

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
ENGENHARIA AMBIENTAL

JONATAS FERNANDES MARQUES

**OTIMIZAÇÃO DA COLETA E TRANSPORTE
DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA EM SÃO CARLOS - SP**

SÃO CARLOS

2018

JONATAS FERNANDES MARQUES

**OTIMIZAÇÃO DA COLETA E TRANSPORTE
DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE
UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA EM SÃO CARLOS - SP**

Trabalho de Graduação exigido como
requisito obrigatório para obtenção de
Bacharel em Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São
Carlos.

Orientador: Prof. Assoc. Valdir
Schalch

SÃO CARLOS

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M357o Marques, Jonatas Fernandes
Otimização da coleta e transporte de resíduos de
serviços de saúde utilizando Sistemas de Informação
Geográfica em São Carlos SP / Jonatas Fernandes
Marques; orientador Valdir Schalch. São Carlos, 2018.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2018.

1. Vehicle Routing Problem. 2. Network Analyst. 3.
resíduos sólidos. 4. resíduos de serviços de saúde. I.
Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Jonatas Fernandes Marques**

Data da Defesa: 10/10/2018

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valdir Schalch (Orientador(a))

APROVADO

Túlio Queijo de Lima

Aprovado

Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

Aprovado

Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

DEDICATÓRIA

Dedico àqueles que vencem uma maratona por dia para garantir a limpeza e a saúde de
nossas cidades, ao gari.

AGRADECIMENTO

A minha Família, pelo apoio incondicional em todos esses anos, pelos tantos sacrifícios que passamos até a realização desse sonho.

EPÍGRAFE

“Sempre que o onde aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG.”
(CÂMARA; CLODOVEU, 2001).

RESUMO

MARQUES, Jonatas Marques. **Otimização da coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde utilizando Sistemas de Informação Geográfica em São Carlos – SP.** 2018. 69p. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O termo SIG – Sistemas de Informações Geográficas tem origem na década de 1950, quando surgiram as primeiras iniciativas de automatizar e digitalizar o processo de criação de mapas, até então, feitos de papel. Desde então, várias aplicações foram desenvolvidas para resolver os mais diversos problemas. O chamado VRP - problema de roteirização de veículos é um problema complexo que envolve a busca por melhores rotas para que uma frota de veículos atenda um dado número de estabelecimentos. O objetivo do estudo é apresentar uma proposta de otimização das rotas de coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde no município de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil, utilizando SIG. Para tanto, foi utilizada a extensão *Network Analyst* do ArcGIS®, que inclui uma ferramenta específica para solucionar o VRP. Nos quatro cenários de otimização propostos foram obtidas reduções de 21% a 50% das distâncias percorridas e 17% a 27% do tempo de trabalho. Isto representa uma redução no pagamento de horas extras e despesas com combustível. Diante da comparação dos cenários e a situação atual no município, existe um potencial no uso de ferramentas SIG para reduzir custos operacionais relacionados à coleta e ao transporte de resíduos de serviços de saúde na cidade.

Palavras-chave: *Vehicle Routing Problem*, *Network Analyst*, resíduos sólidos, resíduos de serviços de saúde.

ABSTRACT

MARQUES, Jonatas Marques. **Optimization of health-care waste collection and transportation using Geographic Information Systems in São Carlos - SP.** 2018. 69f. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The term GIS – Geographic Information Systems has its origin in the 1950s, when the first initiatives introduced automatization and digitalization methods in the map manufacturing process. Since then, many applications were developed in order to solve a variety of problems. VRP – vehicle routing problem is a complex problem that involves the search for best routes to a fleet of vehicles to attend a given number of clients. The objective of the study is to present a proposal for a optimization of routes in a health-care waste collection and transportation system in São Carlos, in the State of São Paulo, Brazil, using GIS. In order to accomplish that, we used the Network Analyst, an ArcGIS® extension, that supports a specific tool to solve a VRP. Considering the four proposed scenarios, we found a reduction from 21% up to 50% of the traveled distances; and another reduction from 17% up to 27% of the working time. Those represent a reduction of extra working hours payment and fuel costs. Evaluating the scenario simulation and the current situation in São Carlos, we found a potential use for GIS tools to reduce operational costs related to health-care waste collection and transportation in the city.

Keywords: *Vehicle Routing Problem, Network Analyst*, solid waste, health-care waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração da definição do problema de roteirização de veículos - VRP.....	33
Figura 2 - Fluxo de trabalho para o <i>Vehicle Routing Problem</i> – VRP.....	35
Figura 3 -Localização da unidade de tratamento e da garagem dos veículos da coleta de RSS no município de São Carlos - SP.	43
Figura 4 - Rótulo de risco para substâncias infectantes com base na norma NBR 7500.	44
Figura 5 - Ilustração dos cenários de otimização no VRP em relação a capacidade do veículo e a localização da unidade de tratamento.	48
Figura 6 - Exemplo de modelos de veículos usados para a coleta de resíduos de serviços de saúde.....	48
Figura 7 - Exemplo do uso das imagens Google para consultar o número de endereço dos estabelecimentos.	51
Figura 8 - Divergência entre os dados de localização dos endereços no cadastro (pontos azuis) e o acesso ao abrigo de resíduos (pontos laranjas) para três estabelecimentos (A, B e C).	52
Figura 9 - Distribuição dos estabelecimentos de saúde atendidos pela coleta de RSS na região mais central da cidade de São Carlos - SP.	53
Figura 10 - Distribuição do tempo de coleta entre as quatro atividades principais.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de estabelecimentos de saúde atendidos em cada cenário por dia da semana.....	54
Tabela 2 – Variação das distâncias percorridas em cada cenário por dia da semana em relação as distâncias médias percorridas atualmente.	55
Tabela 3 – Variação do tempo de duração da coleta de RSS em cada cenário por dia da semana em relação ao tempo médio realizado atualmente.	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de SIG.	31
Quadro 2 - Descrição dos arquivos de entrada no VRP.	35
Quadro 3 - Descrição dos arquivos de saída no VRP.	36
Quadro 4 - Configurações do VRP.	36
Quadro 5 - Exemplo de tabela de atributos do arquivo <i>Orders</i> (exibindo apenas as quatro primeiras colunas ou “campos”).	37
Quadro 6 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde – RSS.	41
Quadro 7 - Classe de tamanho dos geradores de RSS.	46
Quadro 8 - Configurações do VRP utilizadas para a otimização das rotas da coleta de RSS.	47
Quadro 9 - Cenários de otimização no VRP.	47
Quadro 10 - Organização dos dados na lista de estabelecimentos de saúde no município de São Carlos – SP com o exemplo de alguns prédios públicos.	50
Quadro 11 - Descritivo do itinerário gerado pelo VRP do ArcGIS®.	58
Quadro 12 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos <i>Orders</i>	65
Quadro 13 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos <i>Routes</i>	66
Quadro 14 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos <i>RouteRenewals</i>	66
Quadro 15 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos <i>Breaks</i>	67
Quadro 16 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos <i>Depots</i>	67
Quadro 17 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde.	68
Quadro 18 - Classificação dos RSS do Grupo A.	69

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

GIS – Geographic Information Systems

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PMSC - Prefeitura Municipal de São Carlos

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RSS - Resíduos de Serviços de Saúde

Seade - Fundação Sistema Estadual de Análises de Dados

SIG – Sistemas de informação Geográfica

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

VRP - Problema de Roteirização de Veículos

SUMÁRIO

1	Introdução.....	27
2	Objetivos	29
3	Revisão Bibliográfica.....	30
3.1	Sistemas de Informação Geográfica – SIG.....	30
3.1.1	Problema de Roteirização de Veículos - VRP	32
3.1.2	Uso de VRP no Brasil e no Mundo.....	37
3.2	Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde em São Carlos	40
4	Metodologia	45
4.1	Estudo e revisão de conceitos	45
4.2	Visitas a campo	45
4.3	Ferramentas do ArcGIS®	46
5	Resultados e Discussões.....	50
5.1	Construção do banco de dados georreferenciado	50
5.2	Otimização das rotas da coleta de RSS.....	54
6	Considerações finais.....	60
7	Referências	62
8	Anexo A – Tabela de atributos dos arquivos	65
9	Anexo B – Classificação dos resíduos de serviços de saúde.....	68

1 INTRODUÇÃO

O SIG é uma ferramenta amplamente utilizada no mundo para resolver os mais diversos problemas. O termo tem origem na década de 1950 para se referir a Sistemas de Informação Geográfica – SIG, um sistema especial criado para tratar informações de cunho geográfico com (CÂMARA et al., 1996; LONGLEY et al., 2013; MAGUIRE, 1991). A princípio a criação do SIG veio como uma alternativa mais barata e mais prática para o processo de produção e atualização de mapas, até então, um processo essencialmente manual, caro e demorado (CÂMARA et al., 1996).

Com a evolução dos computadores e equipamentos eletrônicos em geral, o desenvolvimento de SIG cresceu rapidamente e passou a ser utilizado em vários campos da ciência, desde problemas de transporte, gestão de recursos naturais até marketing e vendas (LONGLEY et al., 2013). Particularmente no planejamento das cidades e na gestão dos serviços públicos de saneamento, o SIG pode ser utilizado para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos, como uma ferramenta de tomada de decisão desde o nível estratégico até o nível operacional (FERRARI, 1997).

Na literatura são reportadas algumas experiências (ALMEIDA, 2014; GRACIOLLI, 1994; KESSLER et al., 2018; LORENTZ, 2011; LOURENÇO, 2016), cada uma abordando o problema de forma diferente, mas todos com um objetivo comum: reduzir custos. Uma das formas de reduzir os custos da coleta de resíduos sólidos é encontrar rotas mais curtas e mais rápidas - trata-se de um problema conhecido como o Problema de Roteirização de Veículos, do inglês, *Vehicle Routing Problem* - VRP. O termo é utilizado para se referir a uma situação na qual se busca as melhores rotas para uma frota de veículos executar a entrega ou a coleta de produtos (ESRI, 2018).

É muito comum no Brasil que a roteirização da coleta de resíduos sólidos seja feita com base em experiências empíricas que podem resultar em processos improdutivos e comprometer a qualidade dos serviços prestados (LOURENÇO, 2016). No caso da coleta de resíduos de serviços de saúde – RSS, o planejamento das rotas e o itinerário dos estabelecimentos de saúde a serem atendidos é uma tarefa complexa. São muitas variáveis envolvidas: capacidade do veículo (volume e peso), janelas de tempo em que os estabelecimentos podem ser atendidos, restrições das vias, tipo de veículo, variação do volume de tráfego ao longo do dia, etc.

Nessa perspectiva, é importante dar alternativas para os atuais métodos de roteirização que se baseiam em experiências empíricas de tentativa e erro. Com o uso de ferramentas VRP é possível simular diferentes cenários para as rotas da coleta de resíduos através de métodos computacionais e matemáticos mais precisos e capazes de prever a produtividade de cada rota com rapidez e eficácia (HAN; CUETO, 2015).

A otimização das rotas pode diminuir tanto as distâncias percorridas quanto o tempo total de trabalho, e conseqüentemente, diminuir os custos relacionados ao consumo de combustível e pagamento de horas extras. Por isso, é importante a realização de estudos que demonstrem o uso dessas ferramentas na roteirização da coleta de resíduos, apresentando seus benefícios, mas também suas limitações. O presente estudo busca apresentar propostas para a melhoria das rotas da coleta de resíduos de serviços de saúde no município de São Carlos que sejam adequadas as necessidades da cidade.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é apresentar uma proposta de otimização das rotas de coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde no município de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil, utilizando Sistemas de Informação Geográfica – SIG.

Os objetivos específicos são:

- obter as coordenadas geográficas de cada estabelecimento de saúde atendido pelo serviço de coleta de resíduos de serviços de saúde do município;
- criar um banco de dados georreferenciado dos estabelecimentos de saúde no município;
- estudar os parâmetros de roteirização no programa ArcGIS®;
- simular rotas de coleta e comparar com as rotas utilizadas atualmente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e termos utilizados no estudo, dividido em dois blocos principais. O primeiro apresenta o termo SIG, sua definição e origem, bem como as aplicações mais utilizadas; depois apresenta com detalhes a ferramenta VRP que tem o papel central nesta pesquisa. O segundo bloco apresenta os conceitos relacionados aos resíduos sólidos, em especial, os resíduos de serviços de saúde - RSS, passando pelas normas e resoluções que dispõem sobre o gerenciamento desses resíduos.

3.1 Sistemas de Informação Geográfica – SIG

Até a metade do século XX, os mapas de papel eram a única forma de representação do espaço-tempo. Antigamente, profissionais faziam a criação de mapas em papel para o levantamento, localização, armazenamento e apresentação de dados – e quando era necessário sobrepor as informações, usavam um tipo de folha transparente uma sobre as outras. Todo esse processo manual de armazenar e atualizar no mapa de papel era caro e demorado (CÂMARA et al., 1996).

As primeiras iniciativas para automatizar o processamento de dados geográficos visando diminuir os custos da criação e manutenção de mapas de papel surgiram a partir da década de 1950 (CÂMARA et al., 1996). Houve desenvolvimento paralelo na América do Norte, na Europa e na Austrália, o que pode dar razão para algumas controvérsias entre os historiadores, no entanto, foi em meados da década de 1960 que o governo do Canadá criou o que é chamado de primeiro SIG – Sistema de Informação Geográfica, um sistema computadorizado de mensuração de mapas (LONGLEY et al., 2013). Foi uma iniciativa do governo federal e dos governos locais de identificar recursos naturais e seus usos potenciais no território canadense através de um inventário digital. A evolução dos computadores, seus equipamentos e programas serviu de impulso para o desenvolvimento dos SIGs (CÂMARA et al., 1996). O grande salto ocorreu na década de 1980 quando o preço dos computadores caiu, um fato que permitiu o desenvolvimento de programas e aplicações computacionais a um maior custo-benefício (LONGLEY et al., 2013).

Ainda existem divergências no uso do termo SIG. Enquanto no inglês, o termo é apresentado como GIS - *Geographical Information Systems* (BURROUGH; MCDONNELL, 2011) ou *Geographic Information Systems* (MAGUIRE, 1991), no português alguns autores

preferem traduzir o termo no plural – Sistemas de Informações Geográficas – e outros no singular – Sistemas de Informação Geográfica (FITZ, 2008).

Nesta monografia, adota-se o termo SIG para se referir a expressão **Sistemas de Informação Geográfica**. A decisão tem duas razões: por dar preferência ao idioma da língua portuguesa; e por dar ênfase a variabilidade de sistemas que tratam sobre a informação de cunho geográfico.

O Quadro 1 traz algumas definições de SIG que foram revisadas por Maguire (1991). O autor conclui que é possível encontrar um elemento central compartilhado por todas as diferentes visões sobre o que é SIG: um caso especial de sistemas de informação cujo foco são os elementos que caracterizam o espaço. Longley et al. (2013) diz “cada pessoa tem uma definição favorita de SIG, e há muitas para escolher”.

Quadro 1 - Definições de SIG.

Autor	Definição
DoE (1987)	Um sistema para captura, verificação, manipulação, análise e visualização de dados que estão espacialmente relacionados com a Terra
Aronoff (1989)	Qualquer conjunto de procedimentos manuais ou computacionais usados para armazenar ou manipular dados espacialmente referenciados.
Carter (1989)	Uma entidade institucional, correspondendo a uma estrutura organizacional que integra tecnologia com banco de dados, conhecimento e suporte financeiro contínuo ao longo do tempo.
Parker (1988)	Uma tecnologia da informação capaz de armazenar, analisar e exibir tanto os dados espaciais como os dados não-espaciais.
Dueker (1979)	Um caso especial de sistemas de informações onde o banco de dados consiste de observações sobre elementos, atividades ou eventos espacialmente distribuídos, que são definidos no espaço como pontos, linhas e polígonos. SIG manipula dados sobre esses elementos para extrair dados para uma pergunta específica [...]

Nota. Livre tradução. Fonte: Adaptado de Maguire (1991).

As aplicações de SIG já foram experimentadas em diversas áreas do conhecimento, e se expandem para outros campos acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta de dados espaciais e os computadores em geral (CÂMARA et al., 1996). Por exemplo, na gestão de recursos hídricos, ferramentas SIG são utilizadas para delimitar e caracterizar bacias hidrográficas, determinar o sentido do escoamento, encontrar pontos potenciais para aproveitamento de energia hidroelétrica, prever a área de inundação e enchentes, dentre outras aplicações (BIELENKI JR; BARBASSA, 2012).

No planejamento urbano de um município, as aplicações são diversas: mapeamento do município; zoneamento ambiental, socioeconômico, turístico, etc.; monitoramento de áreas de risco e áreas de proteção ambiental; estruturação de redes de energia, água e esgoto; adequação tarifária de impostos; estudos e modelagens de expansão urbana; controle de ocupações e construções irregulares; estudos sobre transporte; etc. (FITZ, 2008).

Existem diversos programas de SIG disponíveis no mercado, gratuitos ou pagos, específicos para executar determinadas tarefas ou mais versáteis. Só para citar alguns, existem o ArcGIS® da empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*); o Quantum GIS (ou simplesmente QGIS) - que é um software livre com código-fonte aberto¹; o SPRING – desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); e outros dois programas, o Maptitude e o TransCAD - ambos criados pela empresa *Caliper Corporation*.

Neste projeto, foi escolhido o ArcGIS® Pro, nova geração de programas da empresa ESRI para computadores. Tanto o QGIS quanto o SPRING, que são softwares livres, não possuem até a publicação deste documento uma ferramenta pronta para usar que resolva um problema de roteirização de veículos – VRP (tema da pesquisa que será detalhado na próxima sessão). Sendo o QGIS um software livre com o código-fonte aberto, abre-se as possibilidades para outras pesquisas com o objetivo de criar um algoritmo para a solução de um VRP que seja também gratuito.

3.1.1 Problema de Roteirização de Veículos - VRP

Os programas de SIG normalmente possuem extensões com ferramentas específicas para executar determinadas tarefas. No ArcGIS® Pro, a extensão chamada *Network Analyst* apresenta uma lista de ferramentas para solucionar problemas relacionados ao transporte em uma rede viária. Um desses problemas é chamado de “problema de roteirização de veículos” – VRP, do inglês *Vehicle Routing Problem*. O termo se refere a uma situação quando se deseja determinar as melhores rotas para uma frota de veículos atender certa demanda de “clientes” numa rede viária qualquer.

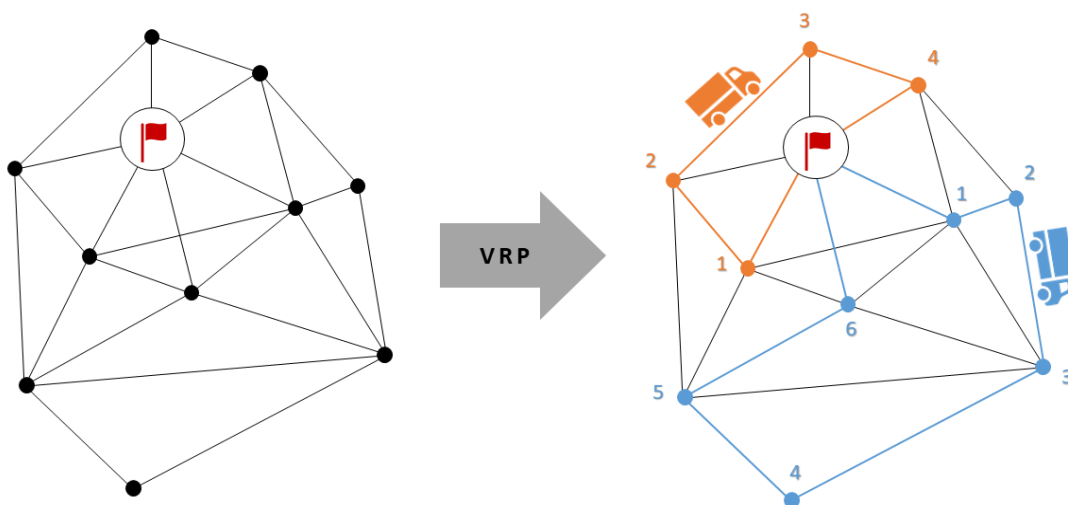
A Figura 1 ilustra o conceito do problema de roteirização de veículos onde a bandeira vermelha representa o ponto de partida e de retorno dos veículos (uma base, garagem, centro

¹ Código-fonte aberto é quando o mesmo se encontra disponível em maior ou menor extensão ao conhecimento público, acessível ao conhecimento de terceiros para que possam fazer modificações, adaptações e aperfeiçoamentos (FALCÃO et al., 2005).

de distribuição, etc.), os pontos pretos representam os estabelecimentos a serem atendidos (lojas de uma rede de varejo, por exemplo) e as linhas retas que ligam cada um desses elementos representam as vias de transporte que podem ser ruas, avenidas, rodovias, estradas, etc. Cada ponto pode ser atendido por múltiplas rotas diferentes e o que o VRP faz é encontrar as melhores rotas, seja em termos de menor distância ou menor tempo (ou a combinação dos dois). O número de rotas necessárias para solucionar o problema vai depender do contexto particular de quem está aplicando o VRP. No caso hipotético ilustrado na Figura 1, foram necessárias duas rotas diferentes para atender a todos os estabelecimentos.

Esse problema envolve tanto a entrega de produtos como também a coleta de produtos (ou resíduos). É um problema complexo porque pode incluir um número alto de variáveis como restrições da via, tipo de veículo, situação do trânsito ao longo do dia, janelas de tempo que precisam ser atendidas, tempos de parada e descanso dos motoristas, capacidade do veículo (peso e volume), dentre outras variáveis.

Figura 1 - Ilustração da definição do problema de roteirização de veículos - VRP.



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Assim como outros programas de SIG, o ArcGIS® Pro possui uma “caixa de ferramentas” (do inglês, *toolbox*). Dentre essas várias ferramentas, foi utilizada a ferramenta de VRP do *Network Analyst* no modo “pronto para usar” (do inglês, *Ready To Use Tools*). O modo pronto para usar é mais prático e rápido do que o modo convencional, porque usa os dados hospedados no ArcGIS® Online. A vantagem é que só são necessárias algumas informações para obter resultados. No caso, o modo VRP pronto para usar dispensa a elaboração do *Network*

Dataset que é a rede de ruas e avenidas por onde os veículos devem passar, substituído pelos dados dos servidores² da ESRI.

De forma geral, para usar uma ferramenta de SIG é preciso conhecer os arquivos de entrada, que são os “ingredientes para fazer a receita”. Depois de executar essa ferramenta, são obtidos os arquivos de saída. É possível ainda definir parâmetros que orientam como a ferramenta deve trabalhar aqueles arquivos de entrada (ou os arquivos de saída) – mas nem todas as ferramentas possuem essas opções de parâmetros.

No caso do VRP utilizado no ArcGIS®, a ferramenta oferece uma variedade de opções que permite ao usuário incluir no VRP características intrínsecas do problema de roteirização que esteja tratando. No caso específico da coleta de resíduos a Figura 2 apresenta o fluxo de dados necessárias para executar um VRP no ArcGIS® Pro. No caso da coleta de resíduos, os arquivos de entrada devem ser organizados em cinco arquivos. Para uma solução bem-sucedida, são obtidos quatro arquivos de saída. O usuário pode ainda utilizar outros arquivos de entrada, que são opcionais, se quiser incluir outras especificações. Por exemplo, é possível delimitar áreas no mapa que englobam determinados estabelecimentos de uma região que se deseja atender por uma única rota ou várias rotas.

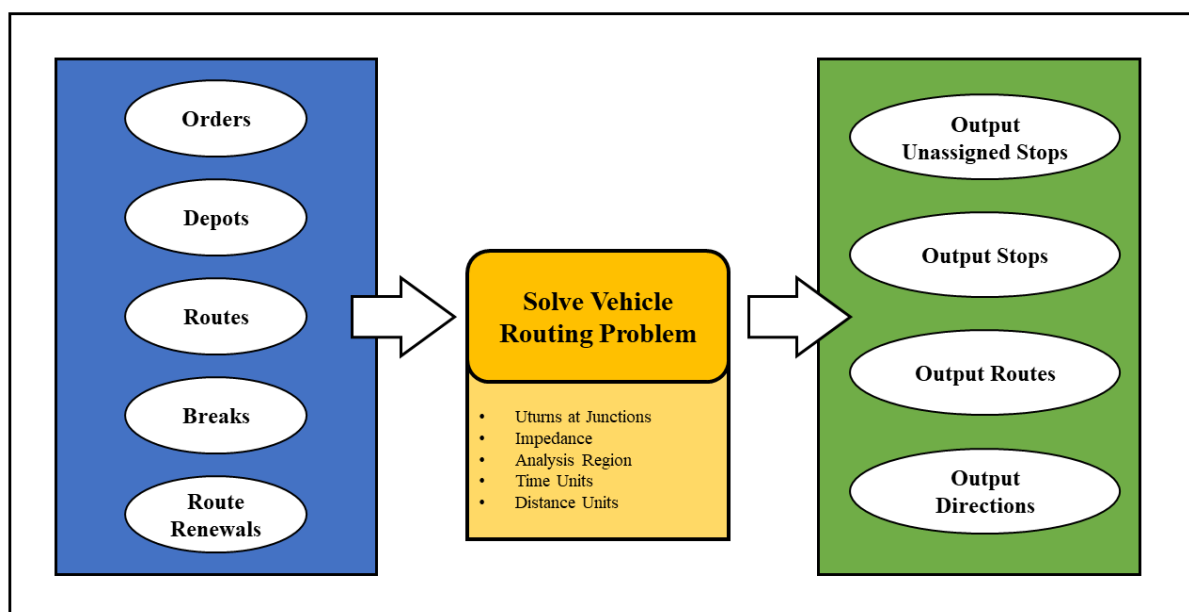
O Quadro 2 a seguir apresenta os arquivos de entrada com uma breve descrição. Os arquivos *Orders* e *Depots* expressam informações espaciais, respectivamente, a localização dos estabelecimentos de saúde e a localização dos pontos de partida ou de retorno dos veículos da coleta. Outras informações não espaciais também são armazenadas nesses arquivos, como frequência de coleta de cada estabelecimento, dias restritos (por exemplo, estabelecimentos fechados no sábado), a quantidade ou volume de resíduos gerados, e o tempo para efetuar a coleta naquele local. Os arquivos *Routes*, *Breaks* e *Route Renewals* são arquivos do tipo tabela e não definem atributos espaciais, só definem como a rota será executada. Por exemplo, são definidos o horário de saída dos veículos, tempo de tolerância para atrasos, tempo máximo que uma rota pode durar, ou distância máxima que o veículo pode percorrer, o custo do quilômetro rodado, quantos pontos de pausa as equipes devem fazer e onde o veículo deve descarregar quando atingir a capacidade máxima.

² Servidor é um programa ou computador que executa um objetivo específico para atender outros computadores que são chamados de clientes. Por exemplo, é possível armazenar dados em um outro computador para não ter que ocupar espaço de armazenamento no seu próprio computador. Dessa forma, um computador “serve” outro computador.

Quadro 2 - Descrição dos arquivos de entrada no VRP.

Arquivo	Tipo	Descrição
<i>Orders</i>	Pontos	Localização dos estabelecimentos que a frota deve atender e suas respectivas informações (nome, tempo de serviço, horários que estão disponíveis para coleta, quantidade de resíduos, etc.).
<i>Depots</i>	Pontos	Localização dos pontos de partida e retorno dos veículos (podem representar a garagem dos veículos, ou depósitos dos materiais a serem entregues ou coletados, etc.).
<i>Routes</i>	Tabela	Contém a definição de cada rota e seus parâmetros.
<i>Breaks</i>	Tabela	Defini os momentos de parada para descanso do motorista e sua equipe. Pode ser definido um horário fixo ou um tempo máximo acumulado de trabalho antes do descanso.
<i>Route Renewals</i> (Opcional)	Tabela	Define os pontos no mapa onde o veículo, ao atingir sua capacidade máxima, deve descarregar para continuar o atendimento.

Nota. Todos são arquivos obrigatórios para rodar um VRP, com exceção do Route Renewals, que é opcional para um VRP qualquer, mas é indispensável no caso de uma frota específica para coleta de resíduos. Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Figura 2 - Fluxo de trabalho para o Vehicle Routing Problem – VRP.

Nota. Dados de entrada em azul a esquerda; dados de saída em verde a direita e configurações do VRP no quadro amarelo ao centro. Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Os arquivos de saída são apresentados resumidamente na Quadro 3. São dois arquivos do tipo tabela que trazem os resultados relativos aos pontos de parada. O arquivo *Output Unassigned Stops* deve trazer uma lista com aqueles estabelecimentos que não foram atendidos por nenhuma rota e o motivo para tal fato – estabelecimento inacessível sem uma via trafegável, estabelecimento em via de acesso restrito ao veículo da coleta, etc. O outro arquivo do tipo

tabela, *Output Stops*, apresenta os estabelecimentos atendidos pelas rotas e suas respectivas sequências na rota, dentre outras informações.

Quadro 3 - Descrição dos arquivos de saída no VRP.

Arquivo	Tipo	Descrição
<i>Output Unassigned Stops</i>	Tabela	Resultado das paradas que não foram atendidas por nenhuma rota, dentre outras informações.
<i>Output Stops</i>	Tabela	Lista os estabelecimentos atendidos pelas rotas e sua respectiva sequência na rota, dentre outras informações.
<i>Output Routes</i>	Polilinhas	Resultado das rotas
<i>Output Direction</i>	Polilinhas	Instruções de navegação

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Antes de executar a ferramenta, é necessário ajustar algumas configurações. O Quadro 4 apresenta uma breve descrição de cada uma. Embora, algumas configurações sejam bem simples, como a definições das unidades de medida (tempo e distância), outras serão fatores determinantes, como as restrições relativas ao veículo poder ou não realizar retornos. Outra configuração importante é a “impedância”, livre tradução do inglês para *Impedance*, que é uma configuração usada para diferenciar se o deslocamento é feito por veículo pequeno, caminhão ou a pé – afinal, enquanto uma pessoa pode levar 12 minutos para percorrer 1000 metros em uma via não movimentados, um veículo pequeno pode fazer o mesmo percurso em apenas 2 minutos.³

Quadro 4 - Configurações do VRP.

Configuração	Descrição
<i>UTurns at Junctions</i>	Define quando o veículo pode executar retornos (somente em ruas sem saída, em qualquer cruzamento, etc.)
<i>Impedance</i>	Representa o esforço ou custo para se deslocar. Existem três opções: tempo do caminhão, tempo de veículo leve e tempo de caminhada.
<i>Analysis Region</i>	Local onde a análise está sendo executada, que serve para processar mais rápido os resultados.
<i>Time Units</i>	Define as unidades de tempo nos cálculos do VRP
<i>Distance Units</i>	Define as unidades de distância nos cálculos do VRP

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

³ Supõem-se que a velocidade de uma pessoa a pé é 5 km/h, comparada a um veículo pequeno a 30 km/h.

Como mencionado anteriormente, cada arquivo armazena certo número de informações que são organizadas nas chamadas “tabela de atributos” (Quadro 5), e cada coluna dessa tabela é chamada de campo. A tabela de atributos de cada um dos arquivos de entrada é apresentada no Anexo A – Tabela de atributos dos arquivos, do Quadro 12 ao Quadro 16.

Quadro 5 - Exemplo de tabela de atributos do arquivo *Orders* (exibindo apenas as quatro primeiras colunas ou “campos”).

Name	ServiceTime	TimeWindowStart1	TimeWindowEnd1
26513	15	8:00:00	19:00:00
26500	10	7:00:00	12:00:00
26480	2	13:30:00	16:30:00

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O objetivo principal de um VRP é minimizar os custos de operação da frota, que são três: custo-tempo, custo-distância e custos fixos. O custo por tempo de viagem está relacionado com a remuneração do motorista e sua equipe por unidade de tempo. O custo por distância percorrida está relacionado com o preço do combustível e o consumo de combustível do veículo. Por exemplo, o preço do litro do combustível é R\$ 3,10 e o consumo de combustível do veículo é 7 km por litro, divide-se este primeiro valor pelo último e o custo unitário para cada quilômetro rodado é de aproximadamente R\$ 0,44. Os custos fixos independem do tempo e da distância, por exemplo, custo do aluguel do veículo, ou quando a remuneração do motorista e recebe uma “diária” pelo trabalho no dia.

3.1.2 Uso de VRP no Brasil e no Mundo

Existem diversos casos que relatam os benefícios desse tipo de aplicação na gestão de resíduos sólidos urbanos. O sistema de coleta de resíduos urbanos do município mexicano de Villaflores experimentou uma melhora no atendimento à população. Nos locais onde o utilizaram SIG, foram projetadas rotas otimizadas que devem aumentar a cobertura do serviço de aproximadamente 33% para 85%; e mesmo com esse aumento, foi possível também reduzir os custos relacionados ao consumo de combustível em aproximadamente 10% (AGUILAR, 2016).

As simulações de novas rotas podem identificar oportunidades para a redução de tempo de trabalho e das distâncias percorridas, além da redução do tamanho da frota de veículos ou a

redução de tempo ocioso de coleta (TENESACA; AGUIRRE, 2015). Um caso em Portugal apresentou uma proposta com o potencial de reduzir em 57% os custos do sistema de coleta de vidros para reciclagem (BEIJOCO, 2011).

É importante registrar que o *Network Analyst* é apenas uma representação da realidade, portanto, não é eximido de limitações. Os resultados precisam ser examinados com essa compreensão. Existem certos processos que não podem ser caracterizados no programa ou devem ser feitos separadamente (por exemplo, o tempo para os veículos retornarem ao estacionamento e realizar a manutenção diária, lavagem, etc.) (SILVA, 2009). Além disso, é preciso saber que a qualidade dos dados de entrada disponíveis e o tipo de modelo de coleta pretendido tem influência nos dados de saída (CAMPOS, 2014).

A melhor solução é aquela que está à altura de seu problema. A utilização de SIG está relacionado também com o tamanho e o poder econômico dos municípios. Frente ao custo de pessoal e financeiro dos programas, cidades pequenas podem abrir mão da ferramenta, quando é possível traçar as rotas intuitivamente para uma rede viária reduzida (SILVA, 2013). Nesse mesmo raciocínio, coletas em distritos afastados podem ser roteirizadas de forma mais simples, enquanto que os grandes centros urbanos podem exigir o auxílio de um software específico. Cada cidade precisa de uma solução sob medida.

A otimização deve gerar informações úteis para o sistema de coleta de resíduos sólidos da cidade, com destaque para os custos relacionados ao tempo, distância e consumo de combustíveis. Por exemplo, o VRP pode auxiliar nas avaliações de desempenho ambiental das organizações, sejam elas privadas ou públicas, dentro de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA, incluindo indicadores sobre a redução de emissões de gases do efeito estufa, associados diretamente com o transporte de veículos (CARVALHO, 2008).

Foram encontradas poucas referências brasileiras sobre o uso do programa ArcGIS® para resolver problemas de otimização e roteirização da coleta de resíduos sólidos. Para os últimos 10 anos, uma busca no Google Scholar com os termos “arcgis”, “*Network Analyst*”, “Brasil” e “resíduos sólidos” levaram a poucos projetos no país (ALMEIDA, 2014; GRACIOLLI, 1994; KESSLER et al., 2018; LORENTZ, 2011; LOURENÇO, 2016). Foram encontrados outros trabalhos sobre a seleção de áreas aptas para a construção de aterros sanitários ou a instalação de unidades de tratamento de resíduos (DALMÁS, 2008; NARUO, 2003; ORNELAS, 2011), no entanto, esse tema foge do escopo desta pesquisa.

Um estudo realizado antes do ano 2000 apresentou um modelo matemático e computacional para reduzir as distâncias percorridas pela coleta de resíduos de serviços de

saúde na cidade de Curitiba - PR, registrando uma redução teórica das distâncias de 19,4% (GRACIOLLI, 1994). Neste estudo, não foi utilizada uma ferramenta específica de SIG, mas foi utilizado o mesmo tipo de algoritmo utilizado no *Network Analyst* do ArcGIS®, os chamados algoritmos heurísticos.

Almeida (2014) apresenta uma forma de otimizar a coleta de resíduos industriais em áreas de usina e mineração de ferro em Carajás – PA. O autor usou uma combinação do programa ArcGIS® e planilhas de controle e monitoramento das coletas nos diversos locais de geração de resíduos no complexo mineral. Inicialmente, foram mapeadas as vias de acesso, os locais de coleta e atribuir dentre outras informações, a quantidade de resíduos gerados em cada local, por exemplo. Depois as planilhas de controle reúnem as informações para orientar os itinerários de coleta e acompanhar a execução da coleta. Enfim, a extensão *Network Analyst* do ArcGIS® foi utilizada para reduzir o tamanho das rotas de coleta que renderam reduções do custo com essa operação.

Outro estudo sobre a coleta de resíduos de serviços de saúde em hospitais da cidade de Belo Horizonte apresentou o *Network Analyst* como uma alternativa metodológica para a gestão de resíduos municipais, no entanto, não registrou a economia obtida com as novas rotas (LORENTZ, 2011).

Diferente dos outros estudos que focam na redução dos custos operacionais relacionados ao consumo de combustível, Kessler et al. (2018) calcularam os impactos ambientais das emissões relacionadas ao transporte e coleta de resíduos sólidos. Neste estudo recente, além de minimizar as distâncias no transporte de resíduos sólidos urbanos, o caso mostra o potencial das ferramentas de SIG na gestão de políticas e programas de redução das emissões de gases do efeito estufa. Os autores chegaram a uma redução de 35% das emissões com as rotas mínimas, igual a 1.172 toneladas de CO₂ equivalente, uma medida relativa ao potencial de poluição dos gases do efeito estufa (KESSLER et al., 2018).

Um estudo interessante que utilizou o mesmo programa para obter rotas otimizadas para a coleta de resíduos sólidos urbanos foi realizado na cidade de Campina Grande e obteve reduções nas distâncias percorridas na ordem de 17% e 21% das rotas percorridas atualmente (LOURENÇO, 2016). Neste caso, o autor limitou o estudo a dois bairros diferentes da cidade, cada um com uma característica especial, e conseguiu reduzir os percursos improdutivos (trechos que o caminhão passa quando a equipe não está coletando os resíduos).

3.2 Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde em São Carlos

No Brasil, segundo estimativas da ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, a geração de resíduos sólidos urbanos chegou em 2016 a quase 78,3 milhões de toneladas no país e deste montante, 71,3 milhões de toneladas foram coletados, ou seja, uma cobertura de 91% para no território nacional, ou seja, os sete milhões que faltaram, provavelmente, tiveram algum destino ambientalmente inadequado (ABRELPE, 2016). Os resíduos sólidos urbanos - RSU, popularmente conhecidos como “lixo”, são os materiais descartados após alguma atividade humana em sociedade. A definição completa para a palavra “resíduos sólidos” pode ser lida no texto do art. 3, inciso XVI, da Lei Federal n. 12.305, de 2 de agosto de 2010:

“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).

Dentre os vários tipos de resíduos que existem, os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a origem, características, composição, volume e periculosidade. Quanto a origem, no art. 13 da Lei 12.305/2010, os resíduos sólidos são classificados em (BRASIL, 2010):

- resíduos sólidos urbanos, que englobam os resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana;
- resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;
- resíduos industriais;
- resíduos de serviços de saúde;
- resíduos da construção civil;
- resíduos agrossilvopastoris;
- resíduos de serviços de transportes;
- resíduos de mineração.

Os resíduos de serviços de saúde são, portanto, uma classe de resíduos e possui definição própria. Segundo a Resolução CONAMA 358/005, os resíduos de serviços de saúde são: aqueles resultantes das atividades realizadas nos serviços relacionados ao atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento; serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares.

Dada a diversidade de serviços e produtos no complexo industrial da saúde, os resíduos de serviços de saúde também são classificados em grupos de acordo com suas características e os riscos ao meio ambiente e à saúde (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2006). Conforme o

Quadro 6, a resolução CONAMA 358/05 e a resolução RDC ANVISA 306/04, classificam RSS em cinco grupos diferentes: resíduos infectantes, resíduos químicos, rejeitos radioativos, resíduos comuns e materiais perfurocortantes ou escarificantes (BRASIL, 2004). O grupo dos resíduos infectantes ou “Grupo A” é um grupo bastante extenso, tanto que é dividido em mais cinco subgrupos. A classificação e definição completa com os exemplos e termos de cada um dos grupos e subgrupos estão disponíveis para consulta nos Quadro 17 e Quadro 18, no Anexo B – Classificação dos resíduos de serviços de saúde.

Quadro 6 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde – RSS.

Nome	Definição
GRUPO A	Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.
GRUPO B	Resíduos químicos.
GRUPO C	Rejeitos radioativos.
GRUPO D	Resíduos comuns
GRUPO E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes.

Fonte: adaptado da Resolução CONAMA 358/2005.

Cada tipo de resíduo merece uma atenção especial. Tal como prescreve o art. 19, inciso VII, da Lei 12.305/2010, o município é responsável por definir as regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, observadas as normas

estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária - SNVS e demais disposições pertinentes (BRASIL, 2010).

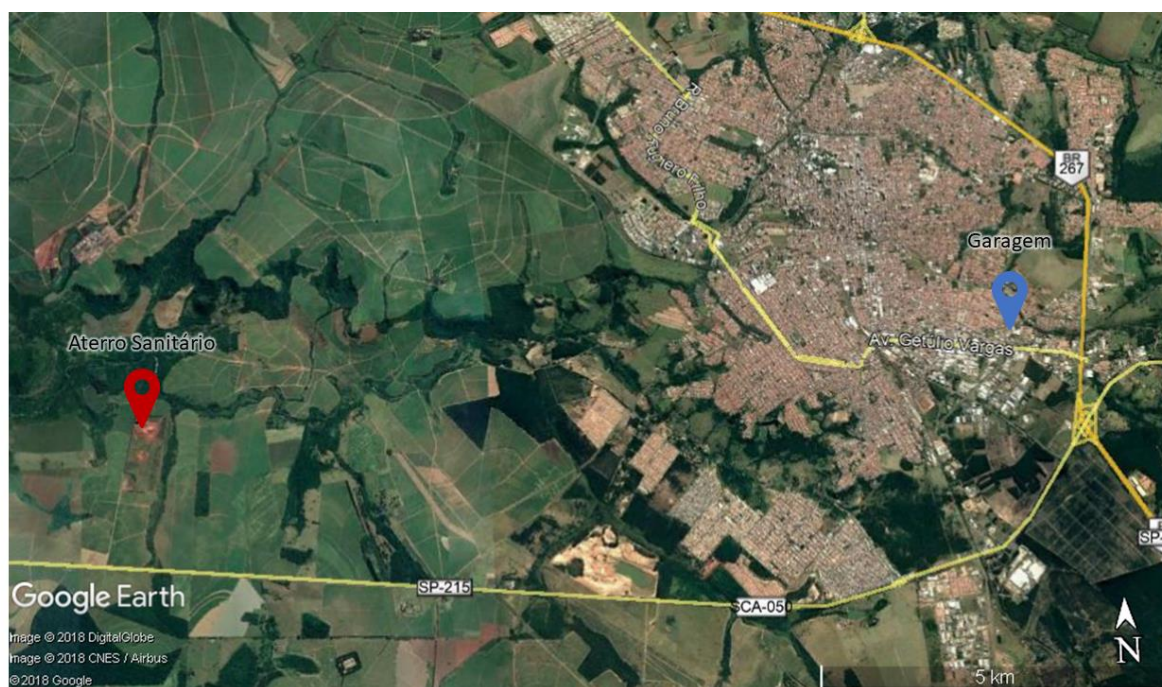
A constituição brasileira define que o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos nas cidades é de competência do poder público local. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008, 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos eram entidades vinculadas à administração direta do poder público; 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização; e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios (IBGE, 2010).

No caso de São Carlos, a Prefeitura Municipal é o órgão da administração direta responsável pelos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos no município. Especificamente, para o gerenciamento da coleta de resíduos sólidos domésticos e RSS, bem como a destinação final desses dois tipos de resíduos, foi criada uma concessão pública entre a prefeitura e uma empresa privada, regida por contrato de parceria público-privada ou pelo chamado contrato “PPP”.

Para a coleta de RSS ficam disponíveis dois veículos, sendo um reserva, no atendimento de 435 estabelecimentos de saúde, distribuídos em várias regiões da cidade. Cada estabelecimento é atendido por uma frequência de coleta diferente, compatível com a quantidade de resíduos que geram – mensal, quinzenal, semanal, mais de uma vez por semana ou todos os dias. O atendimento está disponível de segunda-feira a sábado, e não há coleta aos domingos e nem feriados. Hospitais grandes podem necessitar de até duas viagens no mesmo dia, como o hospital público da Santa Casa e o hospital Unimed 24h. Estabelecimentos que geram resíduos de forma esporádica são atendidos por meio de agendamento. Além disso, enquanto a maioria dos estabelecimentos pode ser atendida em horário comercial, alguns estabelecimentos apresentam uma janela de tempo restringindo o horário de passagem da coleta.

Diariamente o veículo parte da garagem, inicia a coleta de RSS nos estabelecimentos de saúde espalhados na cidade até atingir a capacidade do veículo e encaminha os resíduos à unidade de tratamento (uma autoclave) localizada no aterro sanitário, com acesso pela rodovia SP-215. A Figura 3 mostra a localização dos pontos principais: a garagem e o aterro sanitário, onde está posicionada a autoclave. Dependendo da quantidade de resíduos e da capacidade do veículo, são necessárias até duas viagens até o aterro sanitário para descarregar. O trabalho encerra na última viagem quando o veículo retornar para a garagem.

Figura 3 -Localização da unidade de tratamento e da garagem dos veículos da coleta de RSS no município de São Carlos - SP.



Fonte: Google Earth® (2018).

O serviço de coleta de RSS no município é restrito para apenas os resíduos infectantes e perfurocortantes, respectivamente, Grupo A e Grupo E. Estes resíduos devem ser identificados com seus respectivos rótulos de risco contendo as palavras “resíduo infectante” e “resíduo perfurocortante” (Figura 4), como determina a NBR 7500 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001; BRASIL, 2005).

Até o momento da coleta, os resíduos precisam ser acondicionados e armazenados de forma adequada. Segundo a resolução RDC 306/04, os resíduos infectantes devem ser acondicionados em sacos plásticos branco leitoso, constituídos de material resistente a ruptura e vazamento, impermeável, respeitados os limites de peso de cada saco. Os materiais perfurocortantes devem ser descartados separadamente, no local de sua geração, imediatamente após o uso ou necessidade de descarte, em recipientes rígidos, resistentes à punctura, ruptura e vazamento, com tampa, devidamente identificados, atendendo aos parâmetros referenciados nas normas e disposições pertinentes. É expressamente proibido o esvaziamento para reaproveitamento de sacos e recipientes desses resíduos.

Figura 4 - Rótulo de risco para substâncias infectantes com base na norma NBR 7500.



Nota. A esquerda, rótulo para os resíduos do grupo A; e a direita, rótulo para os resíduos do grupo E.
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

O armazenamento externo, denominado de abrigo de resíduos, deve ser construído em ambiente exclusivo, de fácil acesso ao veículo da coleta. O abrigo deve possuir no mínimo um ambiente separado para os resíduos do Grupo A e Grupo E, que podem ser armazenados juntos, e no mínimo um ambiente para os resíduos comum (Grupo D). As dimensões do abrigo devem ser compatíveis com o volume de resíduos gerados e a periodicidade da coleta do sistema de limpeza urbana local, sendo que pequenos geradores podem optar por um abrigo mais reduzido dentro das dimensões prescritas pela resolução RDC 306/04.

4 METODOLOGIA

4.1 Estudo e revisão de conceitos

A primeira atividade da pesquisa consistiu de um estudo e revisão dos conceitos relacionados ao tema da pesquisa passando pelo uso de SIG na gestão de resíduos sólidos e a coleta de RSS. Foram realizadas buscas na literatura científica para entender como que o SIG vem sendo aplicado na gestão de resíduos sólidos, principalmente o que diz respeito a coleta de resíduos e otimização de suas rotas, e para também entender os conceitos, definições e classificações dos resíduos, em especial os resíduos de serviços de saúde - RSS.

Ao mesmo tempo, também fez parte desse primeiro momento reuniões com a equipe da coleta de RSS da empresa concessionária dos serviços de coleta de resíduos sólidos no município de São Carlos, formada por um motorista e um coletor, que trabalham com a coleta de resíduos há mais de 15 anos. Foram sete reuniões que aconteceram ao longo dos meses de abril e maio de 2018. As principais questões discutidas nas reuniões foram como que é feito o ordenamento atual dos estabelecimentos de saúde no itinerário, quais são os maiores geradores, quais são as maiores dificuldades da equipe, dentre outras questões relativas a coleta.

4.2 Visitas a campo

As visitas de campo foram realizadas acompanhadas da equipe da coleta de RSS, buscando não interferir no trabalho. O intuito dessa atividade foi observar o desempenho do motorista e do coletor e medir o tempo de coleta em cada estabelecimento. O desempenho da equipe foi mensurado em termos quantitativos para distância percorrida e duração da rota; e em termos qualitativos para questões como se a rota é cumprida integralmente ou não, se o veículo faz desvios desnecessários, dentre outras observações que se acharam pertinentes.

Para determinar a quantidade de resíduos a ser coletada em cada estabelecimento foram adotadas classes de tamanho – grandes, médios e pequenos geradores – definidos no Quadro 7. A empresa concessionária dos serviços de coleta de resíduos sólidos no município de São Carlos forneceu a lista dos estabelecimentos de saúde atendidos.

Quadro 7 - Classe de tamanho dos geradores de RSS.

Classe	Geração
Pequeno	Menos de 10 kg
Médio	De 10 a 100 kg
Grande	Mais de 100 kg

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Para medir o tempo de coleta, foi considerado o início do tempo na parada do veículo e o fim, depois de concluída a coleta, na partida do veículo seguindo para o próximo estabelecimento. Para os estabelecimentos que não se pode medir o tempo de coleta, adotou-se como sendo 1 (um) minuto.

4.3 Ferramentas do ArcGIS®

No Programa do ArcGIS® Pro (versão 2.1.3) foram usadas duas ferramentas *online*. A primeira foi a ferramenta de geocodificação (do inglês, *geocoding tool*) que transforma dados de localização (por exemplo, endereços) em pontos georreferenciados com latitude e longitude. Esta ferramenta foi usada para localizar no espaço os estabelecimentos de saúde atendidos pela coleta de RSS no município. Para tanto, os estabelecimentos foram organizados numa lista contendo nome, endereço, bairro, cidade, estado e país. Antes de usar a ferramenta, foi realizada uma inspeção da lista de estabelecimentos em busca de erros cadastrais tais como nomes incorretos, endereços incorretos ou incompletos, etc. Os resultados da geocodificação foram por fim revisados para verificar se os pontos no mapa correspondiam exatamente aos seus respectivos endereços. Em caso negativo, a posição do ponto foi corrigida manualmente com base nas informações adquiridas nas visitas a campo, ou nas reuniões com a equipe, que visitam os locais com frequência, ou na consulta ao *Google Maps*®.

A segunda ferramenta do ArcGIS® foi o *Vehicle Routing Problem* – VRP, da extensão *Network Analyst*, que tem o papel central nesse projeto. Com a localização georreferenciada dos estabelecimentos de saúde obtidos na geocodificação citada anteriormente; as informações obtidas nas visitas de campo; e reuniões com a equipe da coleta foram obtidos todos os dados de entrada necessários para a resolução do VRP. Foram criados os cinco arquivos de entrada necessários (*Orders*, *Routes*, *Breaks*, *RouteRenewals* e *Depots*), descritos em detalhes no capítulo Revisão Bibliográfica. A seguir no Quadro 8, são apresentadas as configurações básicas utilizadas no VRP.

Quadro 8 - Configurações do VRP utilizadas para a otimização das rotas da coleta de RSS.

Configuração	Opção escolhida
<i>UTurns at Junctions</i>	Permitido apenas em ruas sem saída.
<i>Impedance</i>	<i>Drive Time</i> (veículo pequeno)
<i>Analysis Region</i>	América do Sul
<i>Time Units</i>	Minutos
<i>Distance Units</i>	Quilômetros

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Foram criados cenários de otimização com base na combinação de duas variáveis: capacidade do veículo e localização da unidade de tratamento de RSS. Foram feitos testes com um veículo de capacidade para 800 kg e um veículo para 1500 kg; a localização da unidade de tratamento foi mantida na posição atual, uma autoclave que fica no aterro sanitário, e depois na garagem, para simular uma localização que fosse mais próxima da área urbana. O resultado da combinação dessas duas variáveis resulta nos quatro cenários apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Cenários de otimização no VRP.

Nome do cenário	Capacidade do veículo (kg)	Localização da autoclave
Cenário A	800	Aterro sanitário
Cenário B	1500	Aterro sanitário
Cenário C	800	Garagem
Cenário D	1500	Garagem

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

A Figura 5 ilustra de forma lúdica os cenários cada um com símbolos de veículo menor e maior, e os ponteiros de localização vermelho mais distante e azul mais próximo. Uma diferenciação que não diz respeito aos cenários, mas que é uma característica dos veículos é o tem de descarga, que para o veículo com capacidade de 800 kg foi de 15 minutos, enquanto que o tempo de descarga para o de 1500 kg foi de 20 minutos⁴. A Figura 6 apresenta exemplos desses veículos. O veículo menor, com capacidade de 800 kg, a esquerda, é do tipo furgão, uma Fiat Ducato; e o veículo maior com capacidade de 1500 kg, é do tipo caminhão, para pequenas cargas, um Volkswagen Delivery

⁴ Tal consideração se fez necessária porque se pressupõem que o tempo de descarga é proporcional a quantidade de resíduos a ser descarregada. Já que os resíduos são manualmente descarregados, é necessário mais tempo para descarregar uma quantidade maior de resíduos.

Figura 5 - Ilustração dos cenários de otimização no VRP em relação a capacidade do veículo e a localização da unidade de tratamento.



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Figura 6 - Exemplo de modelos de veículos usados para a coleta de resíduos de serviços de saúde.



Nota: as imagens são meramente ilustrativas. Fonte: Blog do Caminhoneiro (2017) e Carros Seminovos (2016).

O cenário A pode ser chamado de cenário conservador, pois não altera a capacidade do veículo nem a localização da unidade de tratamento. O cenário B introduz uma novidade, ao trocar o veículo menor com capacidade de 800 kg de carga por outro maior com capacidade de 1500 kg. Desta forma, a segunda viagem para a unidade de tratamento é dispensada - o veículo maior é capaz de acomodar todos os resíduos do dia e fazer uma única viagem a unidade de tratamento. O cenário C representa uma mudança na localização da unidade de tratamento. O veículo menor é mantido, mas a unidade de tratamento já não é no aterro sanitário e sim na

garagem. Em outras palavras, este cenário representa a possibilidade de transferir a unidade de tratamento para um local mais próximo de onde os resíduos são gerados, na área urbana. Ainda são necessárias duas viagens, mas o deslocamento é menor. Por fim, o cenário D é aquele que tenta unir os dois benefícios: diminuir o número de viagens de duas para uma única viagem a unidade de tratamento; e reduzir a distância entre os estabelecimentos geradores e a destinação final.

Foram realizadas algumas simulações com a ferramenta de VRP antes de definir as propostas finais. Trata-se de um teste preliminar com a finalidade de verificar se as rotas estão coerentes e respeitam os parâmetros de roteirização pré-determinados, por exemplo, se os horários de pausa foram respeitados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Construção do banco de dados georreferenciado

Após a inspeção da lista de estabelecimentos de saúde, foram constatados erros cadastrais tais como logradouros incorretos, números errados, avenida no lugar de rua e vice-versa, nome do estabelecimento incorreto ou faltando, bairro em desacordo com o cadastro nos correios, etc. Os dados foram organizados como apresentado no Quadro 10.

Nas reuniões com a equipe, foi unânime que a correção desses dados facilita o trabalho sempre que for necessário buscar na lista os nomes dos endereços e mantém a autenticidade das informações. Além disso, previne a ocorrência de erros excessivos no momento de transformar os endereços em pontos georreferenciados.

Quadro 10 - Organização dos dados na lista de estabelecimentos de saúde no município de São Carlos – SP com o exemplo de alguns prédios públicos.

Nome	Tipo	Endereço	Bairro
UBS Vila São José	UBS	Avenida Araraquara, 1199	Vila São José
UBS Água Vermelha	UBS	Avenida Bela Cintra, 05	Água Vermelha
USF Santa Angelina	USF	Avenida Doutor Gildeney Carreri, 391	Santa Angelina
UPA Vila Prado	UPA	Avenida Grécia, 229	Vila Prado
Canil e Gatil Municipal	Canil e Gatil	Estrada da Água Fria	Rural
USF Jardim São Carlos	USF	Rua 13 de Maio, 1173	Jardim São Carlos
Santa Casa	Hospital	Rua Paulino Botelho de Abreu Sampaio, 573	Jardim Bethânia
Maternidade Dona Francisca Cintra Silva	Maternidade	Rua Paulino Botelho de Abreu Sampaio, 588	Jardim Bethânia

Nota. Para a melhor apresentação do quadro, foram ocultadas as colunas para “município”, “Estado” e “País”, que são iguais para todos. Fonte: elaborado pelo autor (2018).

A ferramenta de *geocoding* do ArcGIS®, que utiliza um banco de dados online de endereços, se mostrou útil para encontrar as coordenadas geográficas dos endereços, embora não tenha sido suficiente para encontrar todos os endereços. Alguns erros na lista não foram percebidos durante a inspeção, como nomes incorretos, por exemplo. Outros endereços não

foram encontrados pela ferramenta porque não existem (ou não existiam até o momento) no banco de dados *online* da ESRI. Ambos os casos afetaram algumas dezenas de estabelecimentos. Os endereços não localizados foram então manualmente corrigidos. Dentre os métodos previstos para esta correção, o *Google Maps*® foi o mais utilizado devido a sua praticidade e abrangência espacial. Como mostra a Figura 7, quando as imagens estão nítidas, é possível ver o número do edifício. Mesmo sendo utilizadas poucas vezes, as visitas de campo e a participação da equipe foram fundamentais para conseguir as informações que estavam faltando. Algumas imagens do Google não estão atualizadas ou não estão nítidas o suficiente para determinar qual é o edifício.

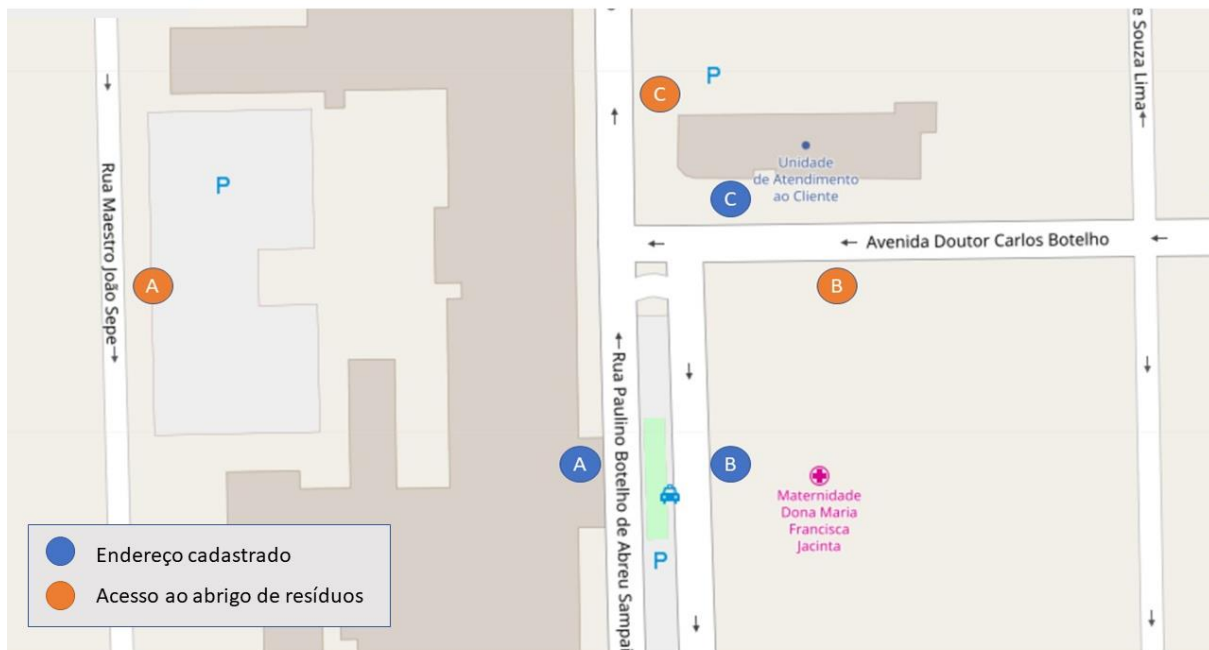
Figura 7 - Exemplo do uso das imagens Google para consultar o número de endereço dos estabelecimentos.



Fonte: Google Maps® (2016).

Durante as visitas de campo foi observado que a localização do endereço do estabelecimento de saúde pode não coincidir com o ponto de acesso para o abrigo de resíduos. Tal situação foi constatada para seis estabelecimentos, sobretudo os grandes geradores. Para efeitos da roteirização, a localização válida é aquela do acesso para o abrigo. Essa informação não constava nos dados cadastrais e tiveram que ser acrescentadas. Considerando como fundamental que os registros reflitam exatamente o que acontece na prática, recomenda-se que esse tipo de informação seja obrigatório no cadastro dos estabelecimentos. A Figura 8 mostra como que essa divergência pode ocorrer.

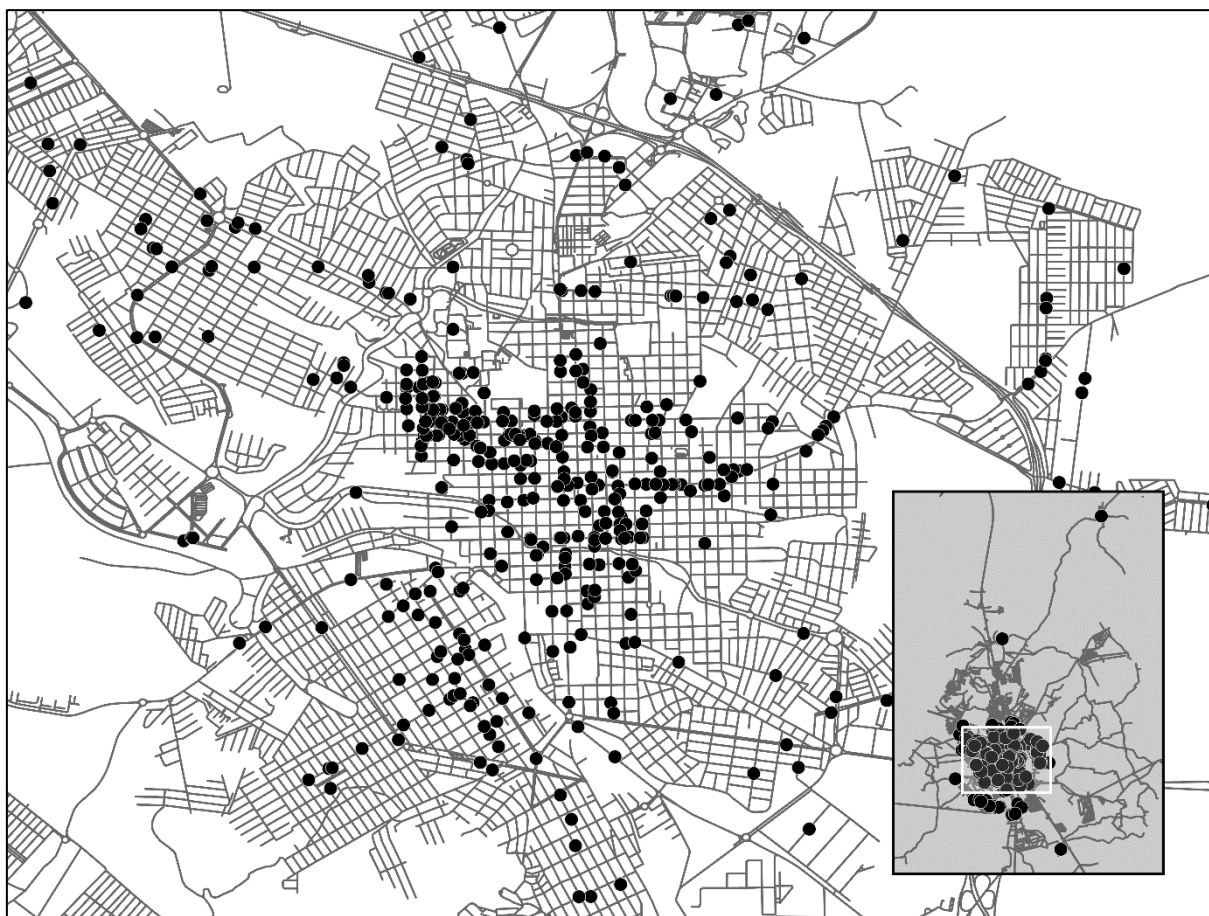
Figura 8 - Divergência entre os dados de localização dos endereços no cadastro (pontos azuis) e o acesso ao abrigo de resíduos (pontos laranjas) para três estabelecimentos (A, B e C).



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Foram mapeados 435 estabelecimentos de saúde em todo o município. A Figura 9 apresenta a distribuição dos estabelecimentos de saúde na região central da cidade, onde a maioria se concentra. Existem outros estabelecimentos em locais mais afastados da cidade, como as unidades de saúde no distrito de Santa Eudóxia e no distrito de Água Vermelha, respectivamente, distantes de 28 e 12 km da sede do município.

Figura 9 - Distribuição dos estabelecimentos de saúde atendidos pela coleta de RSS na região mais central da cidade de São Carlos - SP.



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Atualmente, a prefeitura não utiliza um banco de dados georreferenciado. As informações produzidas aqui podem servir para alimentar um possível primeiro banco de dados. Os estabelecimentos de saúde ficam registrados em um banco de dados georreferenciado que pode ser usado pelo poder público em planos, programas e projetos visando os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. No entanto vale ressaltar que é fundamental que os mapas e os dados georreferenciados estejam atualizados na prefeitura do município – é necessário manter um banco de dados consistente para garantir os benefícios que o SIG pode trazer (FITZ, 2008, p.26).

5.2 Otimização das rotas da coleta de RSS

Em cada cenário, foi obtida uma rota otimizada para cada dia da semana, de segunda-feira a sábado (não há coleta no domingo). Como desejado, a otimização obteve sucesso em reduzir a duração e a distância das rotas. Todos os cenários obtiveram reduções.

Cada rota pode variar de um cenário para outro, já que o VRP foi programado para escolher o melhor dia da semana para cada estabelecimento – com exceção dos estabelecimentos diários ou aqueles com restrições para determinados dias da semana (por exemplo, fechado no sábado). Ou seja, um estabelecimento que é atendido na segunda-feira em um cenário pode ser atendido na quarta-feira em outro cenário, se a mudança traz o menor custo. A Tabela 1 mostra a distribuição dos estabelecimentos entre as rotas de cada cenário. Dos 435 estabelecimentos mapeados, 411 incluídos nas rotas e os outros 24 foram excluídos das rotas porque estes são atendidos através de agendamentos e não têm, por tanto, uma frequência determinada.

Tabela 1 - Número de estabelecimentos de saúde atendidos em cada cenário por dia da semana.

Rota	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Segunda-feira	73	73	64	75
Terça-feira	94	81	87	64
Quarta-feira	81	80	65	80
Quinta-feira	70	83	79	74
Sexta-feira	77	78	100	102
Sábado	16	16	16	16
Total	411	411	411	411

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

A Tabela 2 apresenta a variação das distâncias obtidas para cada rota do dia da semana em cada cenário em relação as distâncias percorridas atualmente. Foi obtida uma redução da quilometragem em todos os cenários. Em relação ao percurso total na semana, as rotas otimizadas projetam uma redução de 21 a 50% das quilometragens, sendo que o cenário A obteve a menor redução, enquanto o cenário D obteve a maior redução.

A única rota que obteve uma variação positiva, ou seja, a única rota que ficou mais longa após a otimização foi a rota de segunda-feira no cenário A. Todas as outras rotas em todos os cenários tiveram alguma redução do seu percurso original. No entanto, as reduções obtidas nos

outros dias da semana compensaram esse aumento, resultando em uma redução de 21% no final da semana. Isso se deve ao fato de o VRP considerar o conjunto de rotas da semana inteira e não as rotas separadamente. Tornar uma rota um pouco mais longa em um dia pode significar rotas mais curtas para os outros dias.

Tabela 2 – Variação das distâncias percorridas em cada cenário por dia da semana em relação as distâncias médias percorridas atualmente.

Rota	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Segunda-feira	22%	-44%	-64%	-62%
Terça-feira	-34%	-33%	-2%	-40%
Quarta-feira	-46%	-48%	-65%	-74%
Quinta-feira	-15%	-10%	-43%	-51%
Sexta-feira	-34%	-1%	-52%	-22%
Sábado	-10%	-10%	-55%	-55%
Total	-21%	-26%	-47%	-50%

Nota. As porcentagens negativas representam as reduções e as porcentagens positivas os aumentos.
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

A Tabela 3 apresenta as variações de tempo obtidas para cada rota do dia da semana em cada cenário, calculadas em relação a média das rotas executadas atualmente. Em relação ao total da semana, foram obtidas reduções do tempo de coleta de 17 a 27%.

Tabela 3 – Variação do tempo de duração da coleta de RSS em cada cenário por dia da semana em relação ao tempo médio realizado atualmente.

Rota	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Segunda-feira	0%	-26%	-32%	-31%
Terça-feira	-24%	-28%	-15%	-11%
Quarta-feira	-26%	-29%	-34%	-37%
Quinta-feira	-18%	-20%	-19%	-35%
Sexta-feira	-14%	-3%	-7%	-18%
Sábado	-23%	-21%	-36%	-34%
Total	-17%	-21%	-23%	-27%

Nota. As porcentagens negativas representam as reduções e as porcentagens positivas os aumentos.
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

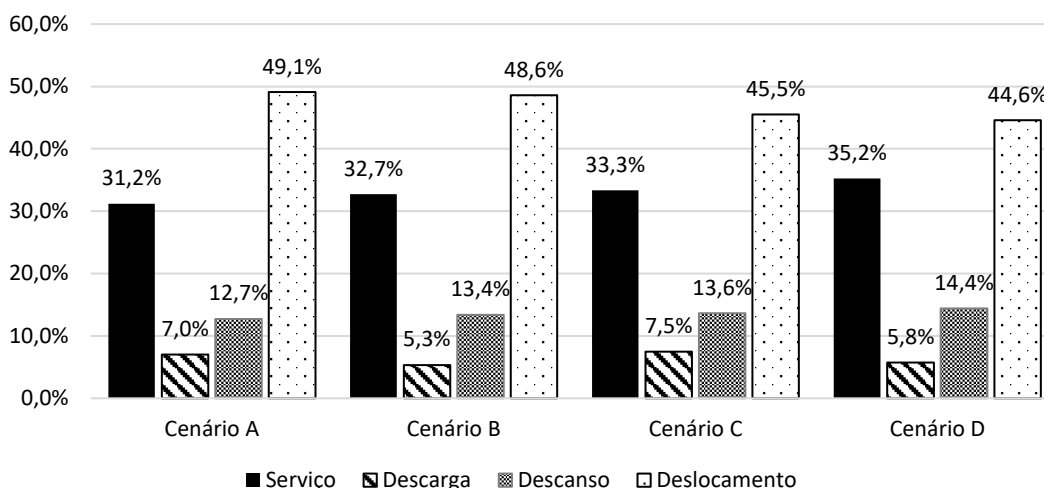
Assim como foi observado para as distâncias percorridas, do cenário A ao cenário D, existe uma progressão na redução dos tempos, onde o cenário D representa a maior redução. No entanto, essa redução no tempo de trabalho não significa, necessariamente, redução de custos. Uma vez eliminada a hora extra, o custo de tempo é sempre o mesmo. Porque a equipe é remunerada por uma jornada de trabalho fixa de 44 horas semanais - independente se executar

o serviço em menor tempo, a remuneração é igual. Por isso, a redução dos custos de tempo está relacionada somente com a redução de horas extras. Deste modo, os ganhos com a otimização por tempo estão limitados a um valor fixo relativo a essas horas.

Em termos de tempo de trabalho, as rotas foram otimizadas para não gerar horas extras, contadas a partir dos 500 minutos. Nenhuma das rotas propostas gera horas extras. A otimização é uma oportunidade importante para trazer equilíbrio entre os dias de trabalho, alocando o trabalho dos dias mais demorados para os dias mais rápidos e, desta forma, evitar a geração de horas extras, que é remunerada com um adicional de 50%.

A Figura 10 mostra para cada cenário como o tempo de duração da coleta de RSS está distribuído entre as quatro principais atividades da equipe – o tempo de serviço (ou tempo de coleta) que é o tempo que o veículo está parado nos estabelecimentos para efetuar a coleta, o tempo de descarga, o tempo de descanso ou pausa para o almoço, e o tempo de deslocamento do veículo (que inclui tanto o tempo de deslocamento entre um estabelecimento e outro, como também o tempo de transporte até a unidade de tratamento).

Analisando essa distribuição de tempo, em todos os cenários a maior parte do tempo é dedicada ao deslocamento do veículo, que representa de 44,6% a 49,1% do tempo total, praticamente metade do tempo. No entanto, do cenário A para o cenário D, o tempo de deslocamento diminui ao passo que o tempo de serviço aumenta. Em outras palavras, a coleta passa a ser mais produtiva, a equipe aproveita mais do tempo disponível para coletar os resíduos e o motorista não necessita passar mais tempo dirigindo. Na maioria dos estabelecimentos a coleta ocorre em torno de um minuto, geralmente por ser uma quantidade pequena de resíduos. Nos estabelecimentos maiores, como hospitais e laboratórios de diagnóstico, o tempo de coleta é maior e pode chegar a 15 minutos ou até mesmo 30 minutos, quando há uma quantidade grande de resíduos. Além disso, o tempo de descanso aumenta progressivamente, do cenário A para o cenário D, passando de 12,7% até 14,4%. Nos cenários B e D, com o veículo maior, o tempo de descarga é de 5,3% e 5,8% do tempo total, respectivamente. Se comparados com os cenários A e C, onde o veículo é menor, o tempo de descarga aumenta, respectivamente, para 7,0% e 7,5%. Por mais que o tempo de descarga para o veículo maior seja de 20 minutos e o do veículo menor seja de 15 minutos, o número de viagens para a unidade de tratamento é reduzido com o aumento da capacidade, o que consequentemente reduz o tempo de descarga total nesses cenários com o veículo maior.

Figura 10 - Distribuição do tempo de coleta entre as quatro atividades principais.

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Cada cenário representa uma mudança em menor ou maior grau do sistema de coleta de RSS no município. Mudar as rotas e o itinerário de coleta é uma ação mais simples que a aquisição de um novo veículo de maior capacidade. Esta por sua vez é mais simples que a transferência da autoclave para operar em outro local mais próximo dos geradores.

Com o cenário conservador (cenário A), a ferramenta de VRP mostra que há um potencial para reduzir os custos da coleta de RSS sem a necessidade de mudar o veículo e a localização da autoclave. Conforme a Tabela 2, apenas com a alteração das rotas é possível reduzir em 21% a distância percorrida na semana e, consequentemente, reduzir na mesma proporção os custos com combustível. Além disso, como já foi mencionado, também não há custos com hora extra.

Na busca por melhores resultados, o cenário B oferece reduções ainda maiores, desde que um veículo de maior capacidade seja adquirido. Desta forma é possível dispensar a segunda viagem à unidade de tratamento, e executar a coleta de RSS em uma única viagem. Desta forma, é possível reduzir ainda mais as distâncias percorridas. A redução neste cenário é de 26% - 5 pontos percentuais a mais que o cenário A, que utiliza um veículo menor.

Aumentar a capacidade do veículo pode ser adotado como um plano de ação de melhoria importante, no entanto, a localização da unidade de tratamento se mostrou preponderante na otimização das rotas. Fixando a capacidade do veículo, nos cenários A e C, a mudança do local da unidade de tratamento tem um potencial ainda maior de reduzir as distâncias percorridas – a diferença é de 26 pontos percentuais. Da mesma forma, nos cenários B e D, com o veículo

maior – onde a diferença é de 24 pontos. No caso contrário, fixando a localização da unidade de tratamento e variando a capacidade do veículo, ou seja, do cenário A para o B e do cenário C para o D, o ganho é menor – respectivamente, uma diferença de 5 e 3 pontos apenas.

Evidentemente, os melhores ganhos nos cenários C e D estão associados à mudança da localização da unidade de tratamento, que é composta de diversos equipamentos, sendo uma autoclave de grande porte um dos equipamentos principais. Todavia, a presente avaliação de custos só considera os custos relativos ao consumo de combustíveis e remuneração das horas trabalhadas e dispensa outros aspectos operacionais, financeiros, administrativos, etc. Quais são os custos de transladar os equipamentos? Existe viabilidade ambiental na instalação e operação de uma autoclave na área urbana? Esta é uma limitação da pesquisa, que se concentrou em estudar as potencialidades das ferramentas de SIG na coleta de RSS. Evidentemente, uma maior integração com outras questões da cidade são pautas necessárias de se pôr em discussão para que mudanças efetivas ocorram em prol da melhoria continua dos serviços públicos na cidade.

Por último, o VRP do ArcGIS® gera um arquivo com a descrição da rota que deve ser seguida. Como exemplo, um trecho do arquivo é apresentado no Quadro 11. Esse arquivo pode ser útil para como um registro da rota, ou para orientar o motorista na rota que ele deve seguir.

Quadro 11 - Descritivo do itinerário gerado pelo VRP do ArcGIS®.

Tempo de Chegada	Texto
2018-05-23 8:00	Início em Garagem
2018-05-23 8:00	Seguir sul em Rua Eduardo Campos Maia Filho
2018-05-23 8:01	Na rotatória, utilizar primeira saída para prosseguir em Rua Germano Fher Júnior
2018-05-23 8:01	Virar à direita em Rua Professor João Jorge Marmorato
2018-05-23 8:02	Virar à direita em Rua Vicente Pelicano
2018-05-23 8:02	Virar à direita em Avenida Madre Marie Blanche
2018-05-23 8:02	Chegada em 260561 à esquerda
2018-05-23 8:03	Partida 260561
2018-05-23 8:03	Voltar noroeste em Avenida Madre Marie Blanche
2018-05-23 8:04	Virar à direita em Rua Germano Fher Júnior
2018-05-23 8:04	Na rotatória, utilizar segunda saída para prosseguir em Avenida Comendador Alfredo Maffei
2018-05-23 8:07	Virar à direita em Rua Rui Barbosa

Nota. O quadro apresenta apenas um trecho da rota nos seus primeiros 10 minutos. 260561 é uma referência para o código do estabelecimento de saúde.

No entanto, seria um tanto contraditório defender um programa de computador que veio para substituir mapas de papéis e depois recomendar a impressão desse tipo de informação que é gerada no VRP. Uma alternativa mais sofisticada seria o arquivo ser utilizado em um aplicativo que pode ser instalado em um *smartphone*⁵ e desempenhar a função de navegador, guiando o motorista em tempo real.

O presente estudo envolve apenas uma parte do sistema de coleta de resíduos. As possibilidades de inovação tecnológica para os serviços de limpeza e coleta de resíduos não estão limitadas à roteirização da frota. Os resultados obtidos aqui apontam a necessidade de investimentos e desenvolvimento de sistemas mais dinâmicos para o gerenciamento da frota de veículos. O VRP no ArcGIS® exporta uma rota “estática”, que é útil para itinerários fixos no dia.

No caso da coleta de RSS em São Carlos, a maioria dos estabelecimentos de saúde são atendidos por uma frequência predeterminada, uma escala fixa na semana. Porém, alguns estabelecimentos, que geram resíduos esporadicamente, como é o caso de farmácias, precisam solicitar o serviço para realizar a coleta. Quando ocorre uma solicitação como essa, o veículo precisa desviar da sua rota padrão para dar atendimento nesse estabelecimento. Por esse motivo, as rotas são variáveis, independentemente se o desvio for pequeno.

⁵ O *smartphone* é uma palavra em inglês que se refere a um telefone celular com tecnologias avançadas, equivalente a um computador, que possui diversos programas chamados de aplicativos (SIGNIFICADOS, 2013).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo permitiu avaliar o uso de SIG na otimização de rotas de coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde – RSS no município de São Carlos, no Estado de São Paulo. Trata-se de uma contribuição para a compreensão dos benefícios e limitações do ArcGIS® Pro e suas ferramentas na gestão de resíduos sólidos municipal, passando pela geocodificação de informações de localização na construção de um banco de dados georreferenciado dos estabelecimentos de saúde e a solução de um problema de roteirização de veículos - VRP aplicado a um caso real de coleta de resíduos sólidos, em especial, os resíduos de serviços de saúde - RSS.

Na avaliação dos quatro cenários propostos para a otimização, os resultados apontam para uma redução de 21% a 50% das distâncias percorridas e 17% a 27% do tempo de trabalho. Isto representa uma redução no pagamento de horas extras e despesas com combustível. Diante dessa proposta, os objetivos da otimização da coleta na cidade de São Carlos foram alcançados.

No primeiro momento da pesquisa, dedicada ao estudo dos conceitos sobre SIG e o gerenciamento da coleta de RSS no município forneceu as bases para construção de um VRP que espelhasse o mais próximo possível o trabalho da equipe no seu dia-a-dia. No Brasil, foram encontradas poucas referências sobre o uso de SIG na otimização da coleta de resíduos sólidos (ALMEIDA, 2014; GRACIOLLI, 1994; KESSLER et al., 2018; LORENTZ, 2011; LOURENÇO, 2016). Todas as pesquisas apresentam um objetivo comum, de reduzir as distâncias e o tempo das rotas, mas também abrangem outros assuntos como a redução das emissões de gases do efeito estufa, aperfeiçoamento dos itinerários de coleta e incentivos aos órgãos do poder público para o uso de SIG no gerenciamento de resíduos.

A ferramenta de geocodificação se mostrou útil para determinar latitude e longitude dos estabelecimentos, deixando alguns estabelecimentos para correção manual. Desta forma a lista de estabelecimentos de saúde que se tinha passou a constituir um banco de dados georreferenciado no município. Foram mapeados 435 estabelecimentos de saúde em um banco de dados que pode ser usado pelo poder público em planos, programas e projetos visando os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Não foi possível estimar com precisão a quantidade de resíduos gerados em cada estabelecimento, mas a classificação dos geradores em tamanho foi uma medida alternativa que se mostrou adequada para os objetivos do estudo. O tempo de coleta foi estimado para cada estabelecimento, que é uma variável mais fácil de se medir do que a quantidade de resíduos por estabelecimentos.

As simulações feitas no Network Analyst do ArcGIS® contribuíram para o conhecimento de novas rotas para diminuir os deslocamentos do veículo da coleta, e desta forma diminuir o tempo de trabalho. O cenário mais conservador aponta que a atual operação apresenta uma margem de melhoria de 21% de redução das distâncias e 17% do tempo de trabalho, sem a necessidade de alterar o tipo de veículo e nem alterar a localização da unidade de tratamento de resíduos. Na comparação com os outros cenários, a substituição por um veículo maior se apresenta como uma mudança positiva para intensificar a redução dos custos. Depois, considerando as simplificações necessárias, levar a unidade de tratamento para um local mais próximo da área urbana pode reduzir ainda mais os custos da coleta de RSS na cidade, sendo que esta mudança é a que tem mais peso nas reduções das distâncias e do tempo de trabalho comparado com a aquisição de um veículo maior.

Como se procurou demonstrar, o uso de ferramentas SIG pode ser útil na otimização de sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos na cidade, bem como no âmbito dos consórcios municipais. Não obstante, há oportunidade de melhoria para aqueles que desejam explorar ferramentas mais dinâmicas, que sejam capazes de incluir demandas durante o percurso do veículo e otimizar a rota em tempo real.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Manual de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde**. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

AGUILAR, J. A. A. Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio. **Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán**, v. 19, n. 2, p. 118–128, 2016.

ALMEIDA, M. B. DE. **Otimização do processo de coleta dos resíduos industriais da usina e minas do Complexo Minerador de Ferro de Carajás, PA**. Pará, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 6 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7500: símbolos de risco e manuseio para o transporte e armazenamento de materiais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BEIJOCO, A. F. P. **Optimização de um Sistema de Recolha e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

BIELENKI JR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos: Aplicações Práticas**. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

BLOG DO CAMINHONEIRO. **VW Caminhões inicia pré-venda de consórcio da Nova Família Delivery**. Blog do Caminhoneiro, 6 out. 2017. Disponível em: <<https://blogdocaminhoneiro.com/2017/10/vw-caminhoes-inicia-pre-venda-de-consorcio-da-nova-familia-delivery/>>. Acesso em: 24 out. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução no 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 mai. 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, dez. 2004. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0306_07_12_2004.html>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: New York Oxford University Press, 2011.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.

CÂMARA, G.; CLODOVEU, D. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, M. L. T. **Otimização da recolha de resíduos urbanos: caso de estudo de Aveiro**. Glória, Portugal: Universidade de Aveiro, 2014.

CARROS SEMINOVOS. **Tabela FIPE Fiat Ducato**. Carros Seminovos, 23 set. 2016. Disponível em: <<https://www.seminovoscarros.com.br/2016/09/23/tabela-fipe-fiat-ducato/>>. Acesso em: 24 out. 2018

CARVALHO, M. M. V. T. DE. **Optimização de circuitos e indicadores de recolha de resíduos urbanos. Caso de estudo: Município de Almada**. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2008.

DALMÁS, F. B. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos urbanos na UGRHI-11 - Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. text—São Paulo: Universidade de São Paulo, 24 set. 2008.

ESRI. **Solve Vehicle Routing Problem**. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/network-analyst/solve-vehicle-routing-problem.htm>>. Acesso em: 5 set. 2018.

FALCÃO, J. et al. **Estudo sobre o software livre** Fundação Getúlio Vargas, Instituto Nacional de Tecnologia da Informação, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10438/2673>>. Acesso em: 24 out. 2018.

FERRARI, R. **Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica**. Curitiba: Sagres Editora, 1997.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOOGLE. Google Earth. Versão 7.3.2. 2018. Município de São Carlos - SP. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 24 out. 2018.

GOOGLE MAPS. **Imagem de uma casa na Rua Aquidaban no município de São Carlos - SP**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/maps/1o2nWoNoW972>>. Acesso em: 24 out. 2018.

GRACIOLLI, O. D. **Otimização de roteiros de veículos coletores de resíduos sólidos de serviços de saúde**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

HAN, H.; CUETO, E. P. Waste Collection Vehicle Routing Problem: Literature Review. **PROMET-Traffic&Transportation**, v. 27, n. 4, p. 345–358, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

KESSLER, J. P. S. et al. **Aplicação de SIG para avaliação de impactos ambientais da categoria potencial de aquecimento global: gestão de rotas de transporte de resíduos sólidos**. Anais do 9º Forum Internacional de Resíduos Sólidos. **Anais...** In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - FIRS. Porto Alegre, RS: 2018Disponível em:

<<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/issue/view/11>>. Acesso em: 19 ago. 2018

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LORENTZ, J. F. **Aplicação de recursos de roteirização e redes na coleta e transporte de resíduos de serviços de saúde**. Mestrado—Belo Horizonte, Brasil: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LOURENÇO, D. A. **Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos em uma área urbana: o caso da cidade de Campina Grande - PB**. Mestrado—Campina Grande, PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. **Geographical information systems: Principles and applications**, v. 1, p. 9–20, 1991.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, 2003.

ORNELAS, A. R. **Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Mestrado—Belo Horizonte, Brasil: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SIGNIFICADOS. **Significado de Smartphone**. Disponível em: <<http://www.significados.com.br/smartphone/>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

SILVA, A. R. E. DA. **Optimização da recolha de resíduos urbanos**. Portugal: Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2009.

SILVA, H. D. P. DA. **Aplicação de ferramentas WEBSIG e algoritmos VRP no planeamento de rotas de recolha de resíduos urbanos: Caso de estudo: Penafiel**. Vila Real, Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2013.

TENESACA, J. W. C.; AGUIRRE, K. E. P. **Optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG**. B.S. thesis—Cuenca, Equador: Universidad de Cuenca, 2015.

8 ANEXO A – TABELA DE ATRIBUTOS DOS ARQUIVOS

Quadro 12 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos *Orders*.

Campo	Tipo	Descrição
Name	Texto	Nome do estabelecimento de saúde
ServiceTime	Número	Tempo em necessário para executar a coleta
TimeWindowStart1	Data/hora	Início da primeira janela de tempo
TimeWindowEnd1	Data/hora	Fim da primeira janela de tempo
TimeWindowStart2	Data/hora	Início da segunda janela de tempo
TimeWindowEnd2	Data/hora	Fim da segunda janela de tempo
MaxViolationTime1	Número	Tempo máximo de violação da primeira janela de tempo
MaxViolationTime2	Número	Tempo máximo de violação da segunda janela de tempo
InboundArriveTime	Data/hora	Horário de chegada no estabelecimento, se houver algum.
OutboundDepartTime	Data/hora	Horário de partida no estabelecimento, se houver algum.
DeliveryQuantities	Número	Quantidade de material a ser entregue no estabelecimento (no caso da coleta de resíduos o valor é nulo).
PickupQuantities	Número	Quantidade de resíduos a ser coletada no estabelecimento de saúde.
AssignmentRule	Número	Número que indica como o estabelecimento de saúde deve ser tratado na roteirização (incluir, excluir, etc.).
CurbApproach	Número	Número que indica como o veículo deve se aproximar do estabelecimento e saúde (coleta pela lateral direita ou esquerda, de ré, sem restrição, etc.)
RouteName	Texto	Atribui aquele estabelecimento a uma rota específica.
Sequence	Número	Número que indica a ordem do estabelecimento dentro da rota

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Quadro 13 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos *Routes*.

Campo	Tipo	Descrição
Name	Texto	Nome da rota.
StartDepotName	Texto	Nome do local de partida.
EndDepotName	Texto	Nome do local de chegada (encerramento).
StartDepotServiceTime	Número	Tempo de serviço para iniciar a rota.
EndDepotServiceTime	Número	Tempo de serviço para encerrar a rota.
EarliestStartTime	Data/hora	Data e horário para início da rota.
LatestStartTime	Data/hora	Data e horário para início da rota com atraso.
Capacities	Número	Capacidade do veículo.
FixedCost	Número	Custos fixos.
CostPerUnitTime	Número	Custos por unidade de tempo das horas de trabalho.
CostPerUnitDistance	Número	Custos por unidade de distância.
OvertimeStartTime	Número	Tempo acumulado a partir do qual se começa a contar as horas extras de trabalho
CostPerUnitOvertime	Número	Custo por unidade de tempo das horas de trabalho extras.
MaxOrderCount	Número	Número máximo de estabelecimentos atendidos na rota.
MaxTotalTime	Número	Tempo total máximo permitido.
MaxTotalTravelTime	Número	Tempo de deslocamento máximo permitido.
MaxTotalDistance	Número	Distância total máxima permitida.
SpecialtyNames	Texto	Texto para indicar uma necessidade especial da rota (por exemplo, pode indicar que aquela rota só pode ser feita com um caminhão especial tipo basculante, etc.).
AssignmentRule	Texto	Uma descrição para definir quando a rota deve ser considerada ou desconsiderada no VRP (“Incluir” ou “Excluir”).

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Quadro 14 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos *RouteRenewals*.

Campo	Tipo	Descrição
DepotName	Texto	Nome do depósito onde a renovação deve acontecer.
RouteName	Texto	Nome da rota para a qual a renovação se aplica.
ServiceTime	Número	Tempo necessário para descarregar o veículo.

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Quadro 15 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos *Breaks*.

Campo	Tipo	Descrição
RouteName	Texto	Nome da rota onde a pausa será executada.
Precedente	Número	Valor usado para sequenciar as pausas, no caso de haver mais de uma pausa na rota.
ServiceTime	Texto	Duração da pausa.
TimeWindowStart	Data/hora	Data e horário para iniciar a pausa.
TimeWindowEnd	Data/hora	Data e horário para encerrar a pausa.
MaxViolationTime	Número	Tempo máximo de violação da pausa para a janela de horário definida.
MaxTravelTimeBetweenBreaks	Número	Tempo de deslocamento máximo que pode ser acumulado antes de iniciar uma pausa. Este campo deve ser usado quando se quer limitar quanto tempo o motorista pode dirigir sem parar.
MaxCumulWorkTime	Número	Tempo de trabalho máximo que pode ser acumulado antes de iniciar uma pausa.
IsPaid	Número	Número binário: 0 – pausa não remunerada; 1 – pausa remunerada.
Sequence	Número	Valor que indica a ordem que a pausa foi sequenciada naquela rota a qual foi designada.

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

Quadro 16 - Descrição dos campos das tabelas de atributos nos arquivos *Depots*.

Campo	Tipo	Descrição
Name	Texto	Nome local de partida e retorno dos veículos.
TimeWindowStart1	Data/hora	Início da primeira janela de tempo.
TimeWindowEnd1	Data/hora	Fim da primeira janela de tempo.
TimeWindowStart2	Data/hora	Início da segunda janela de tempo.
TimeWindowEnd2	Data/hora	Fim da segunda janela de tempo.
CurbApproach	Número	Número que indica como o veículo deve se aproximar do estabelecimento e saúde (coleta pela lateral direita ou esquerda, de ré, sem restrição, etc.).

Fonte: Adaptado de ESRI (2018).

9 ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Quadro 17 - Classificação dos resíduos de serviços de saúde.

Nome	Definição
GRUPO A	Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.
GRUPO B	Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.
GRUPO C	Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.
GRUPO D	Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
GRUPO E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

Fonte: Adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA 358/05.

Quadro 18 - Classificação dos RSS do Grupo A.

Subgrupo	Definição
A1	<p>culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética;</p> <p>resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido;</p> <p>bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta;</p> <p>sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;</p>
A2	<p>carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anátomo-patológico ou confirmação diagnóstica;</p>
A3	<p>peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou familiares;</p>
A4	<p>kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados;</p> <p>filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares;</p> <p>sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou microrganismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons.</p> <p>resíduos de tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo;</p> <p>recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenha sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;</p> <p>peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anátomo-patológicos ou de confirmação diagnóstica;</p> <p>carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações;</p> <p>bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão.</p>
A5	<p>órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons.</p>

Fonte: Adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA 358/05.