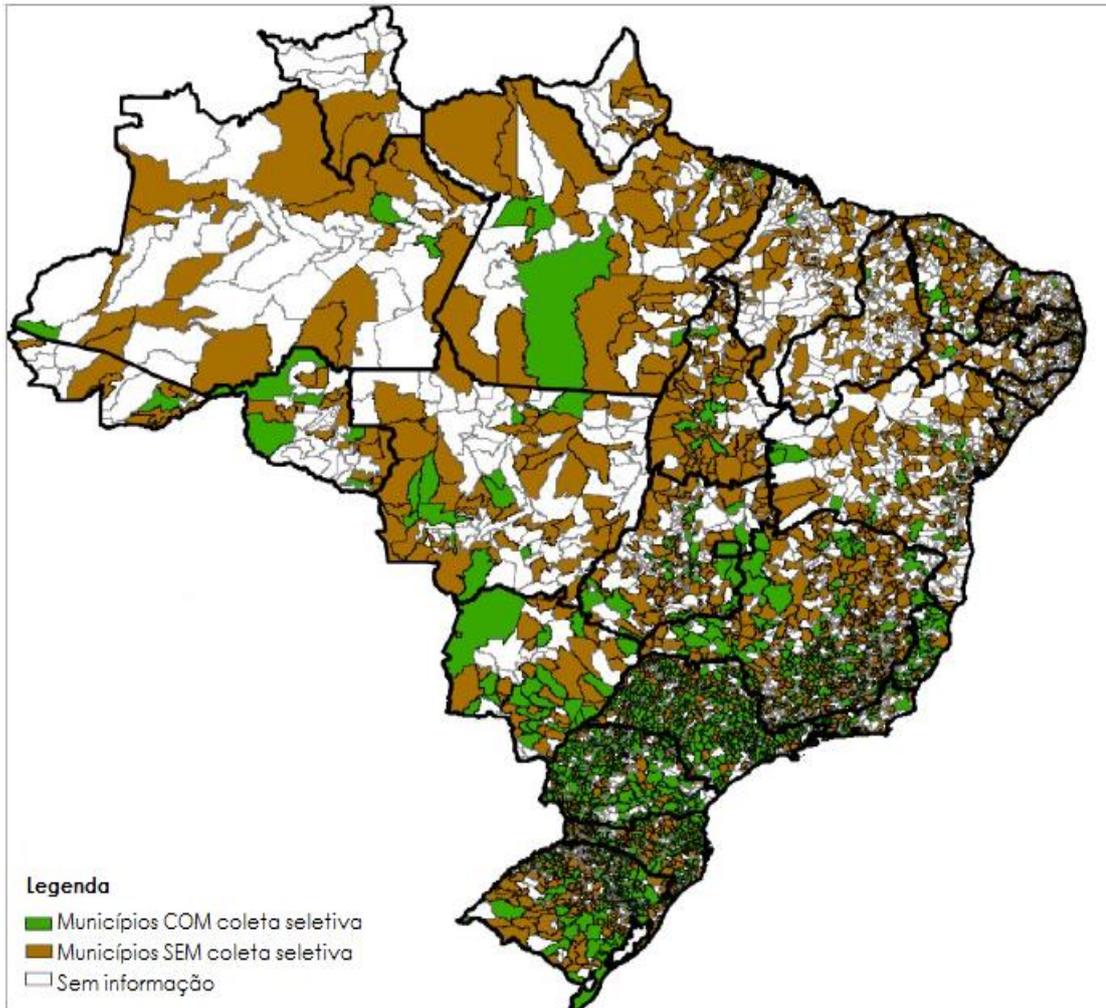
Mesmo com aumento do percentual da coleta seletiva, os problemas persistem, pois existem municípios sem informação e sem o serviço, em número elevado. A coleta seletiva não é uma realidade na maioria dos municípios brasileiros. Outro ponto importante trata da amplitude da coleta seletiva, que pode ocorrer somente em uma parte do município.

Segundo Pinto (2016) para a implantação de programas de coleta seletiva em municípios duas questões devem ser observadas:

- Quem são os agentes executores da coleta seletiva? Isto é, quem será o agente responsável pela execução do serviço?; e
- Qual modalidade de coleta seletiva será utilizada?

A coleta seletiva no Brasil é realizada por três tipos de agentes: prefeituras que atuam diretamente na coleta seletiva; empresas privadas contratadas e fiscalizadas pelas prefeituras; e associações ou cooperativas de catadores com apoio das prefeituras. O SNIS-RS comparou a massa de resíduos sólidos coletados pela coleta seletiva com o tipo de agente executor (Figura 8) e verificou que as associações ou cooperativas de catadores com apoio das prefeituras se constituem no maior executor, seguido das empresas contratadas pelas prefeituras e diretamente pelas prefeituras (SNIS, 2017).

Figura 7 – Existência de serviços de coleta seletiva para os municípios brasileiros no ano de 2015.



Fonte: SNIS (2016).

Figura 8 – Percentuais da massa de resíduos sólidos coletada pela coleta seletiva dos municípios participantes do SNIS-RS em 2015, por agente executor.



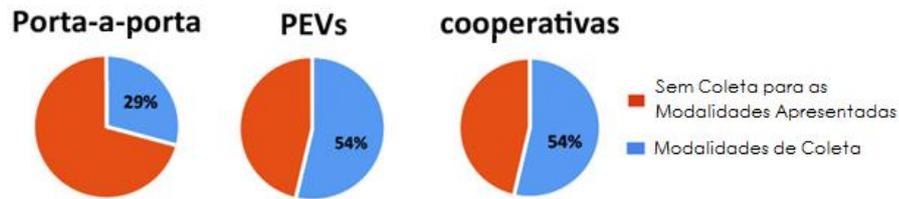
Fonte: SNIS (2016).

Nos países desenvolvidos a coleta seletiva acontece por meio da instalação de contentores (lixeiros) localizados nas calçadas ou em áreas específicas (RADA; RAGAZZI; FEDRIZZI, 2013). No Brasil são utilizadas três modalidades de coleta seletiva, que são:

- **Modalidade porta a porta:** ocorre quando a população separa previamente em seus domicílios os materiais recicláveis existentes nos resíduos domésticos para que depois os mesmos sejam coletados por um veículo especializado. Os resíduos são armazenados, em sua maioria, em sacos plásticos e colocadas nas calçadas em frente as residências (PINTO, 2016);
- **Modalidade através de PEV - Pontos de Entrega Voluntária,** também chamados de **Ecopontos:** ocorre quando a população realiza o descarte dos materiais separados em suas residências nos Ecopontos. Os resíduos são armazenados em contentores ou conjunto de lixeiras instalados em pontos de fácil acesso para a população e diferenciados por cores, que indicam os diferentes tipos de materiais a serem recebidos. Alguns PEV recebem não só materiais recicláveis de resíduos sólidos secos, mas também pequenas quantidades de resíduos de construção, resíduos volumosos e os resíduos resultantes da poda de árvores (CAMPOS, 2014); e
- **Modalidade de coleta seletiva por autônomo:** ocorre quando um grupo de trabalhadores autônomos, que podem estar associados a cooperativas de catadores de resíduos sólidos, utilizam carros de tração manual para realizar a coleta seletivamente (DUARTE et al., 2015).

O CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem, que reúne informações sobre os programas de coleta seletiva através de informações fornecidas pelas prefeituras, classifica as modalidades de coleta seletiva em coleta porta a porta, PEV e por catadores organizados ou autônomos (CEMPRE, 2016). Em pesquisa realizada pelo CEMPRE, referente ao ano de 2016, apontou um percentual de municípios para cada tipo de modalidade de coleta seletiva (Figura 9), onde, dos 1055 municípios participantes da pesquisa, 29% corresponde aos municípios que realizam a modalidade porta a porta, 54% dos municípios tem instalações de PEV e 54% dos municípios contam com a participação dos catadores como modelagem de coleta seletiva (CEMPRE, 2016).

Figura 9 – Percentual de municípios para cada modalidade de coleta seletiva.



Fonte: CEMPRE (2016).

Um município pode ter mais de um agente executor da coleta seletiva e mais de um tipo de modalidade. Em geral, os sistemas de coleta seletiva porta a porta são mais aplicadas em áreas comerciais, centrais e são realizadas quase que aleatoriamente por catadores autônomos (CAMPOS, 2014).

No que se refere ao tipo de massa coletada dos resíduos sólidos, no Brasil há uma deficiência de dados, existindo apenas estimativas. A composição dos resíduos é obtida por meio da triagem e separação dos materiais coletados. Os materiais mais frequentemente recolhidos são papel, papelão, plástico, vidro e metal.

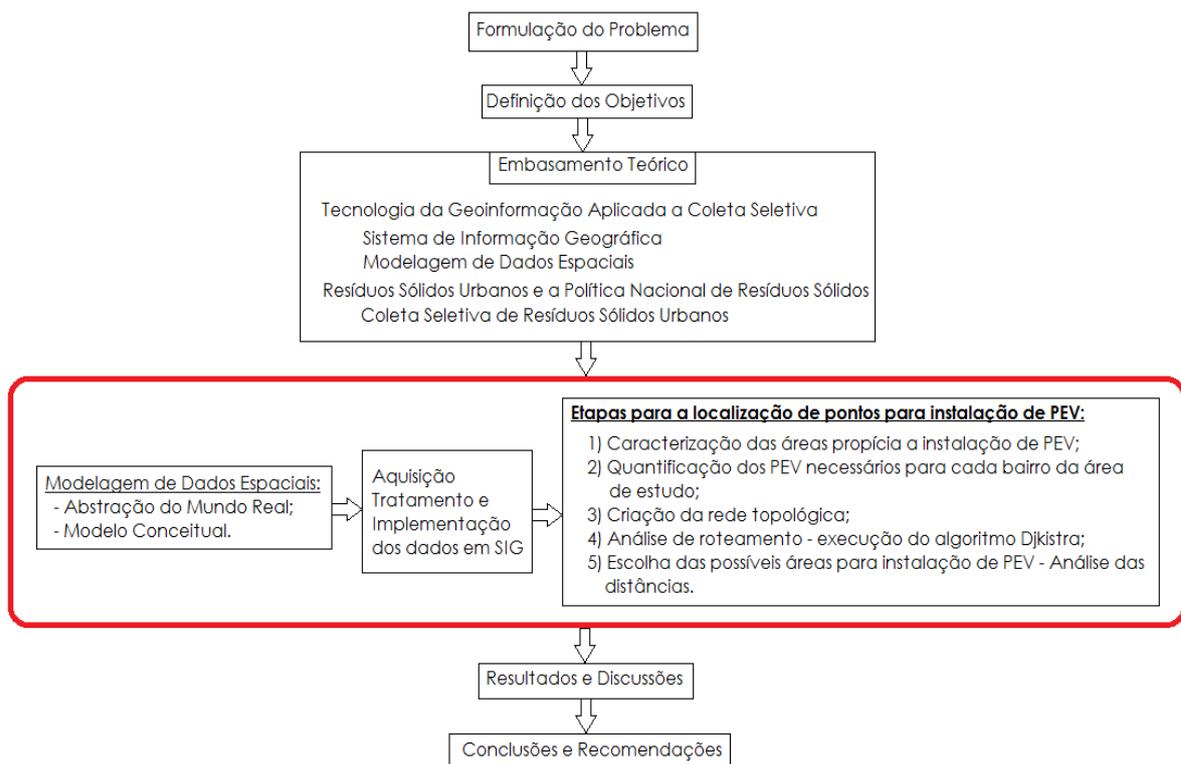
O principal desafio enfrentando na implantação de um programa de coleta seletiva é fornecer um serviço de modo que os moradores contribuam com a fase de separação e disposição dos resíduos. Nesse sentido, o número e a localização dos pontos de entrega devem garantir o fácil acesso e uma distância mínima dos usuários.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

As etapas do procedimento metodológico utilizadas para alcançar os objetivos traçados estão descritas na Figura 10. O problema analisado na pesquisa refere-se a dificuldade dos municípios brasileiros em implementar um programa de coleta seletiva que requer locais adequados para instalação de contentores de armazenamento do material reciclável. Em decorrência deste problema surgiu o objetivo de utilizar Tecnologias da Geoinformação para propor prováveis locais de PEV, onde os resíduos previamente selecionados pela população possam ser armazenados e coletados.

Figura 10 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.



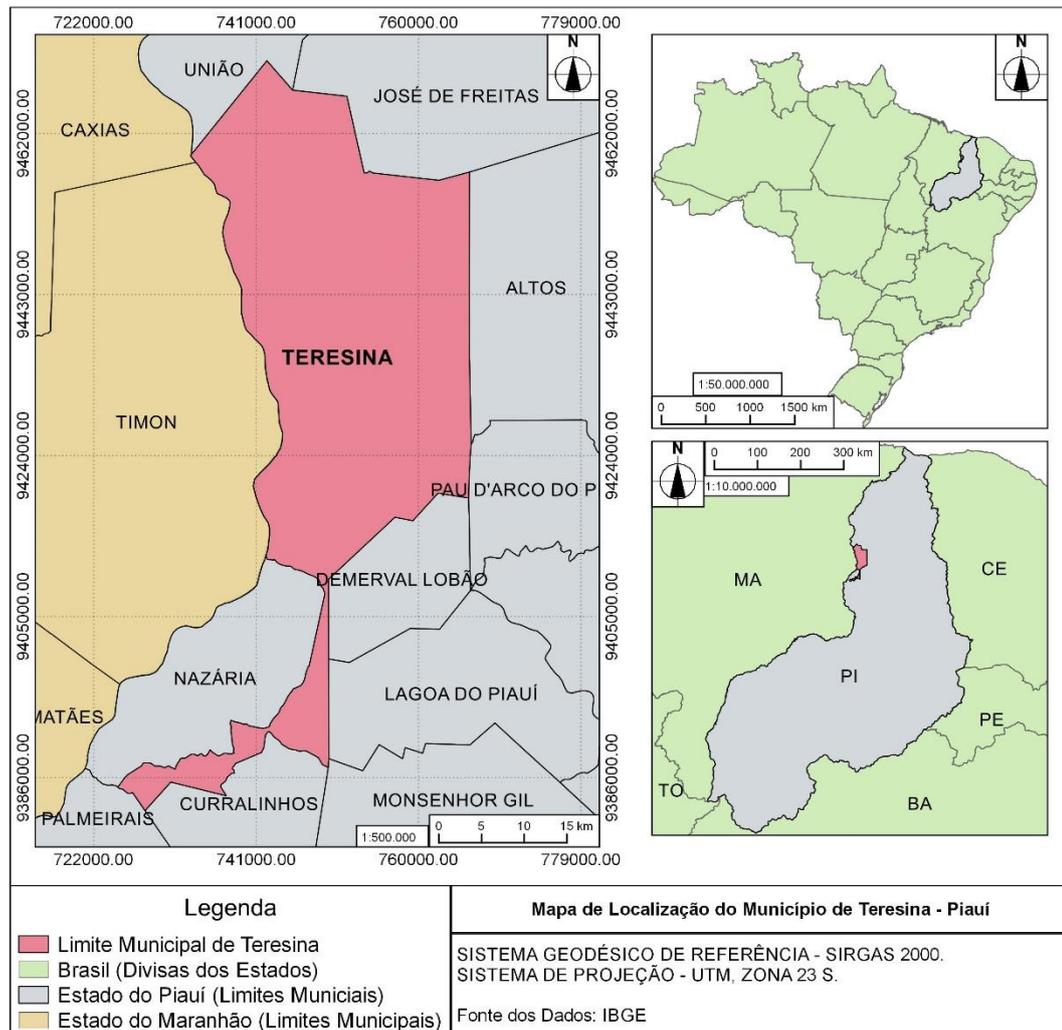
Fonte: Autor

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi a Cidade de Teresina, capital do estado do Piauí que está localizada na mesorregião Centro-Norte do estado, a 366km do litoral e constitui uma faixa de transição entre o Semiárido Nordeste e a Região Amazônica (IBGE, 2016). A cidade ocupa

um território de aproximadamente 1.400 km², segundo a SEMPLAM - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina, 17% do território é considerado área urbana e 83% área rural e possui uma população estimada em 2015 de 844.245 habitantes (IBGE, 2016; SEMPLAM, 2016). O mapa de localização da cidade de Teresina pode ser observado pela Figura 11.

Figura 11 – Mapa de Localização do Município de Teresina – PI.



Fonte: Autor

A partir da Lei nº. 4.423, de 16 de julho de 2013, Teresina passou a ter 123 bairros. O Município foi dividido administrativamente em quatro regiões: Sul, Sudeste, Leste e Centro-Norte, os quais possuem planos de desenvolvimento urbano e rural conduzidos pela SDU – Superintendência de Desenvolvimento Urbano e SDR – Superintendência de Desenvolvimento Rural.

As ações administrativas relacionadas às áreas de infraestrutura, prestação de serviços e de geração de empregos, além de saneamento básico (abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos, tratamento de esgoto e serviço de limpeza pública), uso e ocupação do solo são viabilizadas pela RIDE – Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina, que é composta pelos municípios de Teresina, Altos, Beneditinos, Coivaras, Currálinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Nazária, Pau D’arco e União, no estado do Piauí, além do município de Timon, que pertence ao estado do Maranhão (MARIA et al., 2014).

Teresina conta com a Lei nº 3.646/2007, que define o Código Sanitário do Município. A Lei prevê, na seção que trata dos resíduos sólidos, como responsabilidade do poder público municipal ou órgão por ele credenciado, a coleta, o tratamento e o destino final do resíduo comum. Além disso, é prevista a disponibilização de coletores de lixo seletivo, obedecendo a uma proporção de um coletor a cada 100m, em áreas comerciais e públicas de grande circulação de pessoas (TERESINA, 2007).

- **Características da Coleta Seletiva de Teresina – Piauí**

Com a Lei Complementar nº 4.359, de 22 de janeiro de 2013, trata das responsabilidades ligadas ao planejamento, coordenação, execução e avaliação da Política de Limpeza Pública Municipal, que passou a ser da SENDUH - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação, através da CELIMP - Coordenação Especial de Limpeza Pública.

Na tentativa de adequação a PNRS foi criada a Lei Municipal nº. 4.684 de 2015, que institui diretrizes acerca da criação do Programa de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos e Inclusão Social dos Catadores de Materiais Recicláveis – PRÓ-CATADOR, em Teresina, e dá outras providências. Essa Lei apresenta conceitos, princípios e objetivos para apoiar o fomento à organização produtiva dos catadores de materiais recicláveis, melhoria das condições de trabalho, ampliação das oportunidades de inclusão social e econômica, bem como, sobre a expansão da coleta seletiva de resíduos sólidos, a reutilização e a reciclagem, por meio da atuação desse segmento organizado em cooperativas ou associações autogestionárias, proporcionando a geração de trabalho e renda aos catadores de resíduos sólidos recicláveis (TERESINA, 2015).

O Programa de Coleta Seletiva adotado é a modalidade de Pontos de Entrega Voluntária, sendo os resíduos coletados destinados a Associação de Catadores Emaús, também

conhecida por Movimento Emaús Tropeiros de Teresina. Esta Associação é a única cadastrada pela prefeitura para receber os materiais coletados pelo programa de coleta seletiva.

A localização dos PEV se dá em estabelecimentos de referência, como praças, parques, passeios de vias públicas e comerciais, também é feita a coleta direta em estabelecimentos comerciais credenciados no sistema, que estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pontos comerciais credenciados no sistema de coleta seletiva.

PONTOS COMERCIAIS CREDENCIADOS NO SISTEMA DE COLETA SELETIVA		
SENDUH	Delta Lanternagem	China Box
Credishop	Distribuidora Ipiranga	Finess Buffer
Chopp Time	Hospital da Polícia Militar	Quiminorte
Pão de Açúcar – Av. Don Severino	Cond. Strauss	Bistrô
Pão de Açúcar – Av. Homero Castelo Branco	Cond. Pallazo Simione	Cond. Maria Paula
Extra Av. Kenedy	Cond. Baltazar Mello	Senac – Campos Sales
Camarão do Elias	Carmen Cheff's	Metropolitan Hotel
UPA Renascença	Ateliê do Cheff	Hotel Ibis
Fundação Bra desco	Chopp Time	Senac – Miguel Rosa

Fonte – CELIMP/ SENDUH (2016)

De acordo com a CELIMP/SENDUH, o Programa de Coleta Seletiva teve início em maio de 2013 e é composto por 14 PEV. Cada PEV contém 4 contentores de cores distintas para receber os seguintes materiais: vidros (verde), metal (amarelo), plástico (azul) e papéis (vermelho). Os 14 PEV estão distribuídos na área urbana de Teresina e são divididos em dois tipos de contentores, os de maior porte com capacidade volumétrica de 2500 litros/cada estão presente em 8 PEV, e os de menor porte, que é comumente chamado de PEVINHO, com capacidade volumétrica de 300 litros/cada estão presentes em 6 pontos, como mostra as Figuras 12 e 13, e a localização de cada ponto está descrita na Tabela 2 e ilustrada na Figura 14.

Figura 12 – PEV de maior porte com capacidade volumétrica de 2500 litros/cada.



Fonte: Autor

Figura 13 – PEV de menor porte (PEVINHO) com capacidade volumétrica de 300 litros/cada.



Fonte: Autor

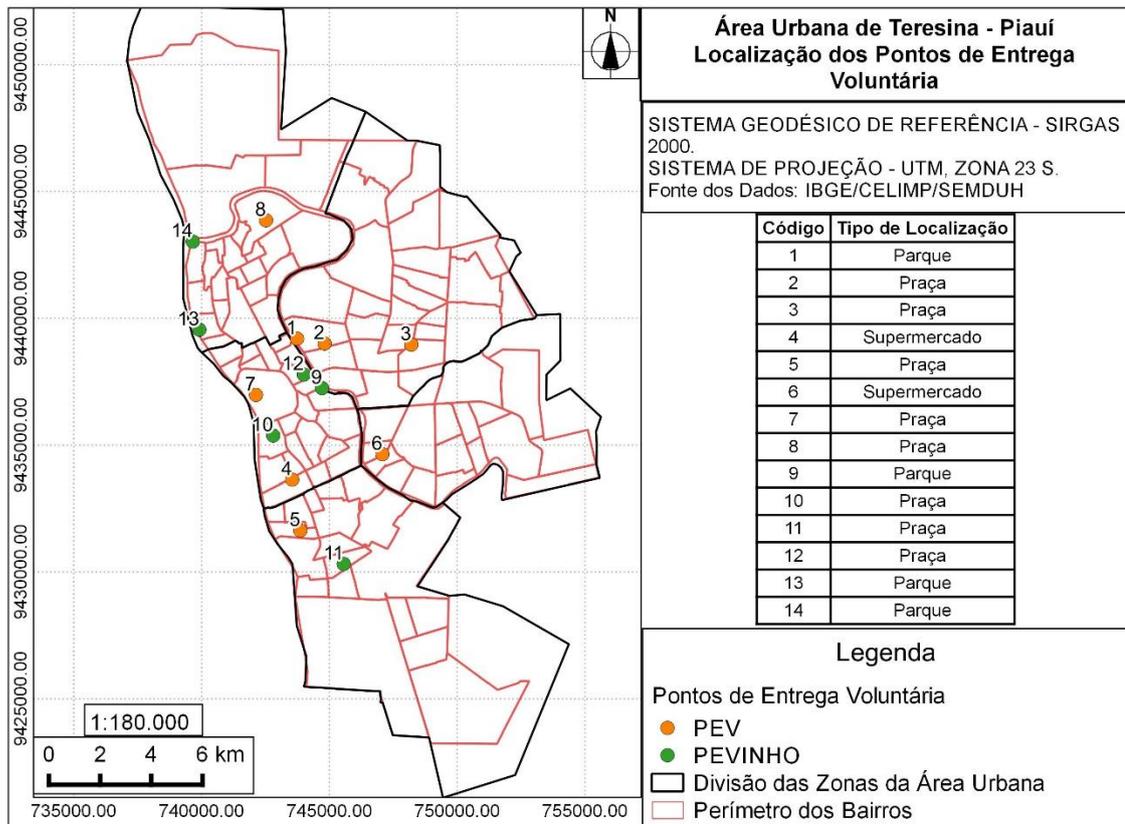
Tabela 2 – Localização dos Pontos de Entrega Voluntária em Teresina - PI.

LOCALIZAÇÃO	
PEV	PEVINHO
1 - Avenida Raul Lopes, Bairro de Fatima.	9 - Avenida Marechal Castelo Branco, Bairro Ilhotas
2 - Avenida Nossa Senhora de Fátima, Bairro de Fátima - Praça Dom Avelar Brandão Vilela	10 - Av. Barão de Gurgueia, Bairro Vermelha - Praça da Vermelha,
3 - Avenida Dom Severino, Moradado Sol - Praça Jornalista Carlos Castelo Branco	11 - Av. Dep. Ulisses Guimarães, Bairro Promorar - Praça da Igreja do Promorar
4 - Comercial Carvalho, Av. Barão De Gurgueia, Bairro Tabuleta	12 - Rua Osvaldo Cruz, Bairro Cabral - Praça Edgar Nogueira
5 - Rua Dr. Luís Pires Chaves, Saci - Praça das Palmeiras	13 - Av. Boa Esperança, Bairro São Joaquim - Parque Lagoas do Norte
6 - Carvalho Mercado, Br. 343, Bairro Beira Rio	14 - Rua Des. Fávio Furtado, Bairro Olaria - Parque Ambiental Encontro dos Rios
7 - Rua Simplício Mendes, Centro - Praça Rio Branco	
8 - Av. Antônio Pedreira Martins, Bairro Mocaquinho - Praça da Telemar	

Fonte – CELIMP/ SENDUH

Ainda com relação as informações da CELIMP/SEMDUH, a coleta dos materiais depositados nos PEV é realizada em dias alternados (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), já em alguns estabelecimentos comerciais credenciados a frequência é de acordo com a demanda de resíduos gerados. O sistema conta com um veículo coletor adaptado para o recebimento dos quatro tipos de resíduos (vidro, papel, plástico e metais), com um motorista e dois funcionários. Todo o resíduo coletado é encaminhado para a Associação de Catadores Emaús.

Figura 14 – Caracterização e localização dos PEV em Teresina - PI.



Fonte: Autor

4.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS

4.3.1 Base de Dados Espaciais

A base de dados espaciais foi gerada nesta pesquisa pelos mapas de divisas política e administrativa do Estado do Piauí e outros dados que foram concebidos e coletados de outros órgãos a seguir:

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, dados no formato *shapefile* com informações dos limites territoriais do País, dos estados, dos municípios e das zonas distritais da cidade de Teresina, e dados descritivos do último censo demográfico (2010);
- Empresa de Saneamento Básico para Tratamento de Água e Esgoto do Estado do Piauí – AGESPISA, dados da base cadastral no formato *shapefile* dos limites dos bairros, das quadras, dos lotes e logradouros da área de estudo;

- SEMPLAM – Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, dados descritivos sobre população, localização das praças, parques, escolas e estabelecimentos comerciais, de cada bairro de Teresina;
- CELIMP – Coordenação Especial de Limpeza Pública/ SEMDUH – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação, dados descritivos sobre características e localização dos PEV.

4.3.2 Programas Computacionais

- Quantum GIS – Construção dos mapas de localização geográfica, divisão política-administrativa e aplicação da metodologia de análises de localização dos PEV;
- ArcGIS – Construção dos mapas de cobertura dos PEV propostos e dos PEV já existentes na área de estudo;
- GRASS – Sistema de Suporte de Análise de Recursos Geográficos – Complemento do QGIS para aplicação das análises espaciais;
- Postgre SQL – Criação e implementação da base de dados digitais e aplicação da análise de distâncias. Foram utilizadas as extensões *PostGIS* para implementação dos dados geográficos e *pgRouting* para geração da rede topológica e execução de algoritmos de roteamento;
- Excel – Usado para editar e armazenar os resultados das análises de roteamento;
- Notepad ++ - Aplicativo de edição de texto usado para auxiliar no tratamento dos dados;
- OMT-G Designer/Aqui.io – Elaboração do Modelo Conceitual de Dados Espaciais.

4.3.3 Equipamentos Eletrônicos e Computacionais

- *Notebook*, com processador mínimo Intel Core i5 e memória RAM melhor ou igual a 4 GB;
- *GPS de Navegação GarminEtrex*;
- Câmera fotográfica digital.

5 MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS PARA LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA

5.1 MODELO CONCEITUAL

A modelagem de dados espaciais envolveu as entidades geográficas para representação do espaço urbano que influenciam na tomada de decisão sobre a melhor localização de pontos de coleta seletiva. O modelo conceitual foi construído através do aplicativo OMT-G *Designer*, que é um aplicativo de diagramação *on-line* disponibilizado pelo site: <http://www.aqui.io/omt-g/>. O OMT-G *Designer* permite tanto o mapeamento conceitual de dados geográficos como também exporta um esquema físico próprio do *Postgres/PostGIS*, (LIZARDO, 2013 e DAVIS JR, 2014).

O processo de localização de PEV requer a representação dos elementos do espaço urbano, como, por exemplo, os perímetros das quadras, dos lotes e dos logradouros, e características como a existência de praças e parques, estes elementos são referências de centros urbanos para instalações de PEV.

O modelo de dados OMT-G foi configurado em 11 classes georreferenciadas, sendo:

- a) Município, Zona e Bairro referentes ao mapa base para localização da área de estudo;
- b) Quadra, Lote, PEV, Local_peg e Novo_peg, referentes as classes de cadastro urbano que representam os elementos específicos para análise locacional dos PEV;
- c) Logradouro utilizada para geração da rede topológica necessária para análise de roteamento.
- d) As classes Lote e Local_peg apresentaram duas formas de representação, sendo uma no formato vetorial do tipo polígono e outra do tipo ponto, pois as duas representações foram necessárias para as análises.

Para realizar a generalização cartográfica pela forma foram criados ainda duas classes convencionais: lote_c e local

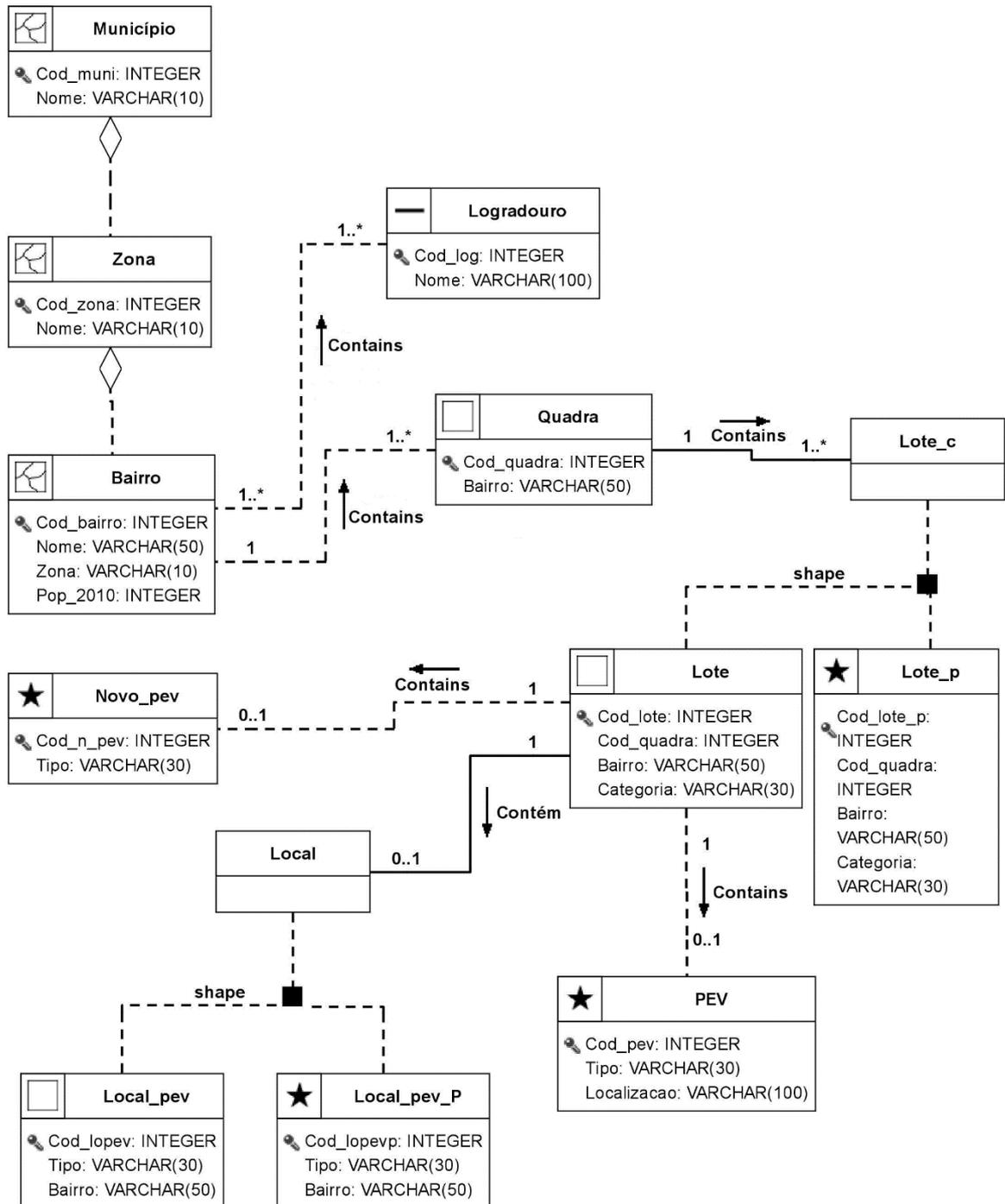
As praças, parques e estabelecimentos comerciais, foram escolhidos como áreas possíveis para instalação de pontos para coleta seletiva. A classe que recebeu a informação de localização de cada um desses elementos foi Local_pev. A classe Novo_pev foi utilizada para a implementação dos pontos do Local_pev que foram escolhidos para a proposta de localização otimizada para instalação de PEV.

Os atributos e os relacionamentos foram definidos de acordo com a natureza das classes. O relacionamento entre as classes Município, Zona e Bairro são do tipo agregação espacial, ou seja, Zona é a subdivisão espacial de Municípios e Bairros é a subdivisão espacial de Zona.

O relacionamento de Bairros com Logradouros e Quadras e das quadras com o lote_c são do tipo associação simples com a relação contém (*Contains*), ou seja, Bairro contém Logradouro e Quadra e Quadra contém lote_c. Entre lote, Novo_pev, local e pev foi também de associação simples com a relação contém, onde lote contém novo_pev, local e pev. Outro relacionamento utilizado é a generalização cartográfica pela variação da forma (*shape*) do tipo total com sobreposição, pois permite que um ou mais elementos possam existir, aplicado nas classes lote e Local_pev.

Para todas as classes foi inserido um atributo **cod** representado com um número de identificador único e que foi escolhido com chave primária (PK - *Primary key*). Todo o modelo está ilustrado pela Figura 15.

Figura 15 – Modelo Conceitual de Dados Espaciais.



Fonte: Autor

As descrições dos dados do Modelo de Representação estão detalhadas através de dicionário de dados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição dos dados do modelo de representação.

Camada: Município			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_muni	<i>Integer</i> (número inteiro)	3	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Nome	<i>Varchar</i> (caracteres)	10	Nome da cidade
Geom	<i>Geometry – Polygon</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Zona			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_zona	<i>Integer</i> (número inteiro)	3	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Nome	<i>Varchar</i> (caracteres)	10	Nome da zona
Geom	<i>Geometry – Polygon</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Bairro			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_bairro	<i>Integer</i> (número inteiro)	3	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Nome	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do bairro
Pop_2010	<i>Integer</i> (número inteiro)	10	É o número correspondente a população do bairro de acordo com o censo do IBGE de 2010
Geom	<i>Geometry – Polygon</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Logradouro			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_log	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Nome	<i>Varchar</i> (caracteres)	10	Nome do Logradouro
Geom	<i>Geometry – Polygon</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Quadra			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_quadra	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Bairro	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do Bairro em que a quadra está inserida
Geom	<i>Geometry – Polygon</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Novo_pev			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_n_pev	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Tipo	<i>Varchar</i> (caracteres)	30	Classifica em praças, parques e estabelecimento comercial
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Ponto)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Lote			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_lote	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Cod_quadra	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único das quadra que o lote está inserido
Bairro	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do Bairro em que a quadra está inserida
Categoria	<i>Varchar</i> (caracteres)	30	Classifica os lotes em residencial, comercial, público e industrial
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Polígono)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Lote_p			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_lote_p	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Cod_quadra	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único das quadra que o lote está inserido
Bairro	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do Bairro em que a quadra está inserida
Categoria	<i>Varchar</i> (caracteres)	30	Classifica os lotes em residencial, comercial, público e industrial
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Ponto)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: PEV			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_pev	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Tipo	<i>Varchar</i> (caracteres)	10	Classifica em PEV ou PEVINHO
Localização	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Descreve o nome das ruas de localização dos pontos
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Ponto)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Local_peg			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_lopeg	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Tipo	<i>Varchar</i> (caracteres)	30	Classifica em praças, parques e estabelecimento comercial
Bairro	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do Bairro em que a quadra está inserida
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Ponto)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Camada: Local_peg_p			
Atributo	Tipo de dados	Tamanho	Descrição
Cod_lopegp	<i>Integer</i> (número inteiro)	5	Identificador único para as feições da camada. Usado como atributo chave primária
Tipo	<i>Varchar</i> (caracteres)	30	Classifica em praças, parques e estabelecimento comercial
Bairro	<i>Varchar</i> (caracteres)	50	Nome do Bairro em que a quadra está inserida
Geom	<i>Geometry – Point</i> (Geometria - Ponto)	EPSG: 31983 SIRGAS2000 Zona 23S	Descreve o tipo de geometria da classe

Fonte: Autor

5.2 MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO

5.2.1 Criação da base de dados dentro do Postgres/PostGIS

Para o armazenamento dos dados em um ambiente computacional foi escolhido o SGBD - Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados *Postgres* com extensão para dados espaciais *PostGIS*.

O *Postgres/PostGIS* permite a criação, manipulação e análise de dados espaciais e também apresenta uma integração com o *software QuantumGIS* para visualização, manipulação e análise espacial dos dados em plataforma SIG.

Para a implementação do modelo e aplicação das análises espaciais foi selecionado um pequeno subconjunto da área representado pelo limite compreendendo a região centro da área urbana de Teresina.

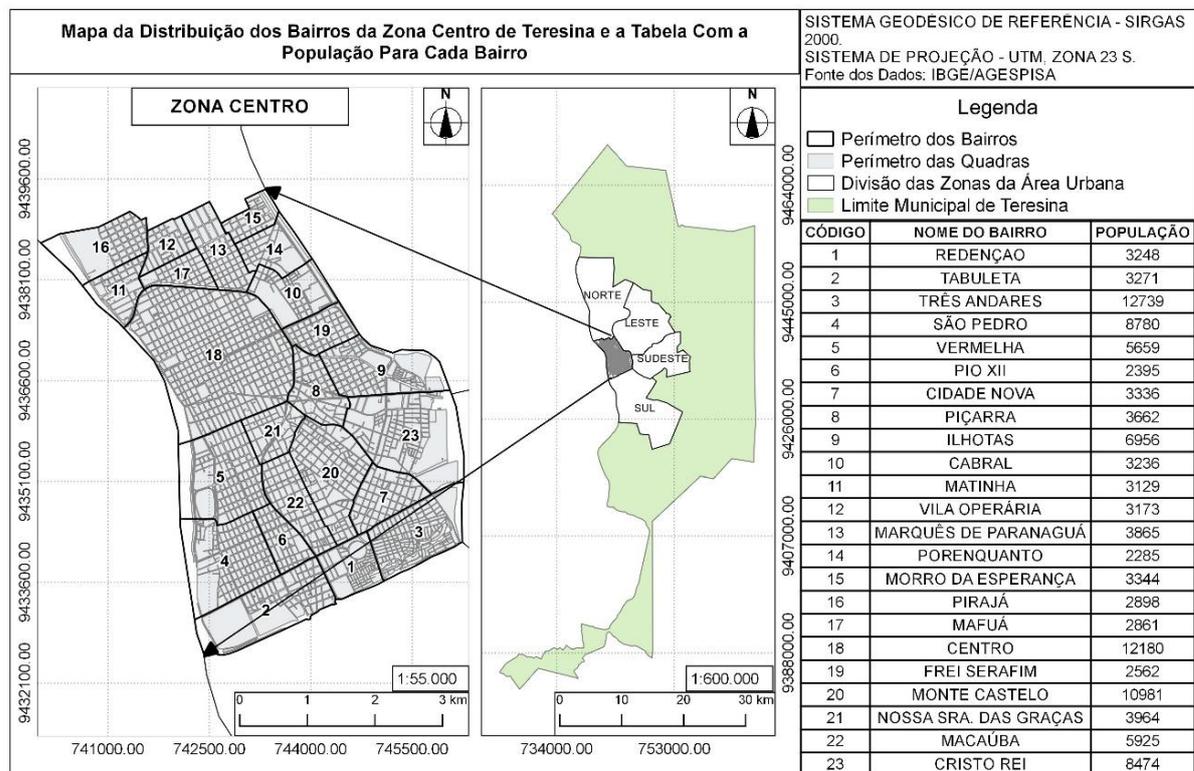
Segundo o Censo do IBGE, de 2010, a área possuía uma população aproximada em 111.967 habitantes formada por 23 bairros (IBGE, 2016). A Figura 16 mostra a distribuição dos bairros da zona Centro e a distribuição da população de cada bairro.

Pelo aplicativo OMT-G *Designer*, utilizado para elaborar o Modelo Conceitual, possibilitou exportar um esquema físico da estrutura do modelo em um formato compatível

para implementação dentro do *Postgres/PostGIS*. Foram exportados dois arquivos: um com o *scriptSQL* contendo a estrutura de dados do modelo conceitual e o outro contendo o *scriptSQL* das restrições de relacionamento entre as classes.

Para esta pesquisa não foi materializado no esquema de implementação os relacionamentos espaciais, pois as associações entre as classes podem ser definidas durante as consultas espaciais realizadas pelo SIG.

Figura 16 – Mapa da Distribuição dos Bairros da Zona Centro de Teresina e a Tabela Com a População Para Cada Bairro.



Fonte: Autor

Inicialmente foi criado uma nova base de dados com o nome **ponto_entrega_voluntaria**. Em seguida foi inserido o *scriptSQL* para implementar as classes.

O PostGIS, assim como outros sistemas de gerência de banco de dados, segue os padrões da OGC – Open Geospatial Consortium. A OGC considera apenas representações geométricas simples para a implementação, como polígono, multipolígono, ponto, linha e multilinha (LIZARDO, 2013 e DAVIS JR, 2014). Por conta disso, foi necessário fazer algumas alterações dentro do script, sendo uma delas a utilização da geometria do tipo polígono para representar a Subdivisão Planar. Outras alterações foram:

- Acrescentou-se na geometria o ID do Sistema de Referência de cada classe. O sistema utilizado foi o SIRGAS 2000, zona 23 Sul; e
- Criou-se uma sequência para cada classe. Essa sequência foi inserida na chave primária para que o banco gerasse automaticamente o seu valor e a restrição para que esse valor não fosse um valor nulo.

Um exemplo da criação de uma classe georreferenciada (o scriptSQL completo está descrito no Apêndice A), apresentado resumidamente:

```
-- Criando a sequência para Município
CREATE SEQUENCE municipio_gid_seq;
-- Criando a tabela Município
CREATE TABLE Municipio (
  Cod_muni INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('municipio_gid_seq'::regclass),
  Nome VARCHAR(10),
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Município PRIMARY KEY (Cod_muni) );
-- Criando o índice espacial na coluna geom de Município
CREATE INDEX SIDX_Municipio
ON Municipio
USING GIST (geom);
```

O modelo apresentou duas classes convencionais que foram usadas para gerar uma generalização cartográfica pela forma: lote_c e local. O processo de criação dessas classes é diferente do utilizado para classes georreferenciadas.

De acordo com o tipo de relacionamento entre as classes, deve ser criado uma chave estrangeira que represente o relacionamento. A chave estrangeira de lote_c é o código da classe quadras, pois as quadras contêm lote_c e para a classe local a chave estrangeira é lote, pois lote contém local. Os scriptSQL utilizados foram:

```
-- Criando tabela convencional lote_c com a coluna de chave estrangeira
CREATE TABLE Lote_c (
  Quadra_Cod_quadra INTEGER)
-- Adicionar restrição de chave estrangeira na tabela Lote_c
ALTER TABLE Lote_c ADD
CONSTRAINT fk_Lote_c_ref_Quadra
FOREIGN KEY (Quadra_Cod_quadra)
REFERENCES Quadra(Cod_quadra);
-- Criando tabela convencional local com a coluna de chave estrangeira
CREATE TABLE Local (
  Lote_Cod_lote INTEGER)
-- Adicionar restrição de chave estrangeira na tabela Local
ALTER TABLE Local ADD
CONSTRAINT fk_Local_ref_Lote
FOREIGN KEY (Lote_Cod_lote)
REFERENCES Lote(Cod_lote);
```

Com o modelo físico estruturado no SGBD é iniciado o processo de implementação das feições para cada classe. Os dados do limite municipal e das zonas foram adquiridos através do banco de dados do IBGE em formato *Shapefile*. Os dados do perímetro dos bairros, quadras, lotes e as linhas de logradouro foram fornecidos pela empresa de saneamento – AGESPISA, em formato *Shapefile*.

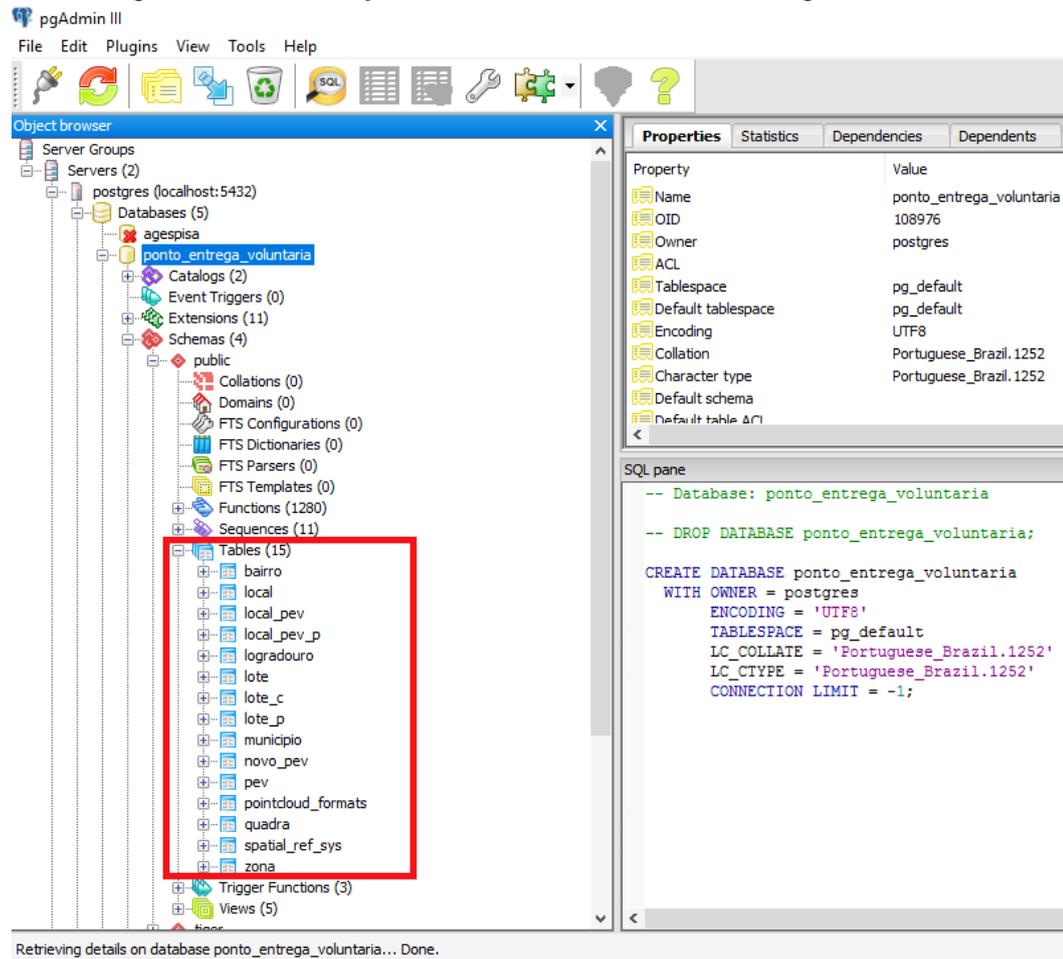
Para realizar essa etapa foi criada uma conexão do banco de dados postGIS com o *software* QGIS. Os arquivos shapefile foram inseridos no QGIS a partir de camadas vetoriais. As camadas das classes do banco também foram inseridas. Copiou-se as feições para o banco.

Na classe bairro foi preciso a implementação das informações de população para cada bairro que não estavam inseridas nos arquivos shapfile. As informações de população foram adquiridas pelo *site* do IBGE através do censo demográfico de 2010.

A classe PEV recebeu as informações dos pontos já existentes. Para obter as coordenadas de localização de cada PEV existente foi utilizado um GPS de navegação *GarminEtrex*. Os pontos foram coletados em coordenadas geográficas no Sistema de Referência WGS84. Posteriormente a coleta, os pontos foram transformados para o Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000, na projeção UTM, zona 23Sul, através da Calculadora Geográfica do *site* do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para descarregar tais pontos e salvá-los na extensão *shapefile* foi utilizado o *software* QGIS pela ferramenta adicionar camada a partir de um texto delimitado e as feições foram copiadas para a camada da classe PEV. As informações das colunas foram editadas manualmente.

A apresentação das classes adicionadas na base de dados **ponto_entrega_voluntaria** do banco Postgres/PostGIS está ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Visualização das tabelas dentro do banco Postgres/PostGIS.



Fonte: Autor

5.3 ETAPAS PARA LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA

A Cidade de Teresina possui 14 Pontos de Entrega Voluntária, sendo 8 com contentores de grande porte, e 6 de pequeno porte, distribuídos em sua área urbana e localizados em regiões como praças, parques e estabelecimentos comerciais do tipo supermercado.

Segundo Peixoto, Campos e D'Agosto (2006), o primeiro passo para a localização dos pontos de coleta seletiva é **estimar a quantidade de pontos** que são necessários para abranger todo a área de estudo. Para fazer essa quantificação é preciso ter a quantidade de massa de resíduos recicláveis produzido, a frequência de coleta e a capacidade dos contentores de armazenamento.

Peixoto, Campos e D'Agosto (2006) elaboraram a Equação 1 para estimar a quantidade de PEV necessária para cada região de acordo com a quantidade de resíduos coletados seletivamente, que se segue:

$$NPEV = \frac{Qrt}{Cc * f} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,

NPEV: o número de PEV a serem instalados;

Qrt: quantidade total de recicláveis gerada semanalmente, em toneladas;

Cc: capacidade de carga do *container*, em toneladas;

f: frequência de coleta, em vezes por semana.

De acordo com os dados levantados pelo SNIS-RS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento em seu componente sobre Resíduos Sólidos, o indicador médio de resíduos sólidos urbanos produzidos por habitantes no Estado do Piauí para o ano de 2015 representa 1,37kg/hab./dia (SNIS, 2017). Ainda com base na pesquisa do SNIS – SR, de toda a massa coletada estima-se que 30% representa os resíduos potencialmente recicláveis. Logo, pode ser estimado que são coletados 0,411 kg/hab./dia de massa potencialmente reciclável por habitante para a região Nordeste do Brasil.

Para aplicar a Equação 1 deve ser encontrado o valor de massa de resíduos recicláveis para cada bairro semanalmente. Como na cidade de Teresina não existem dados sobre a quantidade de resíduos recicláveis coletados utilizou-se a estimativa de massa potencialmente reciclável atribuída pelo SNIS – RS equivalente a 0,411kg/hab./dia. Logo, a quantidade de resíduos recicláveis produzido semanalmente por habitante utilizada para a fórmula é de 2,877kg/hab./semana (esse valor foi obtido multiplicando o valor de 0,411kg/hab./dia por 7). E para descobrir a quantidade de cada bairro foi multiplicado o valor produzido por habitante pela quantidade de habitantes de cada bairro, o resultado está descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Relação de bairros com a quantidade de recicláveis gerada semanalmente em kg.

BAIRRO	QRT (kg)	BAIRRO	QRT (kg)
Redenção	9344,496	Marquês de Paranaguá	11119,605
Tabuleta	9410,667	Porenquanto	6573,945
Três Andares	36650,103	Morro da Esperança	9620,688
São Pedro	25260,06	Pirajá	8337,546
Vermelha	16280,943	Mafuá	8231,097
Pio XII	6890,415	Centro	35041,86
Cidade Nova	9597,672	Frei Serafim	7370,874
Piçarra	10535,574	Monte castelo	31592,337
Ilhotas	20012,412	Nossa Sra. das Graças	11404,428
Cabral	9309,972	Macaúba	17046,225
Matinha	9002,133	Cristo rei	24379,698
Vila Operária	9128,721		

Fonte: Autor

Encontrado a quantidade de recicláveis produzidos semanalmente a outra informação que deve ser encontrada é a capacidade de carga dos contentores e a frequência de coleta. Como informado pela CELIMP/SENDUH cada PEV possui quatro contentores, sendo os de pequeno porte com capacidade volumétrica de 300litros/cada e os de grande porte 2500litros/cada e a frequência de coleta é realizada três vezes por semana. Para a presente pesquisa foi considerado apenas os contentores de grande porte e para o cálculo de quantidade de PEV foi considerado os quatros como um todo, desprezando a separação dos materias entre os contentores, pois não existe informação de quantidade de resíduos coletados para cada tipo de material. A informação da capacidade de carga dos PEV fornecida pelo fabricante é de 1T/cada. Logo, o valor de Cc será a capacidade de carga em toneladas mutiplicada por quatro, que corresponde a 4 T.

Em posse dos dados e após realizado os cálculos foi possível encontrar o valor aproximado de PEV necessário para cada bairro (os valores foram aproximados para o maior valor inteiro), que está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Número de Pontos de Entrega Voluntária estimado para cada bairro.

BAIRRO	NPEV	BAIRRO	NPEV
Redenção	1	Marquês de Paranaguá	1
Tabuleta	1	Porenquanto	1
Três Andares	3	Morro da Esperança	1
São Pedro	2	Pirajá	1
Vermelha	2	Mafuá	1
Pio XII	1	Centro	3
Cidade Nova	1	Frei Serafim	1
Piçarra	1	Monte castelo	3
Ilhotas	2	Nossa Sra. das Graças	1
Cabral	1	Macaúba	2
Matinha	1	Cristo rei	2
Vila Operária	1		

Fonte: Autor

Após o cálculo para obter o número de PEV foi possível **definir as áreas onde cada ponto poderá ser instalado.**

Os PEV devem estar localizados em áreas de fácil acesso, ou seja, áreas que podem ser visitadas 24 horas por dia e em qualquer dia da semana e que tenha acesso para o veículo de coleta.

Por conta destes critérios as áreas de praças, parques e alguns estabelecimentos comerciais foram escolhidos como as áreas mais adequadas para a instalação de PEV.

A classe que recebeu a informação de representação dessas áreas foi a local_pegv. A implementação dos dados dessa classe foi realizada através das informações descritivas dos

relatórios dos perfis dos bairros fornecidos pela SEMPLAN. Dentro desses relatórios foi possível descobrir quais as praças, parques e estabelecimentos comerciais que cada bairro possui. Esses elementos foram encontrados e desenhados de acordo com o limite do lote a que eles pertencem. Apenas alguns estabelecimentos comerciais foram escolhidos. A informação dos estabelecimentos que apresentavam os critérios exigidos foi fornecida pela CELIMP/SEMDUH e também foi analisada por meio de observações utilizando os recursos de exploração de mapa do Google *Maps*. A Tabela 6 descreve a quantidade de PEV necessária e a quantidade de áreas propícia a instalação de PEV para cada bairro.

Outro ponto a ser observado é o princípio de instalação dos PEV que consiste em abranger a população por meio da proximidade entre estes pontos e as residências dos cidadãos. Segundo Peixoto, Campos e D'Agosto (2006) a distância ideal para incentivar a participação da população seria de 300 metros, podendo chegar ao máximo de 500 metros.

Tabela 6 – Número de Pontos de Entrega Voluntária estimado para cada bairro e quantidade de elementos da classe Local_peg_p existentes em cada bairro.

BAIRRO	NPEV	LOCAL_PEV_P	BAIRRO	NPEV	LOCAL_PEV_P
Redenção	1	3	Marquês de Paranaguá	1	2
Tabuleta	1	5	Porenquanto	1	1
Três Andares	3	4	Morro da Esperança	1	1
São Pedro	2	4	Pirajá	1	1
Vermelha	2	6	Mafuá	1	1
Pio XII	1	0	Centro	3	14
Cidade Nova	1	0	Frei Serafim	1	1
Piçarra	1	3	Monte castelo	3	6
Ilhotas	2	5	Nossa Sra. das Graças	1	6
Cabral	1	3	Macaúba	2	1
Matinha	1	3	Cristo rei	2	4
Vila Operária	1	1			

Fonte: Autor

Para aplicar o critério de localização dos PEV até a **distância máxima de 500m das residências** até os PEV foi executado uma utilizando o algoritmo de roteamento *Dijkstra*, pois ele calcula o menor caminho e o custo do trajeto entre dois pontos, ou seja, responde com uma sequência de arcos e nós que devem ser percorrido partindo do ponto de origem até chegar em um ponto de destino.

Os dados necessários para análise de roteamento foram os logradouros, a localização dos lotes e a localização das áreas a serem analisadas. O primeiro passo na preparação da rede de arcos e nós para executar o algoritmo foi realizar uma conexão dos lotes com os logradouros.

Os lotes a serem considerados na pesquisa são apenas os da categoria **residencial**, pois o foco da instalação de PEV consiste em tornar estes pontos mais próximos da população com

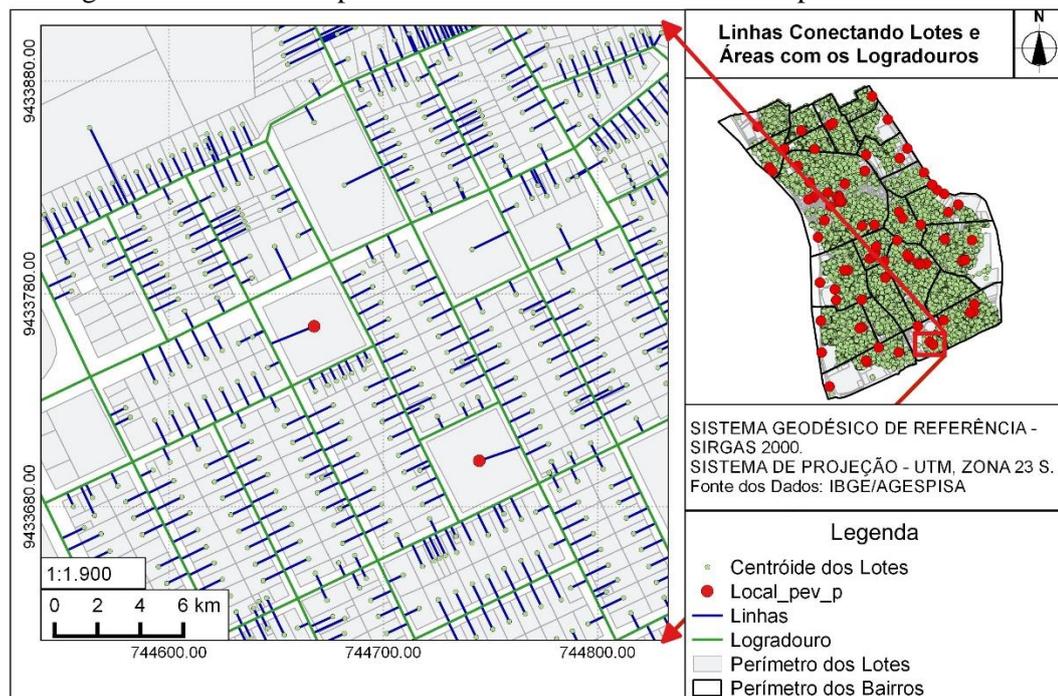
o intuito de incentivá-los a participar de programas de coleta seletiva. Inicialmente, criou-se um centroide para cada polígono que representa os lotes do tipo residencial. Os centroides foram inseridos na camada da classe Lote_p.

O mesmo foi realizado com as áreas propícias a instalação dos PEV, ou seja, foi gerado um ponto centroide do polígono que representa cada elemento da classe Local_peg. Este centroide foi calculado através da ferramenta de geometria **centroides do polígono** e inseridos na camada local_peg_p.

Para criar uma linha partindo do lote_p para se ligar aos logradouros foi realizada uma análise de proximidade por meio da ferramenta *v.distance* do complemento GRASS oferecido pelo QGIS. Essa ferramenta localiza o elemento mais próximo das feições de uma camada vetorial com base em outra camada vetorial e gera uma linha conectando os elementos mais próximos.

O critério utilizado na análise foi a menor distância linear entre os pontos e os logradouros. O resultado foi a criação de uma linha partindo dos lotes até o logradouro mais próximo. Já no local_peg_p as linhas foram criadas manualmente, pois as praças podem ter mais de um acesso, neste sentido o acesso mais adequado foi escolhido através de observação das imagens do Google Maps levando em consideração a existência de espaço para estacionar o veículo coletor. O resultado é mostrado na Figura 18. Essas linhas foram inseridas dentro da camada de logradouros.

Figura 18 – Análise de proximidade com a ferramenta do complemento GRASS.



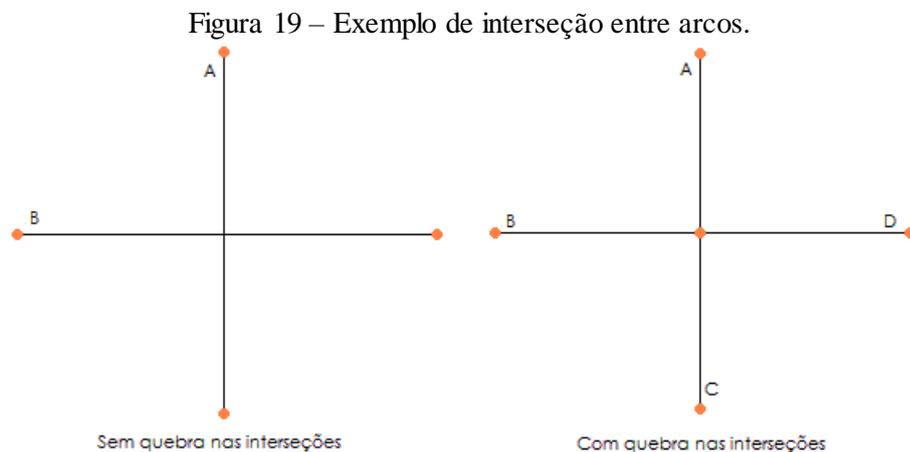
Fonte: Autor

5.4 CRIAÇÃO DA REDE TOPOLÓGICA

Em áreas urbanas o caminho percorrido pela população não pode ser calculado por distâncias Euclidianas, pois existem barreiras que devem ser consideradas, como por exemplo, a distância Euclidiana de um ponto ao outro pode passar por cima de casas o que não corresponde a caminhada realizada pela população de suas residências até o PEV. É então preciso calcular as distâncias levando em consideração o comprimento das vias. Esse processo foi executado através de um algoritmo de roteamento que traça o menor caminho entre dois postos e mostra um valor de custo ao percorrer todo esse trajeto.

Para que fosse possível gerar algoritmos de roteamento com *pgRouting* foi necessário construir uma topologia para os dados de logradouro. Isso significa que, todo início e fim do arco de logradouro deveria ser conectado com um nó, e os arcos conectando entre si através desses nós.

Antes de criar a topologia, os dados precisaram, ainda, de uma quebra de arcos, ou seja, quando dois ou mais logradouros formavam uma interseção foi necessário criar um nó nessa interseção e para isso os segmentos de arcos foram quebrados nas interseções. Um exemplo pode ser explicado na Figura 19.

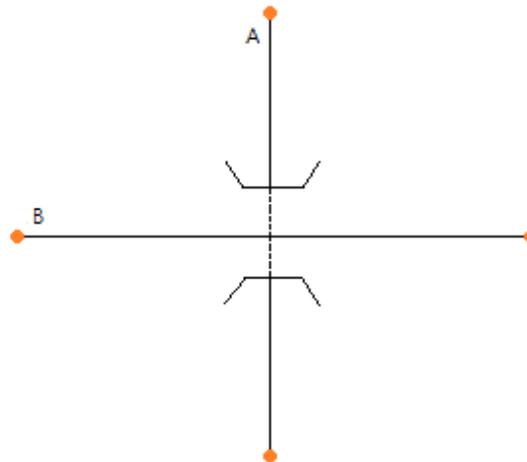


Fonte: Autor

Na Figura 19 o primeiro exemplo (sem quebra nas interseções) mostra uma situação em que não existe conexão entre os dois arcos, ou seja, partindo do arco A não tem como acessar o arco B. Já no segundo exemplo aparecem quatro arcos compartilhando um nó que permite fazer a conexão entre eles. A ferramenta para a quebra de arcos foi a ferramenta *v.dean.break* do complemento GRASS para correção de topologia de mapas vetoriais, que executa a quebra das linhas sempre que existir interseção.

Uma exceção a quebra dos arcos foram os casos onde existem viadutos. A área de estudo possui apenas dois viadutos e depois da quebra seus arcos foram corrigidos, pois mesmo que haja interseção entre os dois arcos que pertencem a um viaduto não existe acesso de um arco a outro. O exemplo da Figura 20 mostra que o arco A passa por baixo do arco B, para que o programa entenda que não existe acesso de uma ao outro basta não realizar a quebra da interseção entre eles.

Figura 20 – Exemplo de interseção entre arcos onde não pode haver quebra de arcos.



Fonte: Autor

As feições editadas no GRASS foram inseridas na camada da classe logradouro.

Algumas colunas foram adicionadas a camada logradouro para que pudesse ser gerado a topologia e também para executar o algoritmo. Foram adicionadas as seguintes colunas:

- *Source* – para receber o valor do id do vértice de início do arco;
- *Target* – para receber o valor do id do vértice de fim do arco;
- *Oneway* – para receber valores de sentido dos arcos;
- *Cost* – para receber o valor de custo quando o algoritmo percorrer o arco no sentido início – fim
- *Reverse_cost* – para receber o valor de custo quando o algoritmo percorrer o arco no sentido fim – início
- *x1,y1,x2 e y2* – para receber o valor das coordenadas dos vértices de início e fim dos arcos respectivamente.

O algoritmo usado para a adição dessas novas colunas foi:

```
ALTER TABLE logradouro
ADD COLUMN source integer,
ADD COLUMN target integer,
```

```

ADD COLUMN oneway character varying,
ADD COLUMN coste double precision,
ADD COLUMN reverse_cost double precision,
ADD COLUMN x1 double precision,
ADD COLUMN y1 double precision,
ADD COLUMN x2 double precision,
ADD COLUMN y2 double precision;

```

Foi gerado a topologia da rede de logradouros através da função *pgr_createTopology*. Essa função cria uma tabela de vértices e preenche as colunas de origem (*source*) e de destino (*target*) da tabela logradouro. O algoritmo para executar a função de criação da topologia foi a Equação 2:

```

SELECT pgr_createTopology('logradouro', 0.001, 'geom', 'gid', 'sourcer', 'target'). Eq. 2

```

Depois da construção da topologia foi preenchida a coluna de sentido dos logradouros. Esse preenchimento foi realizado manualmente e todos os arcos receberam o valor **B**, considerando todos com duplo sentido, pois a análise da pesquisa se refere a caminhada de pessoas, logo o sentido da via não interfere na análise.

A coluna das coordenadas dos pontos de início (x1,y1) e fim (x2,y2) foram preenchidas pelo algoritmo que se segue:

```

UPDATE rede SET x1 = st_x(st_startpoint(geom)),
y1 = st_y(st_startpoint(geom)),
x2 = st_x(st_endpoint(geom)),
y2 = st_y(st_endpoint(geom));

```

Para as colunas de custo (*cost* e *reverse_cost*) foi atribuído o valor de comprimento de cada seguimento em metros. Essas colunas permitiram ter a respostas de quantos metros seriam percorridos de cada residência para se chegar ao PEV. O preenchimento dessas duas colunas foi através da calculadora de atributos do QGIS.

No processo de construção da topologia foi gerado uma tabela de vértices chamada **logradouro_vertices_pgr**. Nessa tabela apresenta as seguintes colunas:

- Id – Identificador do vértice;
- Cnt – Número de seguimentos de arcos que fazem referência a este vértice;
- Chk – Indicador de que o vértice pode ter um problema;

- Ein – Número de seguimentos de arcos que tem este vértice como vértice de início;
- Eout – Número de seguimentos da rede que tem este vértice como vértice de fim;
- The_geom – Geometria do vértice.

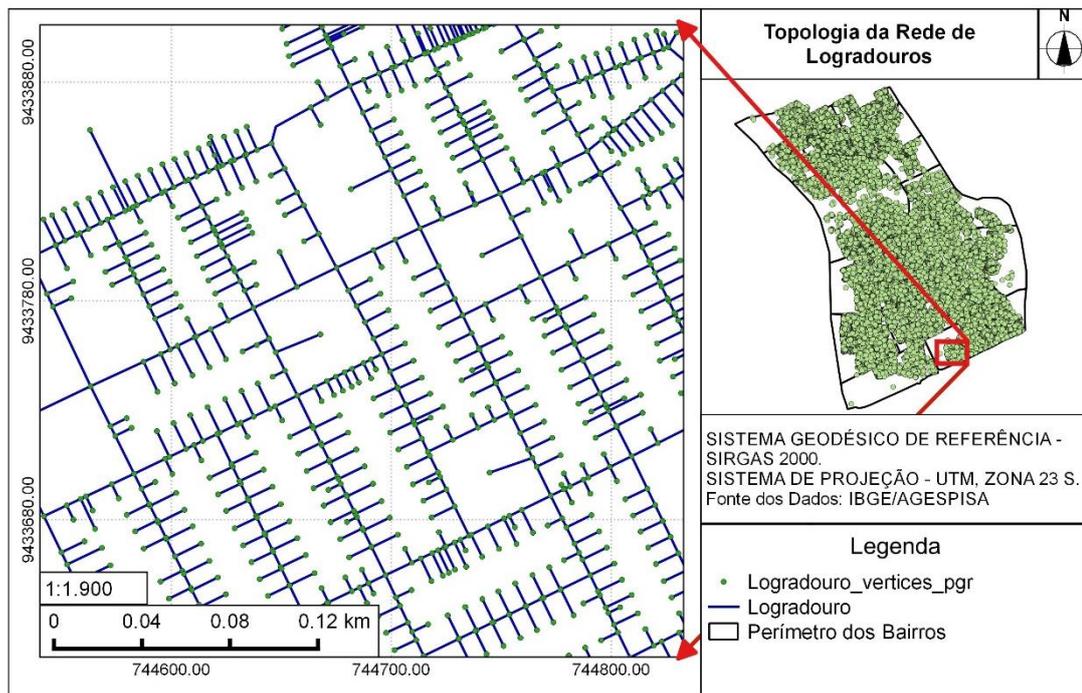
Problemas na rede topológica gerada são comuns de encontrar. Um desses refere-se a falta de conexão entre os vértices e os arcos ou até mesmo entre os arcos. Para analisar se na topologia criada existe algum desses problemas, o *pgRouting* possui uma ferramenta que ao ser executada preenche os dados para as colunas criadas dentro da tabela de vértices da topologia e permite identificar se existem erros.

A função *pgr_analyzeGraph* preenche as colunas *cnt* e *chk* da tabela de vértices. Essa ferramenta analisa a quantidade de arcos que passa por cada nó. Pode acontecer de não ter ocorrido a quebra em uma interseção e nesse caso a ferramenta de análise de gráfico não vai contar o arco que passa pelo nó, pois esse nó não estaria representando um início ou fim do arco. Então, quando essa situação é identificada a ferramenta preenche a coluna *chk* com um valor igual a 1, permitindo que possa ser verificado o arco e caso esteja errado ele deve ser corrigido. A análise é executada através do seguinte algoritmo:

```
SELECT pgr_analyzeGraph('rede', 0.0002, 'geom', 'gid').
```

Os erros que foram encontrados e foram corrigidos manualmente usando o QGIS e uma nova topologia foi criada, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Topologia de arco e nó.



Fonte: Autor

5.5 ANÁLISE DE ROTEAMENTO – ALGORITMO DIJKSTRA

Com a topologia criada foi possível executar o algoritmo para calcular a distância de cada lote até os local_pev_p de cada bairro. O algoritmo utilizado foi o *Dijkstra*, que calcula o menor caminho entre todos os pontos e o retorna custo de todo o caminho percorrido.

Para que o algoritmo calculasse a distância de todos os lotes, foram selecionados com os **id** dos vértices que representam os lotes residenciais de cada bairro individualmente, seguiu as etapas:

- a. Filtrou-se as feições da camada lote_p para aparecer apenas as feições do bairro a ser analisado;
- b. Pela ferramenta vetorial de consulta espacial, selecionou-se os arcos da camada logradouro que interceptaram os lotes do bairro;
- c. Salvou-se os dados da camada logradouro que foram selecionados em um arquivo no formato CSV;
- d. O Arquivo gerado foi aberto pelo *software* Excel, onde foram excluídas todas as colunas deixando apenas a coluna **target** referente ao preenchimento dos **id** dos nós de fim do arco.

Observação: o processo foi realizado por que os pontos que representaram dos lotes foram compreendidos com centroide. Logo, se fosse apenas selecionado o **id** dos nós que estão localizados nesses centroides a distância dos centroides até os arcos de logradouro poderia aumentar a distância dos lotes aos PEV. E ao selecionar os arcos de logradouros que interceptam os centroides dos lotes foi possível selecionar os **id** dos nós, por meio da coluna **target**, que estavam localizados nos arcos de vias, evitando, assim, um aumento das distâncias.

- e. Os dados da coluna **target** foram transformados para que todo valor estivesse em uma coluna. Depois o arquivo foi aberto pelo software Notepad ++ e mudou-se os separadores dos valores de ponto e vírgula para vírgula.
- f. Todos os valores de **id** foram selecionados e inseridos no algoritmo.
- g. Depois foi realizada a seleção dos **id** dos nós que representam as áreas propícias a instalação de PEV e inseridos dentro do algoritmo.

Observação: Também foi escolhido os nós que estavam localizados nos arcos das vias que representavam a localização das áreas sem apresentar exageros.

Um exemplo do algoritmo é apresentado, onde a primeira sequência de números corresponde aos **id** dos nós que representam as residências e a segunda sequência representa os **id** das áreas para instalação dos PEV e a expressão *false* significa que não foi considerado os sentidos dos arcos:

```
SELECT * FROM pgr_dijkstra(' SELECT cod_log AS id, source, target, cost FROM logradouro',
ARRAY[2375, 3633, 3635, 3803,...], ARRAY[67832, 19034, 68035, 18895], false);
```

O algoritmo Dijkstra utilizado calcula o menor caminho de todos os lotes até todas as áreas do bairro, ou seja, parte de várias origens para vários destinos. Após montar o algoritmo ele foi executado de forma que fosse criado uma tabela dentro do banco de dados. A tabela de resultados retornou 8 colunas descritas da seguinte forma:

- Seg: coluna correspondente aos id da tabela;
- Path_seg: sequência caracterizando o caminho percorrido de um vértice a outro até chegar no destino;
- Start_vid: id do ponto de partida, ou seja, representa o id dos nós onde se localizam as residências;

- End_vid: id do ponto de destino, ou seja, representa o id dos nós onde se localizam as áreas para instalação dos PEV;
- Node: é o id dos nós que foram percorridos até chegar no nó de destino;
- Edge: é o id dos arcos que foram percorrido até chegar no destino. Quando aparece o valor igual a “-1”, significa o final de um trajeto;
- Cost: é o valor de custo dos arcos, sendo esse custo compreendido pelo valor do comprimento de cada arco;
- Agg_cost: representa o somatório dos custos até chegar no destino.

A tabela com o resultado do algoritmo foi inserida no QGIS. Nessa tabela foi executado um filtro para contabilizar o número de residências com o custo de até 500 metros para cada área utilizando a Equação 3.

$$\text{"end_vid"='id da área' AND "edge"='-1' AND "agg_cost"<='500'} \quad \text{Eq.3}$$

O filtro foi executado para todas as áreas existentes em cada bairro e a soma da quantidade de residências foi através da ferramenta **contagem de feições da camada**. Todo esse processo foi realizado em todos os bairros e os resultados são apresentados.

5.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados consistiram na proposta de uma metodologia para a distribuição e ampliação de Pontos de Coleta Seletiva de resíduos sólidos urbanos através da utilização das Tecnologias da Geoinformação.

A primeira etapa foi a geração e implementação de um modelo OMT-G, que possibilitou a criação da base de dados para representação dos elementos geográficos dentro do contexto do problema de localização a ser analisado, sendo a implementação realizada dentro do banco de dados *Postgres* com sua extensão espacial *PostGIS*. A base de dados espaciais criada foi conectada ao QGIS para a representação espacial e execução de análises.

Para a instalação de PEV utilizados no armazenamento e na coleta de resíduos sólidos recicláveis praças, parques e estabelecimentos comerciais, foram escolhidas como áreas adequadas por permitirem o fácil acesso da população.

Para definir a quantidade de PEV necessários para cada bairro foi aplicado o cálculo com informações sobre a estimativa da quantidade de resíduos sólidos potencialmente

recicláveis, que deve ser coletado semanalmente. A capacidade de cada PEV e a frequência de coleta, somando-se os resultados dos 23 bairros analisado mostrou a necessidade de instalação de 34 PEV na área de estudo.

Uma rede topológica entre os logradouros, os lotes e as áreas de praças, parques e estabelecimentos comerciais foi gerada para que fosse possível realizar as análises de roteamento. O cálculo das distâncias de todos os lotes residenciais até as áreas escolhidas como adequadas foi realizado pelo algoritmo *Dijkstra* através da extensão *pgRouting* do *Postgres*.

Para analisar quais seriam os PEV escolhidos de acordo com a distância mínima de 500 metros de caminhada dos cidadãos de suas residências até o PEV, foi realizada uma classificação dos bairros, de acordo com a quantidade de áreas propícias para a instalação, e o número de PEV necessário. Os bairros foram assim classificados:

- **Classe 1: Apenas uma área de local_peg, mas necessita apenas de um PEV:** não foi preciso realizar a análise, pois a área existente foi escolhida. Os bairros dentro dessa classificação foram Vila Operária, Porenquanto, Morro da Esperança, Pirajá, Mafuá, Frei Serafim. Uma exceção a nessa classe foi o bairro Macaúba que possui apenas uma área, mas necessita de dois PEV, nesse caso a área existente foi escolhida;
- **Classe 2: Mais de uma área de local_peg, e precisa de apenas um único PEV:** foi analisada a quantidade de residência que estivesse dentro do limite de 500m para todas as áreas existentes em cada bairro e a área com o maior número foi a escolhida. Os bairros dessa classificação foram: Redenção, Tabuleta, Piçarra, Cabral, Matinha, Marquês de Paranagua e Nossa Senhora das Graças;
- **Classe 3: Mais de uma área de local_peg e precisa de mais de um PEV:** para analisar esses bairros foi utilizada tanto a quantidade de residências que estavam a 500m das áreas como também comparado os valores de cada área. Os bairros foram: Três Andares, São Pedro, Vermelha, Ilhotas, Centro, Monte Castelo e Cristo Rei;
- **Classe 4: Não tem nenhuma área de local_peg, mas que precisam de um PEV:** nessa classificação não foi possível escolhes uma área ficando os Pio XII e Cidade Nova abrangidos pelas PEV dos bairros vizinhos.

a) Bairros da Classe 2

Redenção possui três áreas de local_peg e contém 936 lotes residenciais. Duas áreas tiveram mais de 90% dos lotes com a distância de até 500m e uma apresentou apenas 10% (Tabela 7). A área escolhida contabilizou 910 lotes dentro da distância máxima e a maior distância calculada entre todos os lotes para essa área foi de 565,65m. Como o bairro Macaúba precisava de dois PEV e só possuía uma área, a área do bairro Redenção próximo ao limite do bairro Macaúba também foi escolhido.

Tabela 7 – Resultados do Bairro Redenção.

REDENÇÃO				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
12954	902	96	4,36	552,85
12950	910	97	6,78	565,65
12948	93	10	329,84	986,62

Fonte: Autor

Tabuleta possui cinco áreas e contém 932 lotes residenciais. Das cinco áreas analisadas, uma só teve um lote com a distância de até 500m e as outras quatro ficaram entre 40 a 50 % do total (Tabela 8). Como a escolha de uma área só não conseguiria cobrir aproximadamente metade dos lotes uma outra análise foi necessária para poder escolher duas áreas e melhorar a cobertura. Uma área escolhida foi a que obteve 52% dos lotes com até 500m de distância. A partir dessa área foi feita uma comparação com as outras para descobrir se elas cobriam os mesmos lotes. Essa comparação foi realizada filtrando as áreas com a Equação 4:

$$("end_vid"='id\ da\ área'\ OR\ "end_vid"='id\ da\ área')\ AND\ ("edge"='-1'\ AND\ "agg_cost"<='500')$$
 Eq. 4

Depois de realizado o filtro uniu-se a tabela das distâncias com a de vértices a partir de um identificador único. Se um lote estivesse repetido a união só retorna um. Depois contou-se o número de lotes. A segunda área escolhida foi aquela que somando as quantidades de lotes dentro da distância limite com a da primeira área e subtraindo os repetidos obteve 98% do total de lotes. As duas áreas escolhidas foram 26625 e 26629.

Tabela 8 – Resultados do Bairro Tabuleta.

TABULETA				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
26621	1	0,1	173,10	2455,15
26623	424	45	35,67	1437,38
26625	439	47	50,71	1450,24
26627	410	44	164,22	1856,21
26629	488	52	23,84	2080,32

Fonte: Autor

Piçarra possui três áreas e contém 1008 lotes residenciais. Analisando as três áreas, duas não atendiam a 40% dos lotes com distância de até 500m e uma chegou a 47% (Tabela 9). Utilizando o processo de comparação foi possível perceber que as três áreas cobrem praticamente os mesmos lotes. Logo, só foi possível escolher apenas uma, que foi a 20295.

Tabela 9 – Resultados do Bairro Piçarra.

PIÇARRA				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
20271	212	21	142,52	1213,08
20295	476	47	8,44	1054,66
20342	392	39	12,57	1307,32

Fonte: Autor

Cabral possui três áreas e contém 877 lotes residenciais. As áreas existentes no bairro não encontram-se muito próximas das residências sendo a área com maior número de lotes dentro da distância de até 500m contabilizando 200 lotes, o que equivale a apenas 23% do total (Tabela 10). As outras duas áreas não chegaram a 10%. Neste caso escolheu-se a área 21204.

Tabela 10 – Resultados do Bairro Cabral.

CABRAL				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
21204	200	23	75,24	1377,63
21194	54	6	298,64	1473,18
26708	0	0	502,95	1617,01

Fonte: Autor

Matinha possui três áreas e contém 916 lotes residenciais. Assim como, o bairro Cabral, as suas áreas não se encontram próximas aos lotes residenciais, mas uma área conseguiu obter a distância limite de 56% de todos os lotes, o que correspondeu a 513 lotes, sendo que o lotes mais afastado apresentou uma distância de 964,81m (Tabela 11). A área escolhida foi a 26695.

Tabela 11 – Resultados do Bairro Matinha.

MATINHA				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
23746	208	23	147,00	1293,56
23744	307	33	104,32	1272,23
26695	513	56	84,31	964,81

Fonte: Autor

Marquês de Paranaguá possui duas áreas e contém 1135 lotes residenciais. As duas áreas tiveram uma abrangência parecida. Logo a área que obteve 58% dos lotes com uma distância de 500m foi a escolhida (Tabela 12).

Tabela 12 – Resultados do Bairro Marquês de Paranaguá.

MARQUÊS DE PARANAGUÁ				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
26701	655	58	35,53	1078,08
26699	616	54	71,01	1149,05

Fonte: Autor

Nossa Senhora das Graças possui seis áreas e contém 1378 lotes residenciais. As áreas estão distribuídas pelo centro do bairro e próxima uma das outras o que pode ser percebido pelo resultado em que três tiveram acima de 70% dos lotes dentro da distância limite (Tabela 13). A área escolhida foi que teve 78% dos lotes e que o lote mais afastado se encontra a 745,35m dessa área.

Tabela 13 – Resultados do Bairro Nossa Senhora das Graças.

NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
19881	471	34	4,61	1090,79
19713	764	55	11,19	974,16
26661	864	62	50,60	851,19
26663	995	72	48,90	781,33
19860	1074	78	58,65	745,35
26667	1011	73	9,12	714,92

Fonte: Autor

b) Bairro da classe 3

Cristo Rei possui quatro áreas, necessita da instalação de dois PEV e contém 1378 lotes residenciais. As áreas existentes não chegaram a 50% dos lotes com a distância limite exigida. A área com maior número de lotes foi comparada a todas as outras para verificar se cobriam lotes diferentes. A área de referência foi a 18223 e duas somadas a ela chegaram a 50% (Tabela 14). Foi então comparada as três áreas juntas e chegou a um resultado de 72% dos lotes. Logo, as áreas escolhidas foram 18223, 26638 e 18684.

Tabela 14 – Resultados do Bairro Cristo Rei.

CRISTO REI				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
18223	477	34	5,91	1487,70
26636	442	31	4,24	1484,93
26638	294	21	56,84	1493,44
18684	341	24	8,98	1805,22

Fonte: Autor

Três Andares possui quatro áreas, necessita da instalação de três PEV e contém 3078 lotes residenciais. Dentre as quatro áreas existentes, duas chegaram a pouco mais de 40% dos lotes com a distância de 500m, as outras duas tiveram pouco mais que 30% (Tabela 15). A área com maior número de lotes dentro do limite de distância foi escolhida e comparada com as outras áreas. Na comparação foi possível perceber que apenas uma cobria lotes diferentes da primeira área escolhida, as outras os lotes coincidiram praticamente todos. Diante disso, apenas duas áreas foram escolhidas, são elas: 1924 e 5212.

Tabela 15 – Resultados do Bairro Três Andares.

TRÊS ANDARES				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
5212	977	32	5,80	1670,84
1924	1459	47	18,42	1313,06
26631	1244	40	17,77	1404,54
26633	919	30	6,64	1521,69

Fonte: Autor

São Pedro possui quatro áreas, necessita da instalação de dois PEV e contém 2660 lotes residenciais. As quatro áreas existentes não tiveram uma boa cobertura, uma delas não se encontra próximo de 500m de nenhum lote residencial, duas tiveram 27% dos lotes dentro da distância limite e um só teve 11% (Tabela 16). Escolheu-se, então, a área com o maior número de lotes (40839) e comparou-se com as outras. Na comparação foi possível observar que apenas a área 26650 possui lotes diferentes da primeira área escolhido, mas juntas só apresentaram uma cobertura de 38%. Mesmo com a baixa abrangência as duas foram escolhidas.

Tabela 16 – Resultados do Bairro São Pedro.

SÃO PEDRO				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
26648	0	0	521,90	2280,10
26650	307	11	203,48	1966,45
40839	727	27	13,84	1479,18
15613	722	27	13,36	1476,31

Fonte: Autor

Vermelha possui seis áreas, necessita da instalação de dois PEV e contém 1996 lotes residenciais. Das seis áreas duas tiveram um pouco mais de 30% dos lotes dentro da distância limite de 500m. Duas não chegaram a 10% dos lotes e das outras tiveram um pouco mais de 20% (Tabela 17). A área com maior número de lotes dentro da distância limite foi escolhido e comparado com as outras. Na comparação outras duas áreas somadas a primeira conseguiu

apresentar um resultado acima de 50%. Logo as áreas escolhidas foram 3199 e 3208, com uma abrangência de 60% dos lotes.

Tabela 17 – Resultados do Bairro Vermelha.

VERMELHA				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
3208	491	24	68,59	1607,27
26652	28	1	403,06	1752,78
19462	379	20	162,46	1512,18
26655	95	5	268,98	1694,74
3199	783	39	76,26	1223,46
19586	558	30	11,84	1209,21

Fonte: Autor

Ilhotas possui cinco áreas, necessita da instalação de dois PEV e contém 1675 lotes residenciais. As áreas encontram-se localizadas próximas ao limite do bairro, onde todas não chegaram a 30% dos lotes dentro da distância limite de 500m (Tabela 18). A áreas que tiveram mais lotes dentro do limite foi a 26672 com 29% dos lotes e foi escolhida e comparada com as outras. Na comparação apenas duas cobriam lotes diferentes e foram escolhidas. Somando-se as três áreas escolhidas e subtraindo os lotes que coincidiam foi possível chegar a 65% dos lotes dentro da distância limite.

Tabela 18 – Resultados do Bairro Ilhotas.

ILHOTAS				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
26672	495	29	10,98	1348,81
26674	354	21	25,90	1495,54
20612	208	12	210,29	1358,34
123	243	14	14,61	1489,91
123	249	15	10,80	1655,20

Fonte: Autor

Monte Castelo possui seis áreas, necessita da instalação de três PEV e contém 2934 lotes residenciais. As áreas encontram-se próximas umas das outras, onde quatro tiveram resultado entre 30% a 40% dos lotes dentro da distância limite (Tabela 19). A área com maior número de lotes foi escolhida e comparada com as outras. Na comparação foi possível perceber que pela proximidade das áreas, os lotes cobertos por elas coincidiam. Logo foi possível escolher apenas mais uma área. As duas áreas escolhidas somaram 51% dos lotes, são elas: 26644 e 26641.

Tabela 19 – Resultados do Bairro Monte Castelo.

MONTE CASTELO				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
26646	461	16	5,22	2276,33
10019	1012	34	11,06	1878,87
17481	1088	37	6,23	1836,08
26644	1124	38	16,04	1783,07
26641	1017	34	56,28	1712,59
17249	685	23	46,36	1734,57

Fonte: Autor

Centro possui quatorze áreas, necessita da instalação de três PEV e contém 4459 lotes residenciais. O Centro é o maior bairro em termo de área. Pela distribuição dos lotes residenciais é possível perceber que a maioria se encontram aglomerados nas regiões Norte e Sul e a região central praticamente não possui lotes residenciais. As áreas local_pev existentes encontram-se mais na região central o que pode ser percebido pela baixa abrangência, onde todas as áreas não chegaram a mais de 20% dos lotes com a distância de até 500m (Tabela 20). A primeira área escolhida foi 26681 que obteve o maior número de lotes e foi comparada com todas as outras. Nessa comparação foi possível identificar que oito áreas cobriam os lotes diferentes dos cobertos pela área 26681, dentre elas foi escolhida uma outra área e comparada com as outras sete. Fez-se ainda mais duas comparações. Das quatro áreas escolhidas foi possível chegar a uma resultado de 55% dos lotes com distância de até 500m, são: 26681, 26714, 26723 e 24493.

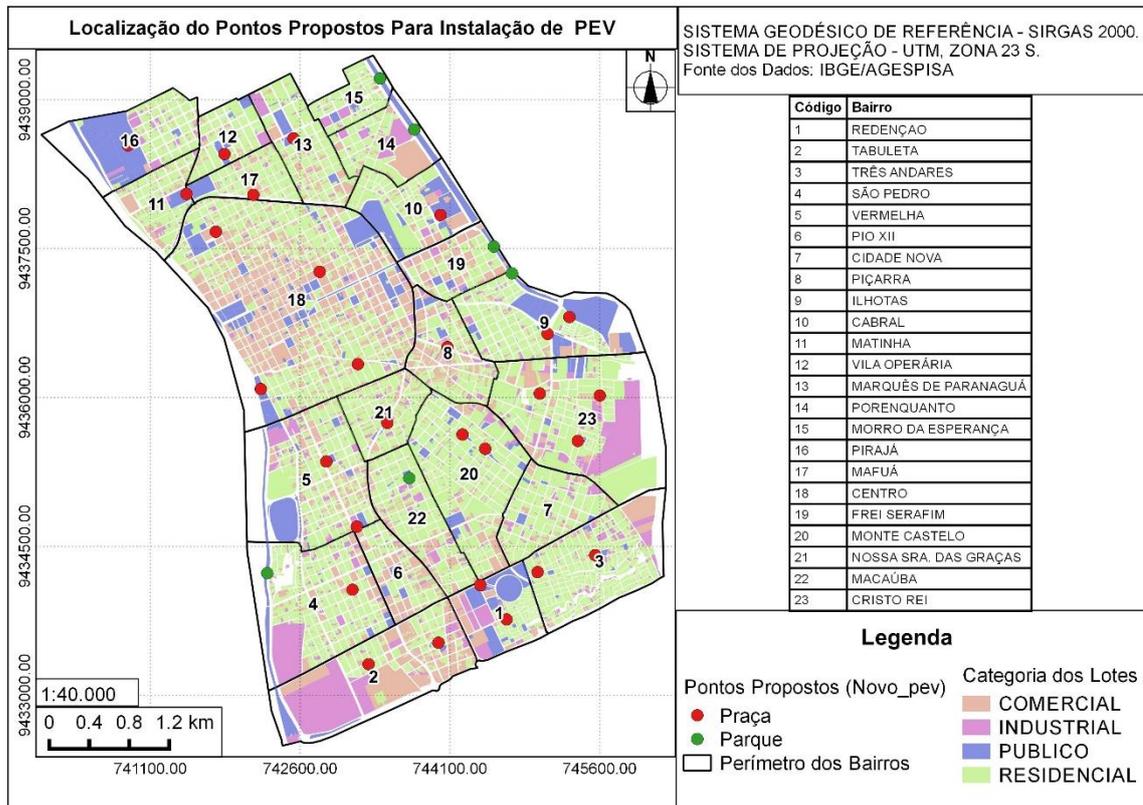
Tabela 20 – Resultados do Bairro Centro.

CENTRO				
ID Área	Quantidade de Lotes	Porcentagem (%)	Menor Distância (m)	Maior Distância (m)
25214	283	6	104,04	2169,21
26731	220	5	100,25	2029,58
26714	738	16	37,56	3054,57
26717	469	10	38,41	2572,40
26686	163	4	55,94	2346,81
26684	163	4	15,51	2246,32
26721	184	4	61,52	1949,86
26723	460	10	62,60	2136,36
26726	216	5	24,63	2637,48
24990	213	5	104,23	1888,28
26688	328	7	33,93	2262,57
24493	387	8	13,33	2749,81
26681	883	20	12,03	2838,37
26679	575	13	7,00	3054,10

Fonte: Autor

O mapa com a localização dos pontos propostos pela análise, considerando a distância de até 500m como a mais adequada, pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Distribuição dos pontos propostos para a instalação de PEV.



Fonte: Autor

Os pontos escolhidos representaram um total de 34, havendo um aumento no bairro Centro de três para quatro, na Tabuleta de um para dois, Ilhotas dois para três, Cristo Rei de dois para três, Redenção de uma para duas e uma diminuição no bairro Três Andares de três para dois, Monte Castelo de três para dois, Macaúba de dois para um e os Bairros Pio XII e Cidade Nova que não apresentaram áreas possíveis para instalação de PEV. Dos 34 pontos propostos 28 são áreas de praças e 6 áreas de parque. A quantidade de PEV proposto para cada bairro está listada na Tabela 21.

Tabela 21 – Número de PEV propostos para cada bairro.

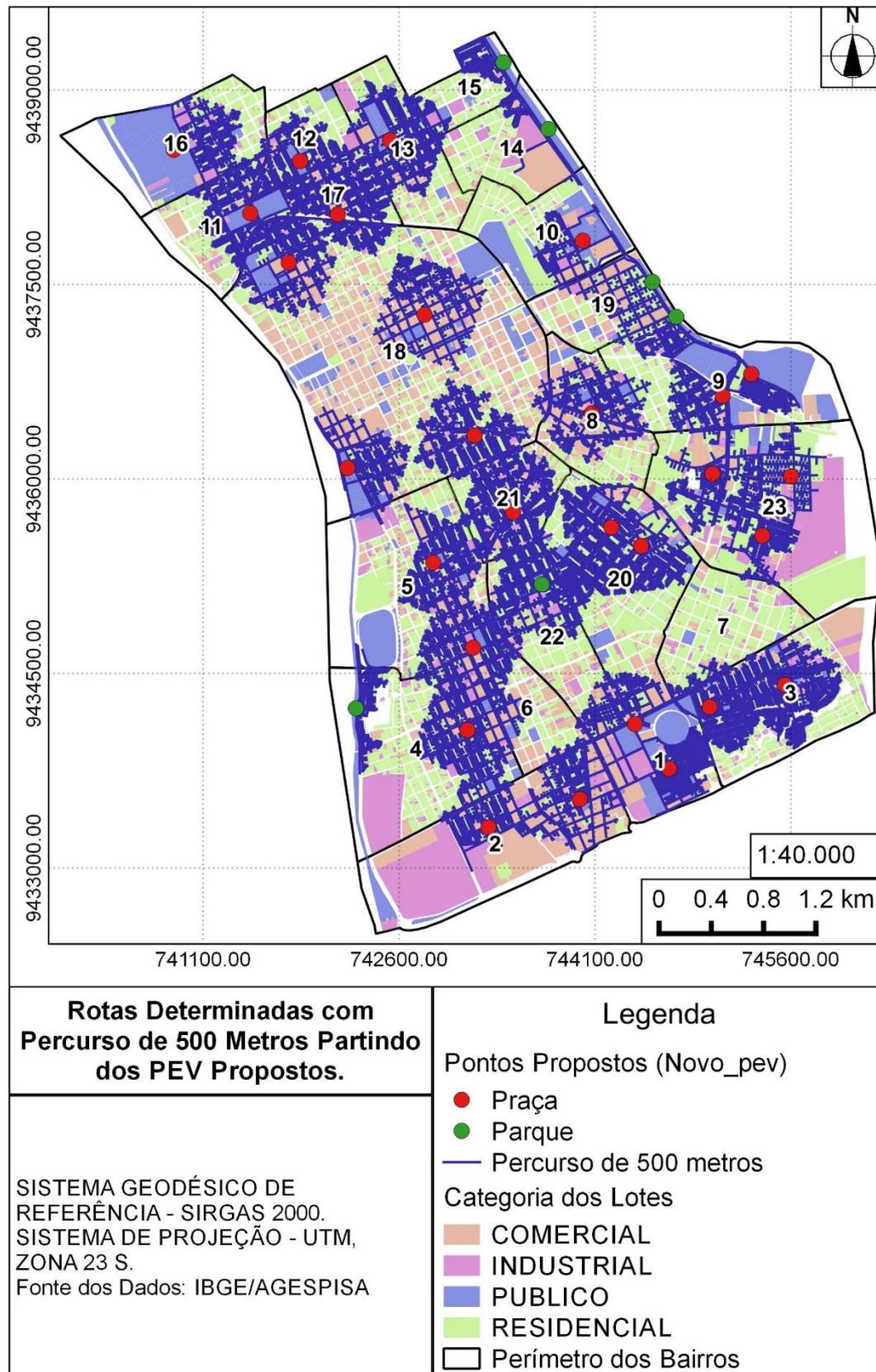
BAIRRO	NPEV	BAIRRO	NPEV
Redenção	2	Marquês de Paranaguá	1
Tabuleta	2	Porenquanto	1
Três Andares	2	Morro da Esperança	1
São Pedro	2	Pirajá	1
Vermelha	2	Mafuá	1
Pio XII	0	Centro	4
Cidade Nova	0	Frei Serafim	1
Piçarra	1	Monte castelo	2
Ilhotas	3	Nossa Sra. das Graças	1
Cabral	1	Macaúba	1
Matinha	1	Cristo rei	3
Vila Operária	1		

Fonte: Autor

Depois de escolhidas as possíveis áreas para a instalação de PEV foi realizada uma análise levando em consideração todos os percursos partindo de cada PEV até chegar a distância de 500m. Para essa análise foi utilizada a ferramenta de análise de roteamento *Make Service Area* do *Software ARCGIS*, no qual, esta ferramenta selecionou os trechos de arcos de logradouro que partiam dos pontos de PEV propostos até chegar na distância de 500 metros.

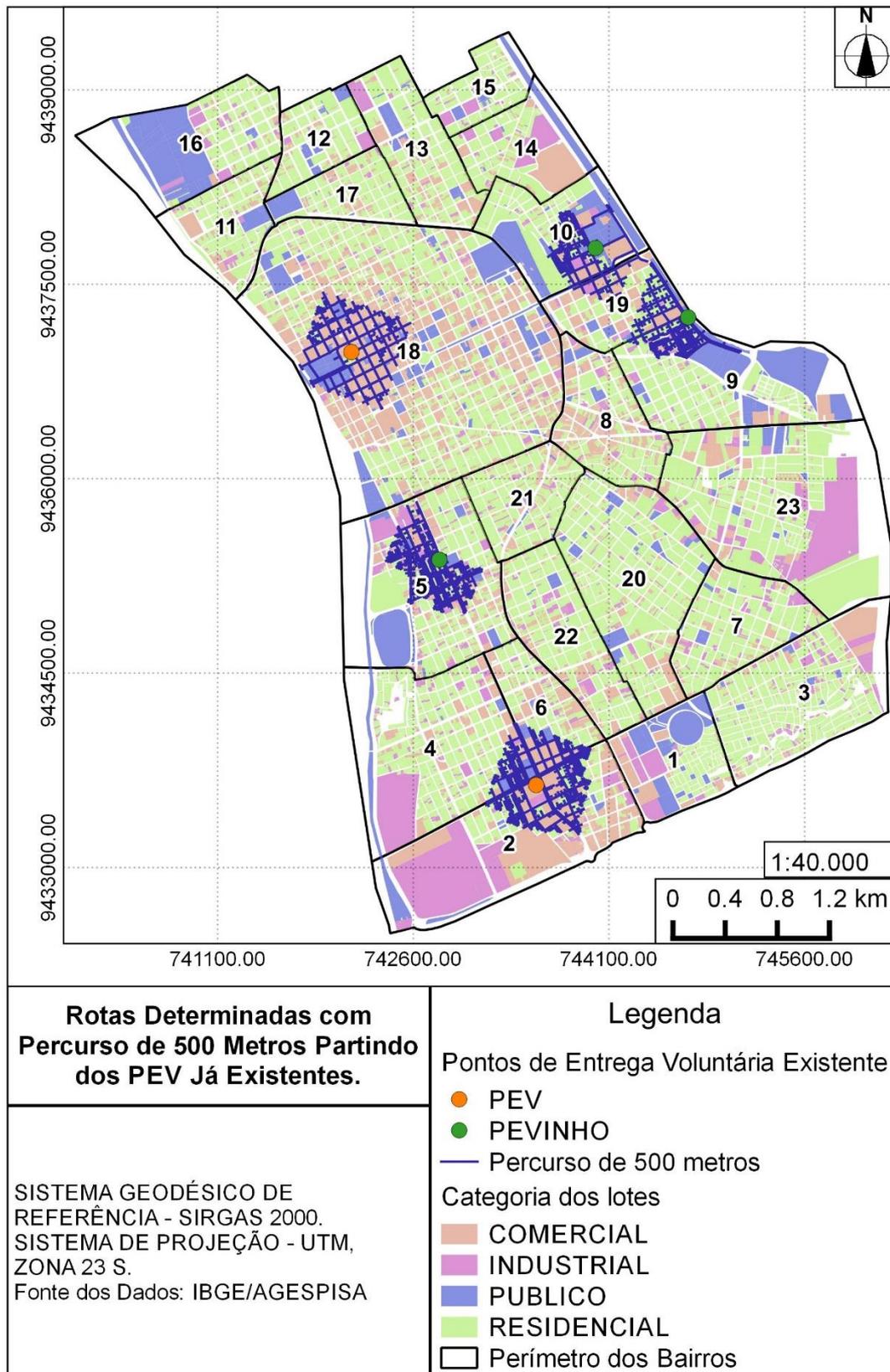
Em seguida foi feita uma comparação considerando as áreas de abrangência entre os pontos propostos e os pontos já existente. A comparação entre as figuras 23 e 24 é possível perceber que são poucos os pontos existentes distribuídos na área de estudo. O cálculo determinou que a área de abrangência dos pontos existentes chega a aproximadamente 17%, enquanto que, área de abrangência para os pontos propostos é de 82%.

Figura 23 – Rotas determinadas com percurso de 500 metros partindo dos PEV propostos.



Fonte: Autor

Figura 24 – Rotas determinadas com percurso de 500 metros partindo dos pontos já existentes.



Fonte: Autor

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo propôs a localização de PEV levando em consideração a caracterização das áreas mais adequadas para sua instalação dos PEV, a estimativa de distribuição por meio da quantidade da população para cada bairro e as análises de distâncias.

A cidade de Teresina apresenta um programa de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos em fase inicial. Por esta pesquisa foi possível observar que apenas 17% da população da área estudada estão próximas aos PEV, ficando 83% distantes, o que dificulta a participação da população.

O SIG permitiu gerar mapas de distribuição dos centroides dos lotes residenciais e das áreas propícias a instalação dos PEV. Considerando as áreas de praças, parques e estabelecimentos comerciais como áreas propícias. A partir destes mapas foi possível criar uma rede topológica. Combinando o SIG com um SGBD foi possível calcular as distâncias entre os lotes residenciais e as áreas propícias as instalações dos PEV. A partir das análises espaciais sobre essas as distâncias calculadas foi possível gerar mapas de distribuição dos pontos propostos para a instalação dos PEV.

A pesquisa constatou que as Tecnologia da Geoinformação através da Cartografia na construção da base de dados espaciais, o modelo OMT-G implementado no SGBD Geográfico, permitiu definir os elementos geográficos e suas representações, aliados ao SIG que desenvolveu as análises espaciais e o algoritmo de roteamento *Dijkstra* usado na definição dos percursos, é uma metodologia que pode ser utilizada na determinação da localização dos PEV. Portanto, os objetivos da pesquisa foram atingidos.

Em decorrência da falta de informações sobre a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados atualmente, o cálculo da quantidade de PEV necessária por bairro teve que ser estimado, ou seja, foi considerado uma média de produção por habitante e uma porcentagem atribuída para os resíduos potencialmente recicláveis. Para estudos futuros recomenda-se que seja feita um acompanhamento da geração dos resíduos sólidos para poder estimar com mais precisão a quantidade de resíduos gerada com potencial reciclável e conseqüentemente melhor estimar a quantidade de PEV necessário a ser instalado, como também para que seja feita uma análise separada para cada tipo de resíduos que pode ser armazenado nos contentores dos PEV.

Esta pesquisa pode contribuir para os levantamentos de dados científicos para a construção dos indicadores que subsidiam estratégias do ponto de vista conceitual e metodológico da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável estabelecida pela ONU.

A educação ambiental dos cidadãos é necessária para implantação do sistema de coleta seletiva. As escolas devem ser alvo da educação ambiental, pois se desde criança aprende que deve separar o lixo, vai crescer com esta atitude. Além do que, as crianças cobram dos pais a mesma atitude, se forem conscientizadas da necessidade de agir de forma sustentável. Implantar PEV só não basta, se a população não estiver disposta a colaborar.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M. M. DE. **Modelagem de banco de dados georreferenciado para subsidiar a gestão do transporte coletivo urbano**, 2006. Universidade Federal de São Carlos.

AGENDA 2030. **Plataforma Agenda 2030**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/>>. Acesso em Junho de 2017.

BRASIL. Agenda 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992: Rio de Janeiro)**. Anais... . p.475, 1995.

BRASIL. **DECRETO Nº 5.940, DE 25 DE OUTUBRO DE 2006**. , 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004_2006/2006/decreto/d5940.htm>.

BRASIL. **Lei nº 11.445 - Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB)**. , 2007.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Lei 12.305/10 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/ProjetoColetaSeletiva52/politica_residuos_solidos.pdf>.

BRINGHENTI, J. **COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ASPECTOS OPERACIONAIS E DA PARTICIPAÇÃO DA POPULAÇÃO**, 2004.

CAMPOS, H. K. T. **Recycling in Brazil: Challenges and prospects**. Resources, Conservation and Recycling, v. 85, p. 130–138, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.017>>.

CARVALHO, G. N. DE. **PROPOSTA DE TRATAMENTO E MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS PARA USO EM INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS - IDEs: ESTUDO DE CASO DE MACROBENTOS PARA A ÁREA COSTEIRA DA BAIXADA SANTISTA**, 2013. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem. **CICLOSOFT 2016**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosft/id/8>>

CHALKIAS, C.; LASARIDI, K. **Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid**

Waste Management. Integrated Waste Management - Volume I. p.417–436, 2011. InTech.

CINDE, **Comitê de Planejamento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais.** Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. , p. 205, 2010.

CORREIA, A.C.S.; SA, L.A.C.M. **MAPAS MENTAIS NA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO PARA GERAÇÃO DE BASES DE DADOS ESPACIAIS**, Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 16, nº.1, jan-mar, 2010, ISSN: 1982-2170. p.39-50.

DAVIS JÚNIOR, A. C.; BORGES, K. A. DE V. **GIS ORIENTADO A OBJETOS NA PRÁTICA.** Anais do GIS Brasil'94. Anais... . p.18–28, 1994.

DUARTE, A. D.; FRAGA, T. B.; SILVA, G. L. DA; SANTOS, L. L. **Seleção de Pontos de Coleta de Resíduos Sólidos na Cidade de Caruaru.** XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção. Anais... , 2015.

GALLARDO, A.; CARLOS, M.; PERIS, M.; COLOMER, F. J. **Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study.** Waste Management, v. 36, p. 1–11, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.008>>.

GRASS-PROJECT. **Geographic resource analysis support system.** 2013. Disponível em: <<http://grss.osgeo.org>>

Gruver, A. **GEOG 486 Cartography and Visualization.** PennStare College of Earth and Mineral Sciences. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/geog486/11.html>. Acessado em: 7 de abril de 2017.

KHAN, D.; SAMADDER, S. **Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India.** Waste Management & Research, 2016. Disponível em: <<http://wmr.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0734242X16649679>>.

LEITE, D. P.; NETO, S. L. R.; BIFFI, L. J.; et al. **Sistema de Informação Geográfico para Gestão de Resíduos Sólidos da Região da Serra Catarinense – GEORES.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Anais... . p.6610–6616, 2015. João

Pessoa-PB.

LIMA, J. P.; LOBATO, K. C. D.; LEAL, F. **Aplicação Do Idef-Sim Na Modelagem Conceitual De. XLIII Simpósio Brasileiro de PESQUISA OPERACIONAL.** Anais... . p.2904–2913, 2011. Ubatuba - SP.

LIZARDO, L. E. O; DAVIS JR, C. A. **OMT-G Designer: a web tool for modeling geographic databases in OMT-G.** In Advances in Conceptual Modeling: 33rd International Conference on Conceptual Modeling, ER 2014, volume 8823 of Lecture Notes in Computer Science, pages 228–233. Springer International Publishing, 2014.

FITZ, P. R. **Cartografia Básica.** São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

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

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

MALARÉ, A. V. DE S.; GONZÁLEZ, S. M.; FACELI, K.; CASADEI, V. **Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review.** Waste Management, v. 59, p. 567–584, 2017.

MARIA, T.; RODRIGUES, B.; FRANCISCA, L.; et al. **DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO – RIDE GRANDE TERESINA.** V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Anais... . p.1–10, 2014. Belo Horizonte/MG.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** 4ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública.** Brasília, 2014.

MOURA, A. C. M. **Tecnologia de Geoinformação para Representar e Planejar o Território Urbano.** 1º ed ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

OBENG, P. A.; AGYENIM, J. B. **Institutional Matrix for Sustainable Waste Management**. Integrated Waste Management - Volume I. p.23–40, 2011. InTech.

OLIVEIRA, R. L. **LOGÍSTICA REVERSA: A UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA COLETA SELETIVA DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**, 2011. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

OLIVEIRA, R. B.; PASCHOALIN FILHO, J. A. **Mapa interativo para a localização de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis na cidade de São Paulo**. Exacta – EP, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 163-171, 2016.

PEIXOTO, K.; CAMPOS, V. B. G.; D'AGOSTO, M. A. **Localização de Equipamentos para Coleta Seletiva de Lixo Reciclável em Área Urbana**. 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Anais... , 2006.

PINTO, M. B. **IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE COLETA SELETIVA: UMA PESQUISA-AÇÃO NA CIDADE DE SÃO LOURENÇO, MINAS GERAIS**, 2016. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. **Banco de Dados Geográficos**. 2006. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.01.19.10/doc/Pr%E9-Texto.pdf>>

RADA, E. C.; RAGAZZI, M.; FEDRIZZI, P. **Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies**. Waste Management, v. 33, n. 4, p. 785–792, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.002>>.

SANTOS, L.; COUTINHO-RODRIGUES, J.; CURRENT, J. R. **Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 42, n. 6, p. 922–934, 2008.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2015**. Ministério das Cidades Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, p. 154, 2017.

SUMATHI, V. R.; NATESAN, U.; SARKAR, C. **GIS-based approach for optimized siting**

of municipal solid waste landfill. Waste Management, v. 28, n. 11, p. 2146–2160, 2008.

TERESINA. **LEI Nº 3.646, DE 14 DE JUNHO DE 2007.** 2007. Disponível em:<
[http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-
content/uploads/2014/09/3646__14_de_junho_de_2007.pdf](http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/3646__14_de_junho_de_2007.pdf)>

TERESINA. **LEI Nº 4684 DE 24 FEVEREIRO DE 2015.** 2015. Disponível em:
<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281813>>

APÊNDICE A – SCRIPTS SQL DA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL NO POSTGRES/POSTGIS

----- Município -----

```
-- Criando a sequência para Município
CREATE SEQUENCE municipio_gid_seq;

-- Criando a tabela Município
CREATE TABLE Municipio (
  Cod_muni INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('municipio_gid_seq'::regclass),
  Nome VARCHAR(10),
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Município PRIMARY KEY (Cod_muni)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Município
CREATE INDEX SIDX_Municipio
ON Municipio
USING GIST (geom);
```

----- Zona -----

```
-- Criando a sequência para Zona
CREATE SEQUENCE zona_gid_seq;

-- Criando a tabela Zona
CREATE TABLE Zona (
  Cod_zona INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('zona_gid_seq'::regclass),
  Nome VARCHAR(10),
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Zona PRIMARY KEY (Cod_zona)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Zona
CREATE INDEX SIDX_Zona
ON Zona
USING GIST (geom);
```

----- **Bairro** -----

```
-- Criando a sequência para Bairro
CREATE SEQUENCE bairro_gid_seq;

-- Criando a tabela Bairro
CREATE TABLE Bairro (
  Cod_bairro INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('bairro_gid_seq'::regclass),
  Nome VARCHAR(50),
  Zona VARCHAR(10),
  Pop_2010 INTEGER,
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Bairro PRIMARY KEY (Cod_bairro)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Bairro
CREATE INDEX SIDX_Bairro
  ON Bairro
  USING GIST (geom);
```

----- **Logradouro** -----

```
-- Criando a sequência para logradouro
CREATE SEQUENCE logradouro_gid_seq;

-- Criando a tabela Logradouro
CREATE TABLE Logradouro (
  Cod_log INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('logradouro_gid_seq'::regclass),
  Nome VARCHAR(100),
  geom geometry(LineString,31983),
  CONSTRAINT pk_Logradouro PRIMARY KEY (Cod_log)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Logradouro
CREATE INDEX SIDX_Logradouro
  ON Logradouro
  USING GIST (geom);
```

----- **Quadra** -----

```
-- Criando a sequência para Quadra
CREATE SEQUENCE quadra_gid_seq;

-- Criando a tabela Quadra
CREATE TABLE Quadra (
  Cod_quadra INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('quadra_gid_seq':regclass),
  Bairro VARCHAR(50),
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Quadra PRIMARY KEY (Cod_quadra)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Quadra
CREATE INDEX SIDX_Quadra
  ON Quadra
  USING GIST (geom);
```

----- **Lote** -----

```
-- Criando a sequência para Lote
CREATE SEQUENCE lote_gid_seq;

-- Criando a tabela Lote
CREATE TABLE Lote (
  Cod_lote INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('lote_gid_seq':regclass),
  Cod_quadra INTEGER,
  Bairro VARCHAR(50),
  Categoria VARCHAR(30),
  geom geometry(Polygon,31983),
  CONSTRAINT pk_Lote PRIMARY KEY (Cod_lote)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Lote
CREATE INDEX SIDX_Lote
  ON Lote
  USING GIST (geom);
```

----- **Lote_p** -----

```
-- Criando a sequência para Lote
CREATE SEQUENCE lote_p_gid_seq;

-- Criando a tabela Lote_p
CREATE TABLE Lote_p (
  Cod_lote_p INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('lote_p_gid_seq':regclass),
  Cod_quadra INTEGER,
  Bairro VARCHAR(50),
  Categoria VARCHAR(30),
  geom geometry(Point,31983),
  CONSTRAINT pk_Lote_p PRIMARY KEY (Cod_lote_p)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de Lote_p
CREATE INDEX SIDX_Lote_p
  ON Lote_p
  USING GIST (geom);
```

----- **PEV** -----

```
-- Criando a sequência para PEV
CREATE SEQUENCE pev_gid_seq;

-- Criando a tabela PEV
CREATE TABLE PEV (
  Cod_pev INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('pev_gid_seq':regclass),
  Tipo VARCHAR(30),
  Localizacao VARCHAR(100),
  geom geometry(Point,31983),
  CONSTRAINT pk_PEV PRIMARY KEY (Cod_pev)
);

-- Criando o índice espacial na coluna geom de PEV
CREATE INDEX SIDX_PEV
  ON PEV
```

```
USING GIST (geom);
```

```
----- Novo_pev -----
```

```
-- Criando a sequência para Novo_pev
```

```
CREATE SEQUENCE novo_pev_gid_seq;
```

```
-- Criando a tabela Novo_pev
```

```
CREATE TABLE Novo_pev (
```

```
  Cod_n_pev INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('novo_pev_gid_seq':regclass),
```

```
  Tipo VARCHAR(30),
```

```
  geom geometry(Point,31983),
```

```
  CONSTRAINT pk_Novo_pev PRIMARY KEY (Cod_n_pev)
```

```
);
```

```
-- Criando o índice espacial na coluna geom de Novo_pev
```

```
CREATE INDEX SIDX_Novo_pev
```

```
ON Novo_pev
```

```
USING GIST (geom);
```

```
----- Local_pev -----
```

```
-- Criando a sequência para Local_pev
```

```
CREATE SEQUENCE local_pev_gid_seq;
```

```
-- Criando a tabela Local_pev
```

```
CREATE TABLE Local_pev (
```

```
  Cod_lopev INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('local_pev_gid_seq':regclass),
```

```
  Tipo VARCHAR(30),
```

```
  Bairro VARCHAR(50),
```

```
  geom geometry(Polygon,31983),
```

```
  CONSTRAINT pk_Local_pev PRIMARY KEY (Cod_lopev)
```

```
);
```

```
-- Criando o índice espacial na coluna geom de Local_pev
```

```
CREATE INDEX SIDX_Local_pev
```

```
ON Local_pev
```

```
USING GIST (geom);
```

```
----- Local_peg_p -----  
-- Criando a sequência para Lote  
CREATE SEQUENCE local_peg_p_gid_seq;  
  
-- Create table Local_peg_P  
CREATE TABLE Local_peg_P(  
  Cod_lopevp INTEGER NOT NULL DEFAULT nextval('local_peg_p_gid_seq':regclass),  
  Tipo VARCHAR(30),  
  Bairro VARCHAR(50),  
  geom geometry(Point,31983),  
  CONSTRAINT pk_Local_peg_P PRIMARY KEY (Cod_lopevp)  
);  
  
-- Criando o índice espacial na coluna geom de Local_peg_P  
CREATE INDEX SIDX_Local_peg_P  
ON Local_peg_P  
USING GIST (geom);
```

APÊNDICE B – ALGORITMO DE CAMINHO MÍNIMO DIJKISTRA

----- Criando tabela de distâncias para redencao -----

```
CREATE TABLE redencao AS SELECT * FROM pgr_dijkstra('
```

```
  SELECT id AS id,
```

```
    source,
```

```
    target,
```

```
    cost
```

```
  FROM log',
```

```
  ARRAY [12745, 12741, 28507, 28509, 28511, 28513, 28739, 30536, 30538, 30540, 30542, 30544,
30546, 12670, 29869, 30753, 30792, 2786, 12645, 32999, 33936, 27563, 33939, 27906, 12915, 33943,
34308, 34310, 31122, 34378, 31599, 34560, 31119, 36969, 28888, 35061, 12672, 35702, 12772, 29540,
26918, 35699, 26967, 33002, 26968, 37231, 12851, 28943, 2775, 36228, 37331, 27565, 12832, 12623,
37739, 30922, 12694, 12700, 12829, 37745, 37747, 12963, 37750, 12884, 37927, 12813, 2779, 12683,
12833, 38947, 12881, 12843, 12877, 39188, 39181, 39186, 31187, 34589, 44065, 44063, 44062, 12910,
27909, 34591, 33047, 12965, 12975, 12676, 37358, 31602, 12722, 12673, 38279, 38273, 38281, 38276,
12727, 40385, 12725, 12724, 31600, 12767, 2800, 12821, 40377, 12823, 12825, 317, 38934, 12768,
12769, 12818, 35062, 28941, 38912, 12750, 12751, 38268, 34561, 38267, 12762, 12763, 38935, 36230,
44059, 36235, 44057, 28942, 12955, 38933, 42431, 38929, 12643, 38930, 2778, 2776, 40555, 40552,
40558, 34562, 12652, 311, 12651, 12650, 38270, 28988, 12659, 42425, 12656, 12654, 12657, 42426,
12952, 26770, 12726, 31601, 2792, 2788, 2787, 12961, 34673, 38272, 38280, 38275, 38274, 38278,
30921, 30920, 38910, 38904, 38903, 35060, 35120, 40554, 40549, 2774, 38271, 12744, 12845, 12839,
12841, 38939, 28944, 24, 12831, 12835, 38941, 12828, 2804, 2803, 12819, 38563, 34599, 40380,
33003, 12854, 38940, 31125, 31126, 12862, 40370, 38945, 38723, 38725, 320, 319, 23, 34677, 12861,
40369, 12869, 38559, 12866, 12868, 12864, 38949, 12840, 38561, 34563, 38282, 12760, 38283, 12755,
38914, 310, 2773, 2771, 1879, 31115, 38932, 12646, 38931, 12644, 38927, 35121, 40550, 40551,
40553, 40556, 2767, 12649, 2790, 44214, 12770, 12729, 12730, 44056, 38937, 36231, 12728, 44060,
44055, 2791, 39162, 12731, 38905, 38906, 12691, 42432, 38908, 12688, 12689, 12690, 12687, 12686,
12685, 12648, 38724, 43168, 12846, 12847, 12844, 31121, 38562, 40379, 40378, 32998, 36234, 44052,
36233, 36232, 12777, 12776, 12779, 12781, 12783, 12785, 12789, 27561, 12786, 27560, 12914, 29913,
12801, 43169, 43170, 35950, 12800, 12798, 12796, 29912, 44221, 12793, 44220, 12791, 44054, 42438,
12775, 12778, 12780, 12782, 12787, 27559, 12790, 12792, 12794, 12795, 12788, 12784, 42442, 12811,
12797, 12810, 8176, 12807, 12805, 12804, 29914, 12802, 12799, 36229, 352, 42439, 36227, 33001,
44058, 12733, 12962, 351, 42430, 12666, 38719, 12663, 38720, 38721, 12661, 32357, 12628, 42441,
```

12774, 34593, 34594, 12773, 34592, 38536, 12771, 44170, 44120, 44121, 12746, 44053, 12742, 36236, 12740, 33000, 350, 12677, 12678, 12667, 12668, 29537, 29538, 42435, 27562, 29539, 12959, 42445, 42444, 27564, 29536, 12720, 12721, 38902, 12723, 38911, 12640, 12641, 12639, 12638, 38926, 12635, 12617, 40083, 2766, 34675, 34674, 2768, 38901, 38913, 2770, 12620, 12619, 30860, 30859, 12622, 12621, 38019, 38017, 33029, 40382, 12749, 12747, 38286, 38896, 38916, 38917, 12707, 12714, 12712, 12709, 42429, 12711, 12759, 12748, 12960, 26916, 26917, 38285, 38287, 12704, 38915, 12752, 31116, 12753, 12756, 12757, 12705, 38895, 38918, 38919, 38920, 12713, 12710, 12708, 36282, 34559, 44213, 36281, 12718, 12716, 36280, 44212, 21, 12717, 12715, 37436, 42434, 36279, 12764, 12761, 12632, 12633, 42427, 42428, 12631, 12696, 35700, 12693, 12692, 38909, 38907, 12642, 22, 38928, 12664, 12662, 12665, 42443, 34732, 12660, 12669, 12671, 12681, 35701, 12682, 12680, 35703, 29535, 12737, 12736, 42440, 12679, 42437, 12735, 12697, 2474, 12610, 12609, 12613, 12630, 12612, 38284, 12606, 12607, 12699, 12698, 42257, 12702, 26920, 12701, 40383, 1248, 1250, 1252, 1254, 1256, 1258, 1260, 1262, 39163, 12738, 38538, 12812, 12814, 38537, 12815, 12809, 12899, 38532, 44216, 38531, 12901, 12806, 38516, 38526, 38522, 38521, 38528, 38530, 29908, 12919, 39174, 12837, 12836, 529, 12852, 44061, 38564, 523, 2802, 30980, 12824, 12850, 12822, 38566, 2799, 38565, 2798, 12820, 38567, 38704, 38706, 34631, 34633, 12879, 12875, 12885, 12902, 12897, 38533, 12900, 33048, 12896, 26973, 38495, 26972, 12908, 39185, 39183, 39184, 12905, 12906, 39178, 12903, 12904, 12895, 12940, 12913, 29911, 44215, 44218, 44217, 36283, 29909, 12909, 12911, 1272, 1274, 1276, 1278, 28993, 30976, 38525, 12937, 12976, 38513, 38512, 12973, 38510, 12971, 38507, 38508, 30971, 12938, 12912, 29910, 44219, 38517, 38527, 30975, 38529, 38524, 38520, 12966, 12969, 38523, 12916, 12917, 12918, 38519, 38515, 12920, 12923, 38509, 12974, 38511, 12924, 39169, 39168, 39165, 39175, 39176, 39173, 39166, 39171, 39170, 34733, 26970, 12926, 28990, 28989, 39167, 12928, 12936, 12970, 12972, 38514, 12968, 30972, 12967, 30973, 30974, 12964, 1881, 1883, 1885, 1887, 38502, 12933, 12943, 34632, 26971, 12927, 28991, 39172, 12934, 34734, 38707, 38708, 12930, 38501, 39177, 12941, 38500, 12932, 38503, 38504, 26969, 40381, 39180, 34739, 28992, 12891, 12892, 12860, 12857, 38943, 12858, 26833, 316, 38535, 12827, 528, 39179, 12893, 12894, 34737, 34738, 39182, 12816, 1889, 1891, 1893, 1895, 1897, 525, 1900, 1902, 527, 29868, 12855, 12853, 27871, 12898, 12719, 38505, 38722, 12849, 31120, 44066, 12882, 44064, 12873, 38948, 38942, 38944, 12863, 38560, 38938, 12870, 12886, 38558, 12867, 12871, 12865, 12874, 12883, 12888, 12889, 12880, 12887, 543, 12907, 12878, 12929, 12931, 12675, 12674, 12634, 4696, 4712, 4714, 4716, 2795, 4723, 4725, 4727, 4729, 4731, 4733, 4735, 4737, 4739, 4741, 4743, 4745, 4747, 4749, 4759, 4761, 4763, 4765, 4767, 4769, 4771, 4773, 4783, 4785, 4787, 4789, 5108, 526, 5111, 2806, 5114, 5116, 5118, 5120, 5122, 5134, 5136, 5138, 5140, 5142, 5144, 5146, 5148, 5150, 5152, 5154, 5176, 1288, 1290, 1292, 1294, 5178, 5317, 5319, 5321, 5323, 2805, 5371, 2782, 6035, 2772, 6045, 6047, 6049, 6051, 6053, 6055, 6057, 6059, 6061, 2780, 2769, 6230, 6232, 6234, 6236, 6238, 6252, 2783, 6300, 7168, 353, 7239, 7241, 7281, 8062, 8064, 8142, 8144, 8146, 8148, 8150, 8154, 8156, 8158, 8160, 8162, 8164, 8166, 8168, 8170, 8172, 8174, 8176, 8277, 8279, 8281, 8283, 8385, 8389, 8606, 8608, 309, 8692, 2801, 8695, 8697, 8806, 8808, 8810, 8840, 8842, 8862, 9028, 9052,

9054, 9085, 9087, 9143, 9145, 2600, 2602, 2604, 12, 11516, 11518, 11520, 11522, 11524, 11552, 11554, 11556, 11636, 11638, 11640, 11642, 11644, 11646, 11833, 11835, 11837, 12087, 12089, 12091, 12093, 12095, 12097, 12099, 12101, 12103, 532, 531, 12107, 12109, 12113, 12115, 12117, 12119, 2745, 12239, 12439, 12441

],

ARRAY[12954,12950,12948],

false)