

**ROTEIRIZAÇÃO DOS VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SIG**

**RELATÓRIO FINAL DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

PROJETO: 800353/2018-8 / PROCESSO: 167221/2018-3

**Natan Ruan Machado da Costa (UFRGS, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: natan.ruan@ufrgs.br**

**Dr. Jean P.H.B Ometto (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: jean.ometto@inpe.br**

**Victor Fernandez Nascimento (UFRGS/CEPSRM, Coorientador)
E-mail: victor.nascimento@inpe.br**

Julho de 2019

Dedicatória

À minha irmã mais velha, Paula, que sempre acreditou em mim. Ela é um exemplo de dedicação e personalidade e nunca me deixou desistir de lutar e de correr atrás dos meus objetivos. À minha mãe, que arca com todas as minhas despesas e me apoia sempre nas minhas decisões.

Agradecimentos

Ao meu orientador Victor Fernandez Nascimento e aos doutorandos do Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM) do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo grande apoio e ajuda durante a elaboração do estudo.

À minha mãe e toda a minha família.

A todos os meus amigos.

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivo	2
2.1. Objetivo Geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Referencial Teórico	2
3.1. Contextualização do Problema	2
3.2. Geoprocessamento	5
3.3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG's)	6
3.4. Roteirização	6
4. Metodologia	7
4.1. Primeiras ações	7
4.2. Vetorização e ajustes	8
4.3. Produção de nós	9
4.4. <i>Network Analyst</i>	11
4.5. Roteirização	12
5. Resultados	20
5.1. Barra do Ribeiro	20
5.2. Novo Hamburgo	22
6. Conclusão	23
7. Referências	24

Lista de Ilustrações

Figura 01 - Mapa de localização dos municípios de Barra do Ribeiro e Novo Hamburgo.	7
Figura 02 - Ilustração do processo de vetorização realizado no município de Barra do Ribeiro. À esquerda, o banco de dados do ArcGIS, e à direita a malha viária do município com a vetorização já realizada.	9
Figura 03 - Malha viária de Barra do Ribeiro com o processo de produção de nós já concretizado.	10
Figura 04 - Visualização dos nós na malha viária de Novo Hamburgo.	11
Figura 05 - Menu de configurações da janela VRP e o <i>layer</i> da ferramenta <i>Network Analyst</i> , respectivamente.	12
Figura 06 - Demonstração dos pontos de visita distribuídos na malha viária de Barra do Ribeiro no cenário de 50 pontos.	14
Figura 07 - Rota calculada com a distribuição de 50 pontos na malha viária de Barra do Ribeiro.	15
Figura 08 - Rota calculada com a distribuição de 100 pontos na malha viária de Barra do Ribeiro.	16
Figura 09 - Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos.	17
Figura 10 - Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos.	18
Figura 11 - Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos.	19
Figura 12 - Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos.	20

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultados obtidos no processo de roteirização no município de Barra do Ribeiro.	21
Tabela 2 - Resultados obtidos no processo de roteirização no município de Novo Hamburgo.	22

Lista de Siglas e Abreviaturas

CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GIS	<i>Geographic Information System</i>
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG's	Sistema de Informação Geográfica
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>

Resumo

O aumento da produção de RSU no mundo é consequência direta do crescimento da população e do consumo exacerbado de produtos e serviços. A cada ano se produz mais RSU, os quais precisam ser corretamente coletados e transportados. Esta etapa do gerenciamento dos RSU que aborda a coleta e o transporte de resíduos das cidades até um aterro sanitário é uma das etapas que mais consomem recursos financeiros, além de causar danos ao meio ambiente através das emissões de gases do efeito estufa. Esta pesquisa tem como princípio fundamental a análise de otimização de rotas dos veículos de coleta de RSU para dois municípios no estado do Rio Grande do Sul, um de pequeno porte e outro de grande porte. Para isso foi utilizado a ferramenta *Network Analyst* dentro do ArcGIS para identificar as melhores rotas para veículos coletores. A partir desta informação foram estimados os custos e as emissões para realizar a coleta. Os cálculos feitos e os resultados encontrados para os dois municípios foram feitos com base em algumas considerações como, por exemplo, a quantidade de litros de combustível necessária por quilômetro rodado, o valor do diesel e a quantidade de dias de coleta durante um ano inteiro para estimar os valores anuais de gastos das prefeituras com as rotas geradas e os impactos envolvidos. A definição de caminhos mais curtos e a efetividade da coleta, caso haja a implantação do estudo, trará aos municípios escolhidos melhores serviços de limpeza pública e o recolhimento de RSU se tornará mais eficiente, barato e sustentável.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, coleta e transporte de resíduos, otimização de rotas.

1. Introdução

No Brasil, a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem aumentado significativamente nos últimos anos. A quantidade gerada em 2015 totalizou 79,9 milhões de toneladas, 1,7% a mais que no ano anterior (ABRELPE, 2016). Esse aumento é resultado do desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a revolução tecnológica que vêm sendo acompanhados por alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população, principalmente nos grandes centros urbanos.

Diariamente, são coletadas no Brasil entre 180 e 250 mil toneladas de RSU. A geração média de RSU é próxima de 1 Kg por habitante/dia no país, padrão similar ao de alguns países da União Europeia (GOUVEIA, 2012). Apesar das grandes diferenças internas do país, a produção de resíduos tem crescido em todas as regiões e estados brasileiros. Todos estes resíduos gerados precisam passar por um processo de gerenciamento adequado.

Há uma relação direta entre a quantidade de RSU e problemas ambientais. É por esse motivo que o gerenciamento de resíduos tornou-se nas últimas décadas uma medida extremamente necessária nas cidades do mundo inteiro. Embora a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) esteja ligada diretamente a queima de combustíveis fósseis, os RSU também contribuem negativamente para o acúmulo destes gases na atmosfera. Em 2016, o setor de resíduos foi responsável por 91,9 milhões de toneladas de dióxido de carbono emitidos, representando um aumento de 58% comparado ao ano de 2000 (SEEG, 2018).

Dentre as etapas de gerenciamento destacam-se os processos de coleta e transporte dos resíduos. Nesse contexto, a adequação e melhoria dessas etapas de gerenciamento tem um papel fundamental na redução dos impactos ambientais. A coleta e o transporte dos RSU desde as residências até o aterro, por exemplo, se feita de forma a reduzir o trajeto pode não somente diminuir os custos com combustível como também minimizar as emissões de GEE.

Os serviços de limpeza pública absorvem entre 7% e 15% dos recursos do orçamento municipal, dos quais 50% são destinados à coleta e ao transporte dos RSU (SARKIS, 2000). Os custos de transporte dos RSU podem ser classificados em custo administrativo (despesas com salários e serviços), custo de capital (depreciação dos bens ativos e da remuneração de investimento do capital empregado) e custo operacional (despesas com peças, acessórios e o consumo de combustível). Em 2010, foram recolhidos cerca de 54 milhões de toneladas de

RSU no Brasil gerando um custo de aproximadamente 7 bilhões de reais aos cofres públicos na despesa com serviços de logística dos RSU (ABRELPE, 2010).

O uso de ferramentas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) são de tamanha importância na otimização de rotas de transporte. O uso dessa geotecnologia de informação espacial, associada às variáveis relacionadas às estradas (geometria horizontal e vertical, qualidade da superfície da pista, largura, etc), possibilita maior precisão na tomada de decisão devido a possibilidade de geração de rotas ótimas embasadas nas informações referentes às vias que podem ser utilizadas.

2. Objetivo

2.1. Objetivo Geral

Verificar a eficiência da ferramenta *Network Analyst* do *software* ArcGIS na determinação de rotas ótimas nos serviços de coleta de RSU para dois municípios de portes diferentes localizados no estado do Rio Grande do Sul.

2.2. Objetivos específicos

- Melhorar a eficiência da coleta dos RSU;
- Propor novas rotas que diminuam os custos da coleta e transporte dos RSU;
- Propor novas rotas que diminuam os impactos ambientais gerados pela emissão de GEE produzidas pelos caminhões coletores;

3. Referencial Teórico

3.1. Contextualização do Problema

O transporte e disposição final dos RSU é um problema mundial. O crescente aumento do número de habitantes no planeta tem agravado ainda mais essa situação, associado a concentração das populações nas cidades impossibilitando a capacidade natural da Terra em absorver os RSU. Em 2016, das 71,3 milhões de toneladas produzidas no Brasil de RSU, cerca de 91% foi recolhido pelos veículos de coleta (ABRELPE, 2016). Todavia, mesmo

havendo coleta em grande parte dos municípios brasileiros, a eficiência durante esta etapa do gerenciamento ainda não é adequada. Um dos principais problemas provocados é a emissão de GEE na atmosfera durante o processo de coleta dos resíduos. O sistema de transporte de RSU, por exemplo, em grande parte dos municípios brasileiros é feita de forma aleatória e sem nenhum tipo de estudo que identifique as melhores rotas a serem percorridas, isso implica, muitas vezes, em um custo maior às prefeituras e a queima desnecessária de combustíveis fósseis pelos caminhões que em sua maioria são movidos a diesel.

O município de Barra do Ribeiro/RS, que foi a cidade de pequeno porte escolhida neste estudo, possui um gerenciamento de RSU deficiente. O município possui 728 km² de extensão e 13.459 habitantes (SEBRAE, 2017). No plano de Gerenciamento Integrado de RSU da prefeitura, realizado em 2012, foram apontados vários problemas e alternativas para melhorias no sistema de limpeza urbana do município.

Uma das questões apontadas foi o acúmulo e deposição de lixo nas margens do Arroio Ribeiro (esses resíduos são provenientes de podas, restos de obras, demolições, até mesmo mobília em desuso). Este evento ocorre, conforme descrito no documento, porque esses materiais não são recolhidos pelos caminhões de coleta. Segundo a prefeitura, a falta de verbas é o principal motivo para esse tipo de problema. Uma vez que apenas 10% do orçamento anual, aproximadamente dezenove milhões de reais, é destinado para investimentos em estradas, saneamento, cultura, esporte, turismo, agricultura, administrativo, limpeza urbana, lazer, etc (Prefeitura Municipal de Barra do Ribeiro, 2011).

De acordo com informações do Sr. José Carlos Santa Helena, ex-secretário municipal de obras, são geradas cinco toneladas de RSU por mês. Ele relata que o município de Barra do Ribeiro, além da equipe terceirizada que recolhe e transporta o RSU, possui uma equipe de quatro garis, que fazem a varrição das ruas, três operários, que trabalham em poda e capina e um caminhão com motorista e dois operários que fazem a coleta e transporte dos resíduos. Segundo ele, este número de servidores é insuficiente para atender a demanda dos serviços de limpeza urbana de forma satisfatória.

Em 2012, a administração do município propôs a sua inserção ao consórcio intermunicipal para a utilização do aterro de Minas do Leão, que está localizado a aproximadamente 100 km de Barra do Ribeiro. Mesmo arcando com os custos do longo transporte dos RSU esta opção seria financeiramente mais viável do que construir e operar um aterro sanitário individual. Porém, uma análise da melhor rota de coleta e transporte dos RSU nunca foi realizada para o município, o que poderia melhorar a eficiência desta etapa.

Em Novo Hamburgo, cidade de grande porte escolhida neste estudo, o Plano de Gerenciamento de RSU do município evoluiu muito ao longo dos anos. Em 1927, quando ocorreu sua emancipação, a prefeitura deu início aos serviços de coleta de resíduos nas residências. No primeiro momento, o descarte foi feito em zonas da periferia distantes do centro urbano. O primeiro local de destinação foi na atual rua Oswaldo Cruz, conhecida, na época, como Rua da Limpeza. No final da década de 1960 e início dos anos 1970, os RSU passaram a ser levados para um lixão (locais sem nenhum controle ambiental em relação a infiltração de chorume no solo, contaminação do lençol freático, etc) na rua Guia Lopes. Ao decorrer dos anos, foram criados mais quatro lixões em diferentes locais, dentre eles o lixão Buraco do Raio, que teve sua área recuperada recentemente com a construção de uma praça pública; o lixão de Vila Kroeff, que foi projetado na área pertencente ao sistema híbrido do Rio dos Sinos; e o lixão de Roselândia, que atualmente é a estação de transbordo do município. Roselândia funcionou até 2007 e era considerado, na época um aterro, por não possuir córregos nas suas proximidades e pelo lençol freático estar a uma distância razoável da considerada área de contaminação.

Atualmente a gestão de Novo Hamburgo está tentando se adaptar à Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada em 2010. A PNRS tem como princípio o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor da cidadania. A nova política tem como objetivos a não-geração, a redução e o destino correto dos RSU. Novo Hamburgo possui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, elaborado em 2012 pela equipe do Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio do Sinos, Pró-Sinos.

Os serviços de coleta de Novo Hamburgo é terceirizado há mais de 20 anos. Atualmente, a empresa responsável pela coleta, transporte e destinação de RSU é a Mecapina. De acordo com estudo realizado pelo Pró-Sinos, os habitantes da cidade geram em média 180 toneladas de resíduos domésticos diariamente (PRÓ-SINOS, 2012). O município possui uma população de 239.051 habitantes ao longo de 223,6 km², que geram cerca de 0,75 kg/dia de resíduo por habitante (FEE, 2010).

Esses RSU de Novo Hamburgo são encaminhados para o aterro de Minas do Leão, mesmo aterro utilizado pelo município de Barra do Ribeiro. O aterro Central de Resíduos do Recreio, como é chamado, atende um total de 140 municípios no estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, Novo Hamburgo não possui serviço de coleta seletiva tradicional, alternando dias para coleta de resíduos secos e dias para a coleta de resíduos orgânicos. Desde 2010, foi implantado o serviço dos catadores individuais (coleta seletiva solidária), que passam na porta

das casas recolhendo os resíduos recicláveis. Porém essa é uma realidade vista, principalmente nas áreas centrais. Portanto, o tipo de coleta que ocorre na maior parte do município é mista, ou seja, os moradores descartam os resíduos orgânicos e inorgânicos juntos.

Esses RSU, tanto os de coleta mista quanto os recolhidos pela coleta seletiva nas zonas centrais de Novo Hamburgo, vão para a estação de transbordo, como já comentando, onde era o antigo lixão de Roselândia. Lá os catadores, vinculados ao projeto CataVida, realizam a separação dos materiais recicláveis. A coleta mista acarreta alguns problemas com a chegada de RSU misturados e sujos, dificultando o processo de separação e desvalorizando os materiais. Estima-se que cerca de 50% dos resíduos da coleta mista são enviados diretamente para Minas do Leão.

Além dos impactos causados pelo acondicionamento de RSU de forma inapropriada existe uma grande taxa de degradação da qualidade do ar atmosférico provocada pela emissão de carbono liberado a partir da combustão de combustíveis fósseis em veículos. O óleo diesel, usado nos caminhões de coleta, é o combustível que mais tem colaborado para as emissões de GEE no Brasil, principalmente o dióxido de carbono. Além de ter um grande potencial poluente, o diesel tem encarecido bastante nos últimos anos, elevando os custos das prefeituras. Tanto Barra do Ribeiro quanto Novo Hamburgo não recebem um orçamento suficiente para atender a demanda de serviços de limpeza urbana de modo totalmente satisfatório. Nesse contexto, a utilização dos SIG's na resolução de problemas de transporte de veículos tem se tornado cada vez mais importante. A roteirização, por exemplo, é um processo de definição de roteiros e itinerários marcados pela agilidade, eficiência e otimização a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos.

3.2. Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de técnicas computacionais relacionadas com a coleta, armazenamento e tratamento de informações espaciais ou georeferenciadas, para serem utilizadas em sistemas específicos a cada aplicação que, de alguma forma, se utiliza de espaço físico geográfico (RONZANI, 2001). Ele atua de forma a desenvolver dados geográficos para resoluções de problemas de várias áreas distintas.

O geoprocessamento permite o processamento de um maior volume de dados, a sobreposição de dados de diversas fontes, maior velocidade no processamento de dados e a utilização de algoritmos mais complexos no tratamento destes dados (FRANCISCO, 2008).

3.3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG's)

O SIG, ou GIS (*Geographic Information System*, em inglês) é a ferramenta principal do geoprocessamento, por meio dele são geradas informações a partir da integração e análise dos dados georreferenciados. A grande vantagem dos SIG's é a grande habilidade de executarem análises espaciais complexas, o que os distingue de outros sistemas capazes de gerar dados espaciais como os CAD's, por exemplo.

Nesse contexto, os SIG's são um poderoso aliado no processo de planejamento, organizando as informações correlatas sob a forma de uma base de dados espaciais no formato digital e disponibilizando um vasto elenco de recursos avançados para simulação e otimização. Por exemplo, problemas de transporte são modelados utilizando-se uma estrutura de redes por onde os recursos escoam. Uma rede é uma representação gráfica baseada em feições lineares – arcos – às quais se associam valores. Esses valores podem representar distâncias, custos, tempo, ganhos, despesas ou outros atributos que se acumulem linearmente ao longo do percurso da rede. A soma desses valores entre a origem e o destino pode, então, ser minimizada, aumentando-se assim a eficiência da logística de transporte.

3.4. Roteirização

Uma das aplicações dos SIGs são as funções de roteirização ou caminho ótimo ou econômico em modelos de dados configurados topologicamente para representar redes de transporte. O principal benefício dessas funções, comparando-se com outros métodos, é a utilização dos percursos espacializados ou mapas digitais devidamente editados em um SIG, simplificando o processo de tomada de decisão na seleção das melhores alternativas econômicas e logísticas. O uso da roteirização tem alcançado as mais diversas áreas do mercado, com aplicações desde a área de escoamento de madeira para a produção de celulose (OLIVEIRA, 2015) até a entrega de encomendas em diversas lojas de diferentes áreas (GILBERT, 2016).

4. Metodologia

4.1. Primeiras ações

O procedimento inicial do projeto foi a escolha dos locais de estudo. Escolheu-se, portanto, Barra do Ribeiro como município de pequeno porte, localizado em direção ao sul do estado do Rio Grande do Sul, e Novo Hamburgo como cidade de grande porte, situada na Região Metropolitana de Porto Alegre (**Figura 01**). Os municípios foram escolhidos com base no número de habitantes e nos índices de urbanização, portanto, não foi considerada a extensão territorial. A decisão levou em consideração locais de fácil acesso para que fosse possível a realização de eventuais visitas à campo para se obter as rotas reais de coleta dos RSU utilizadas pelos municípios e também para conversar com os responsáveis pelo gerenciamento dos RSU, assim como ao final do trabalho poder expor os resultados encontrados e propor se possível uma nova rota mais eficiente para a coleta dos RSU.

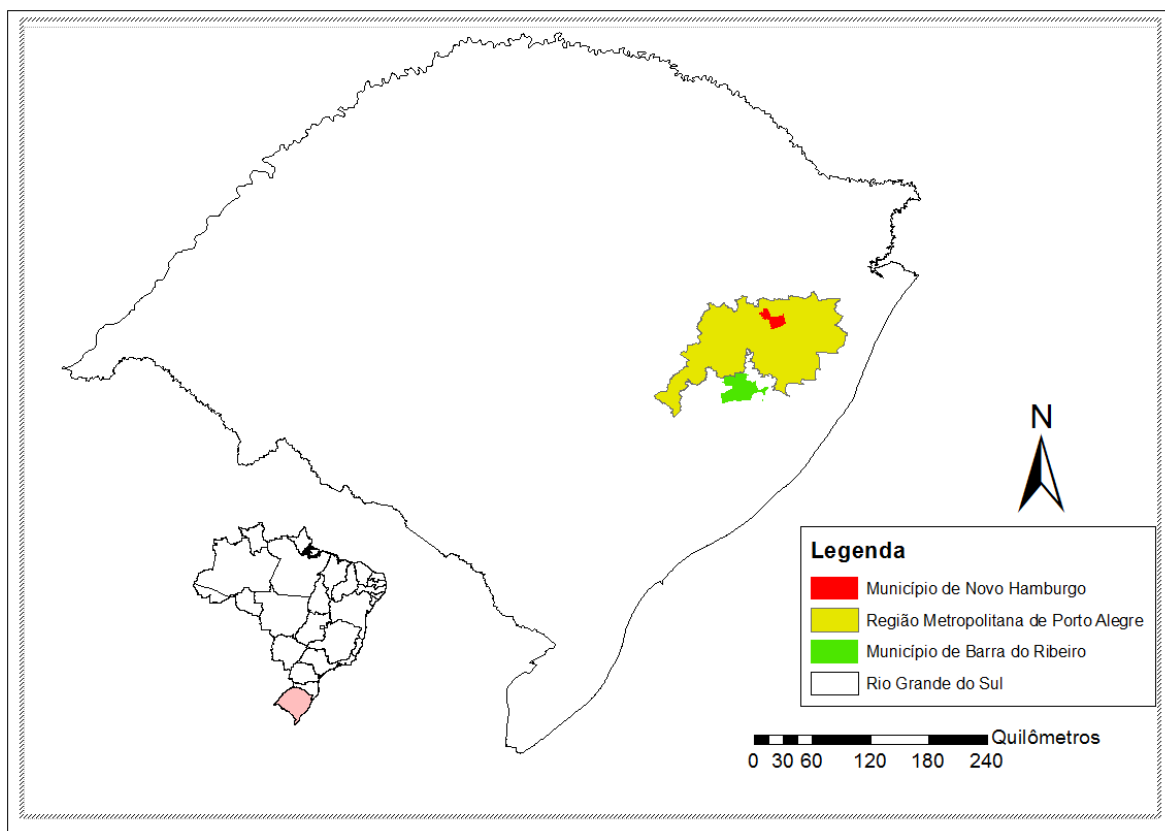


Figura 01 - Mapa de localização dos municípios de Barra do Ribeiro e Novo Hamburgo.

O segundo passo foi a realização de uma pesquisa aprofundada acerca da atual Gestão de RSU nos dois municípios. Além disso, ao longo do estudo foram necessárias várias pesquisas e a realização de tutoriais para a obtenção de conhecimento sobre a metodologia do processo da elaboração das rotas.

4.2. Vetorização e ajustes

A ferramenta utilizada nesse estudo foi o *software* ArcGIS, programa essencial na elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para uso e gerenciamento de bases temáticas. A primeira etapa de aplicação do *software* foi o ajuste da localização das ruas da cidade escolhida através do processo de vetorização (formato linha). Cruzou-se a localização das ruas e avenidas do banco de dados com o *shapefile* do sistema viário do município para identificação de possíveis falhas existentes, a fim de corrigi-las quando necessário através do processo de vetorização. Um bom processo de vetorização (linhas perfeitamente desenhadas) implica em uma boa execução da próxima fase, que depende exclusivamente da anterior. Os mapas, ilustrados na **Figura 02**, mostram o resultado do processo de vetorização descrito acima para o município de Barra do Ribeiro. O mesmo processo foi aplicado para o município de Novo Hamburgo.



Figura 02 - Ilustração do processo de vetorização realizado no município de Barra do Ribeiro. À esquerda, o banco de dados do ArcGIS, e à direita a malha viária do município com a vetorização já realizada.

4.3. Produção de nós

Quando decide-se fazer um cálculo de rotas em um software como o ArcGIS é necessário atribuir aos dados do programa os limites dos trechos da malha viária para que seja possível realizar o processo de roteirização. Neste estudo, por exemplo, como era preciso definir novas rotas de coleta para o município de Barra do Ribeiro e Novo Hamburgo não foi diferente. Portanto, após o processo de vetorização da malha viária dos dois municípios criou-se nós no fim e no cruzamento dos trechos da malha viária a fim de identificar para o software onde ocorria a bifurcação e término de cada trecho. A partir disso o programa pôde realizar o cálculo das rotas. Nas **Figuras 03 e 04** é apresentada a malha viária com o processo de produção dos nós já concretizado para os dois municípios.

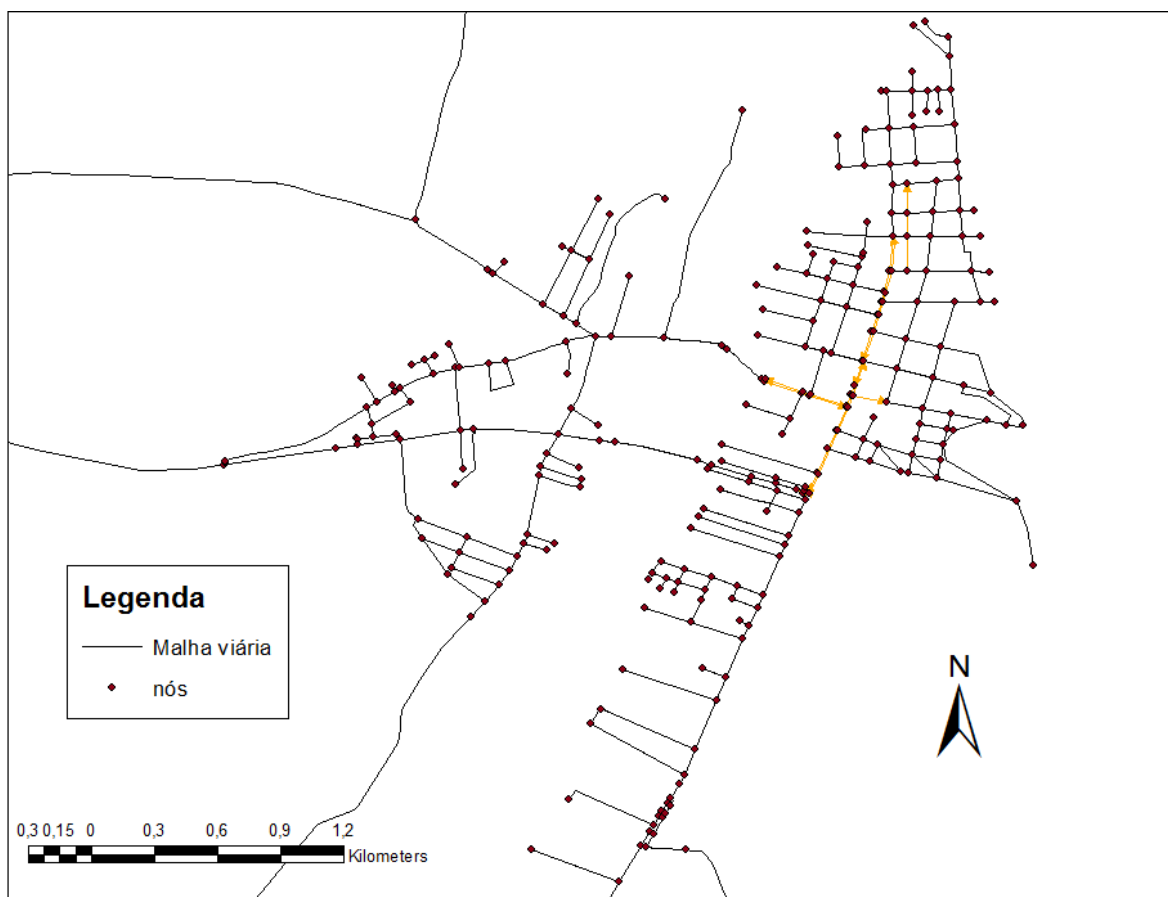


Figura 03 - Malha viária de Barra do Ribeiro com o processo de produção de nós já concretizado.

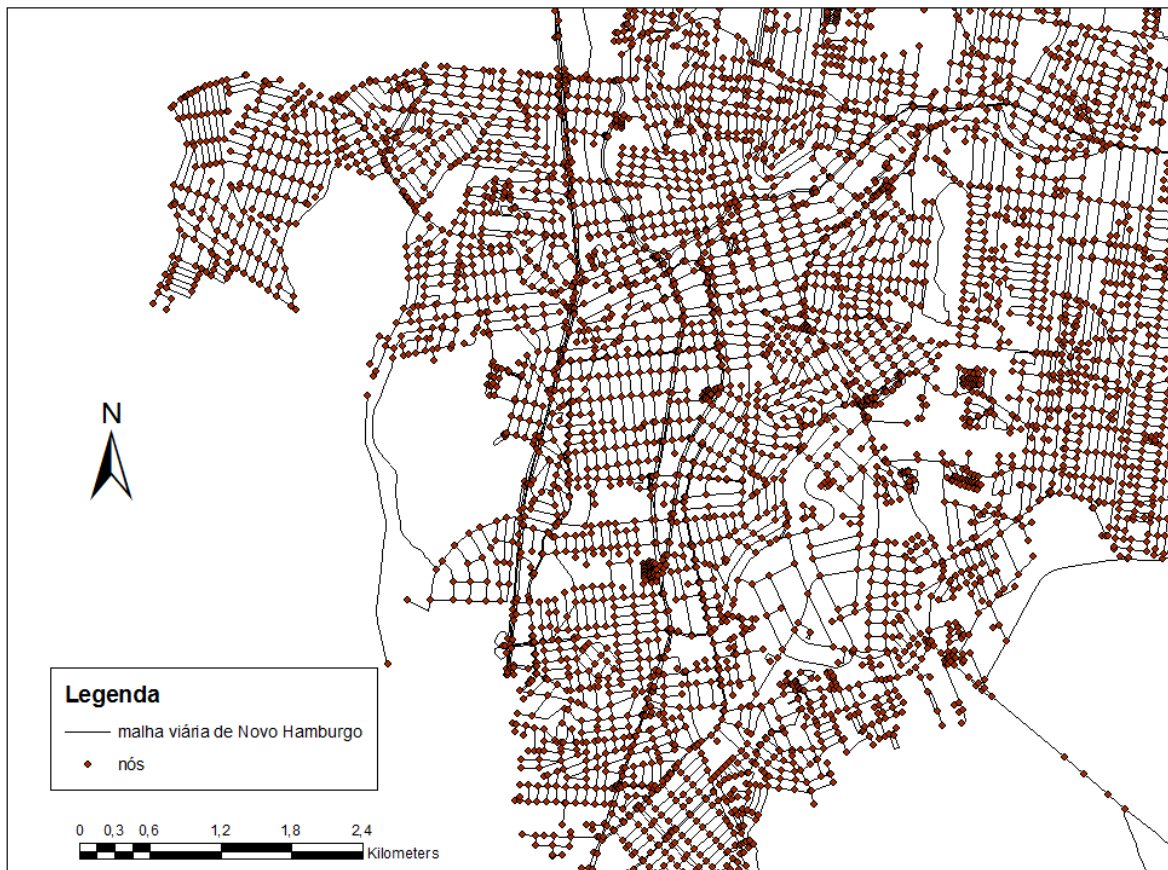


Figura 04 - Visualização dos nós na malha viária de Novo Hamburgo.

4.4. *Network Analyst*

A ferramenta utilizada para realizar a roteirização foi o *Network Analyst*. Dentro das opções de uso da ferramenta, foi utilizada a sua extensão do “problema de roteirização do veículo” (VRP, do inglês *Vehicle Routing Problem*) para selecionar quais as melhores rotas. Esse instrumento é responsável por solucionar problemas de maximização de rotas de veículos, buscando atingir destinos em menores distâncias e com menor tempo percorrido. A ferramenta conta com outras definições de rotas que têm finalidades distintas as que são objetivadas neste trabalho. A seguir (**Figura 05**) é apresentado um esboço da janela do VRP e do *Layer* do *Network Analyst* a serem configuradas.

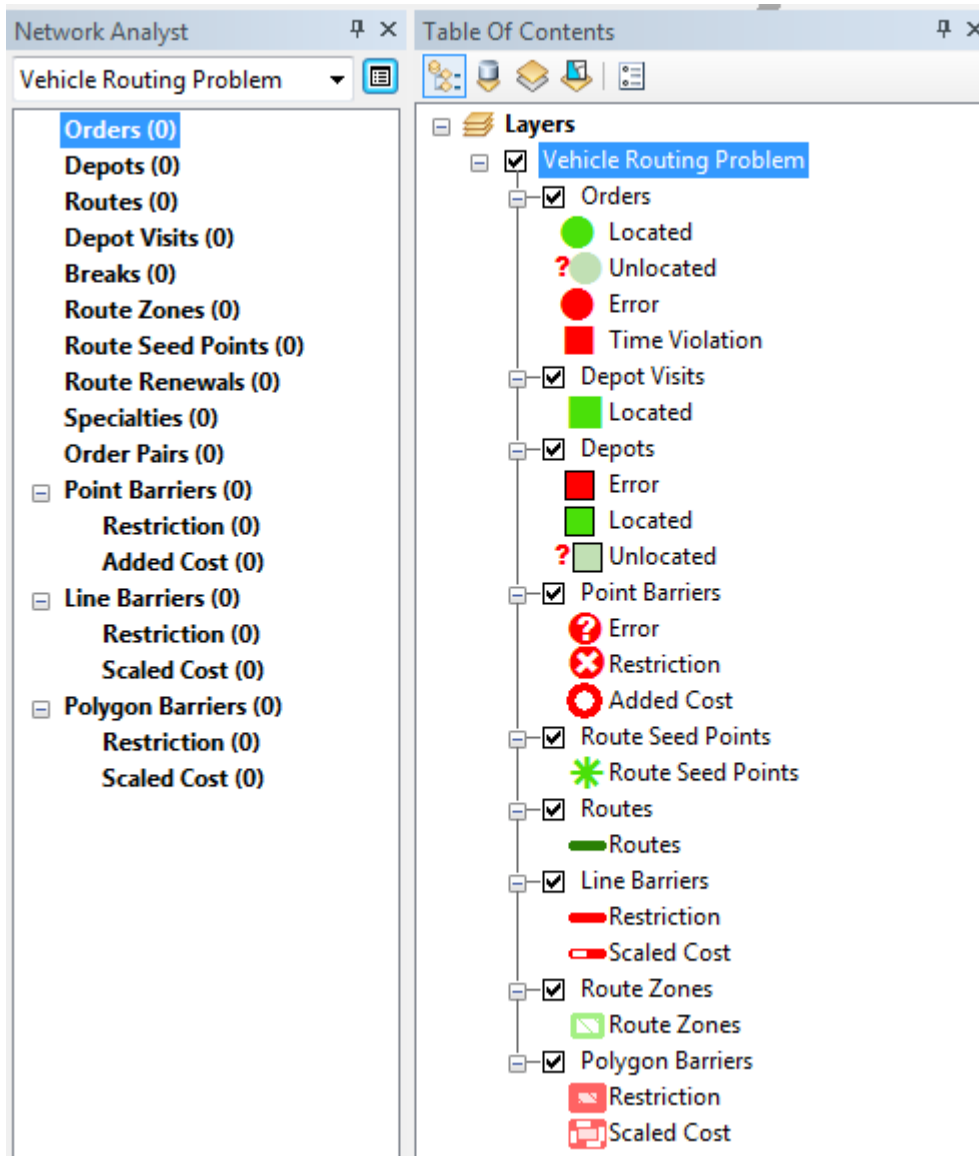


Figura 05 - Menu de configurações da janela VRP e o layer da ferramenta *Network Analyst*, respectivamente.

Dentre as definições solicitadas pelo software para realizar a roteirização destacam-se os *Depots*, local de saída e chegada do veículo que pode ser o mesmo ou diferente, os *Orders*, pontos de visita distribuídos aleatoriamente ao longo da malha viária e a definição *Routes*, na qual configura-se qual o caminho percorrido durante a rota a ser calculada.

4.5. Roteirização

A partir da configuração da ferramenta *Network Analyst* e extensão VRP, pôde-se realizar o cálculo de novas rotas, que percorreram todos os pontos de visita distribuídos ao longo da malha viária para os dois municípios. A distribuição dos pontos de visita pode ser vista com mais clareza na (Figura 06), onde foram arbitrados 50 pontos para a passagem do

caminhão de RSU durante a coleta. O processo de roteirização, portanto, foi realizado e o programa definiu através da tabela de atributos as distâncias percorridas e o tempo de deslocamento. As definições das rotas para os municípios foram feitas de modos diferentes. Primeiramente, em Barra do Ribeiro, foram arbitrados dois cenários distintos um com 50 pontos e outro com 100 pontos (**Figuras 07 e 08**) respectivamente.

Nas configurações do VRP, é possível configurar a rota para um tempo de serviço específico em horário comercial (foi definido o horário das 8h às 17h), essa rota passará pelos pontos de visita um por um até realizar a visita em todos os pontos e retornar ao ponto de saída arbitrado, que na maioria dos municípios é a Estação de Transbordo ou a garagem dos caminhões de lixo. Para Barra do Ribeiro o ponto de saída e de chegada (Depósito) foi arbitrado, pois não se conhecia o verdadeiro local. É fundamental, antes da operação do software para definir as rotas, que se informe as unidades de medidas padrão a qual deseja-se trabalhar: tempo em minutos e distância em metros (depois foi feita a conversão para quilômetros). Outro fator bastante importante é a atribuição do valor de velocidade no deslocamento. Como nesse estudo, a rota é para coleta, definiu-se a velocidade de 40 km/h para que fosse possível o recolhimento hipotético dos RSU pelos funcionários.

A seguir é apresentado cada cenário para que sejam feitas as devidas comparações.

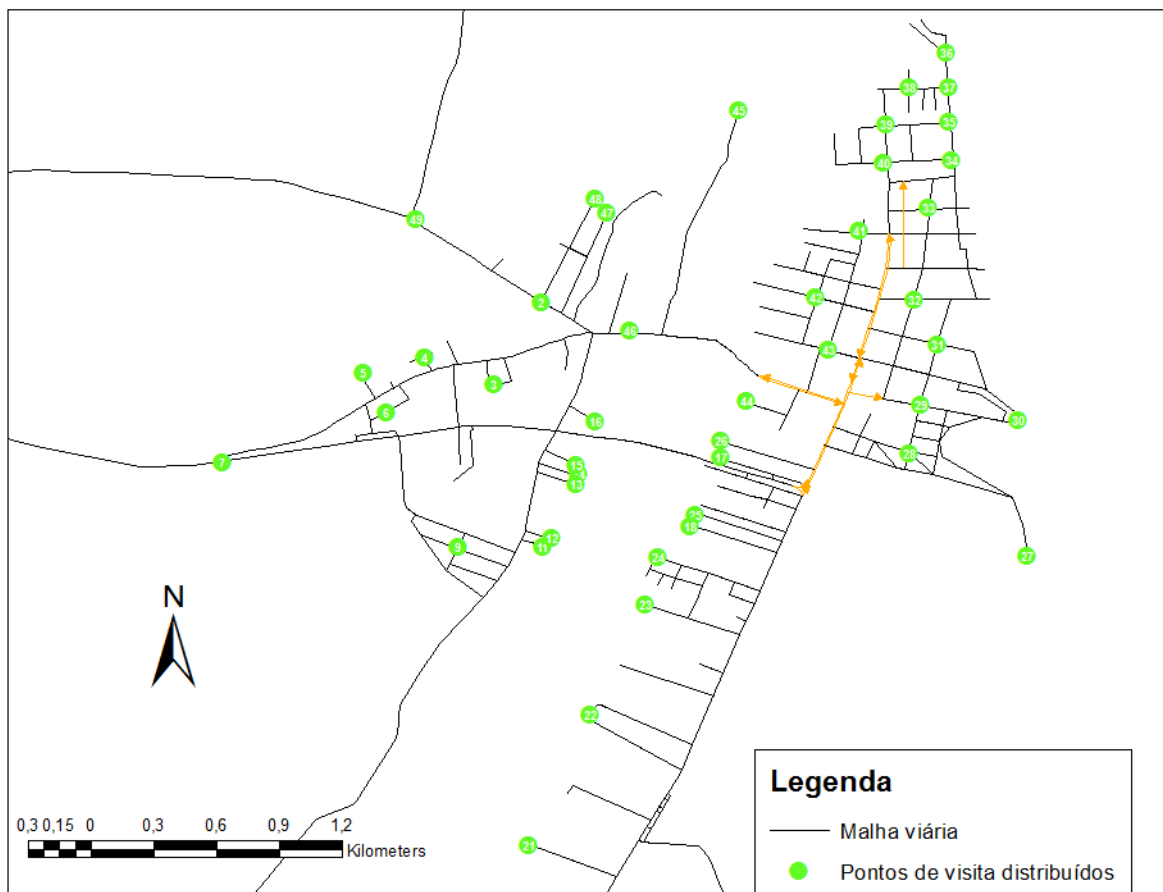


Figura 06 - Demonstração dos pontos de visita distribuídos na malha viária de Barra do Ribeiro no cenário de 50 pontos.

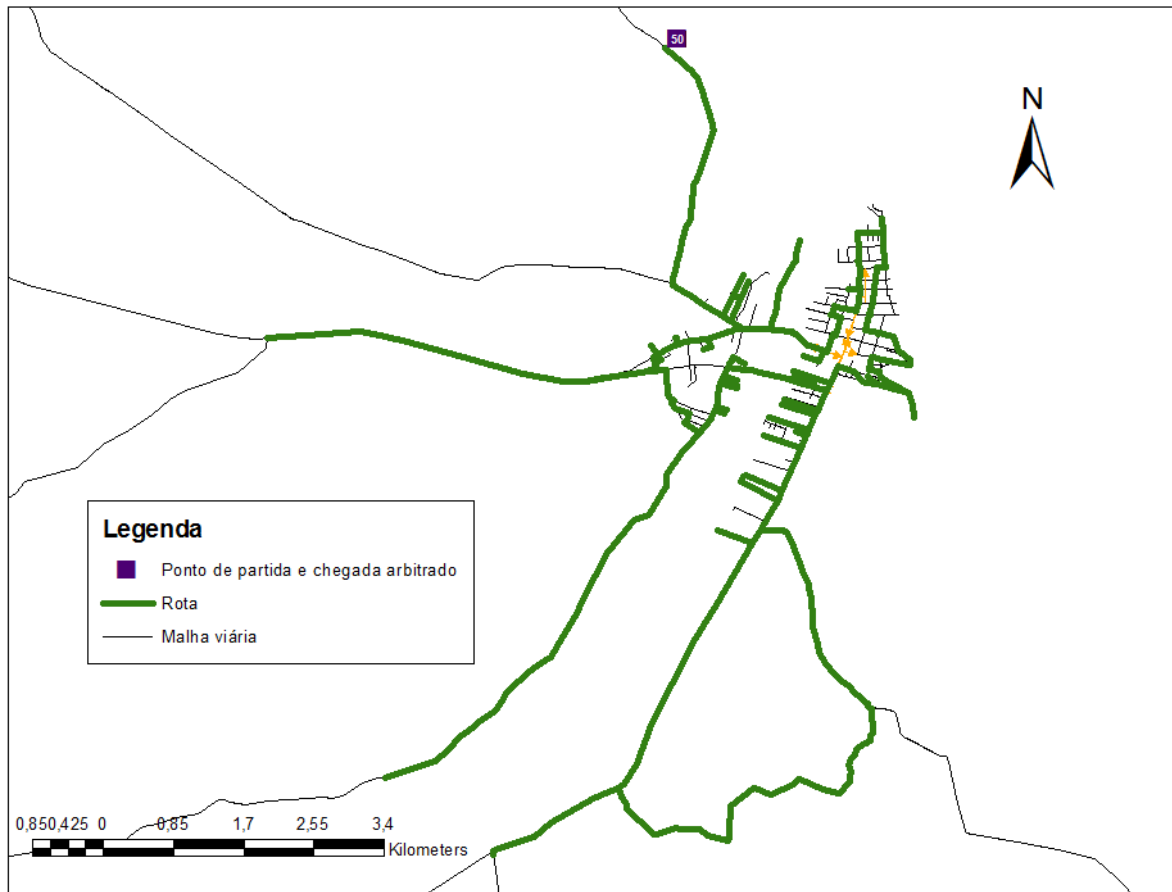


Figura 07 - Rota calculada com a distribuição de 50 pontos na malha viária de Barra do Ribeiro.

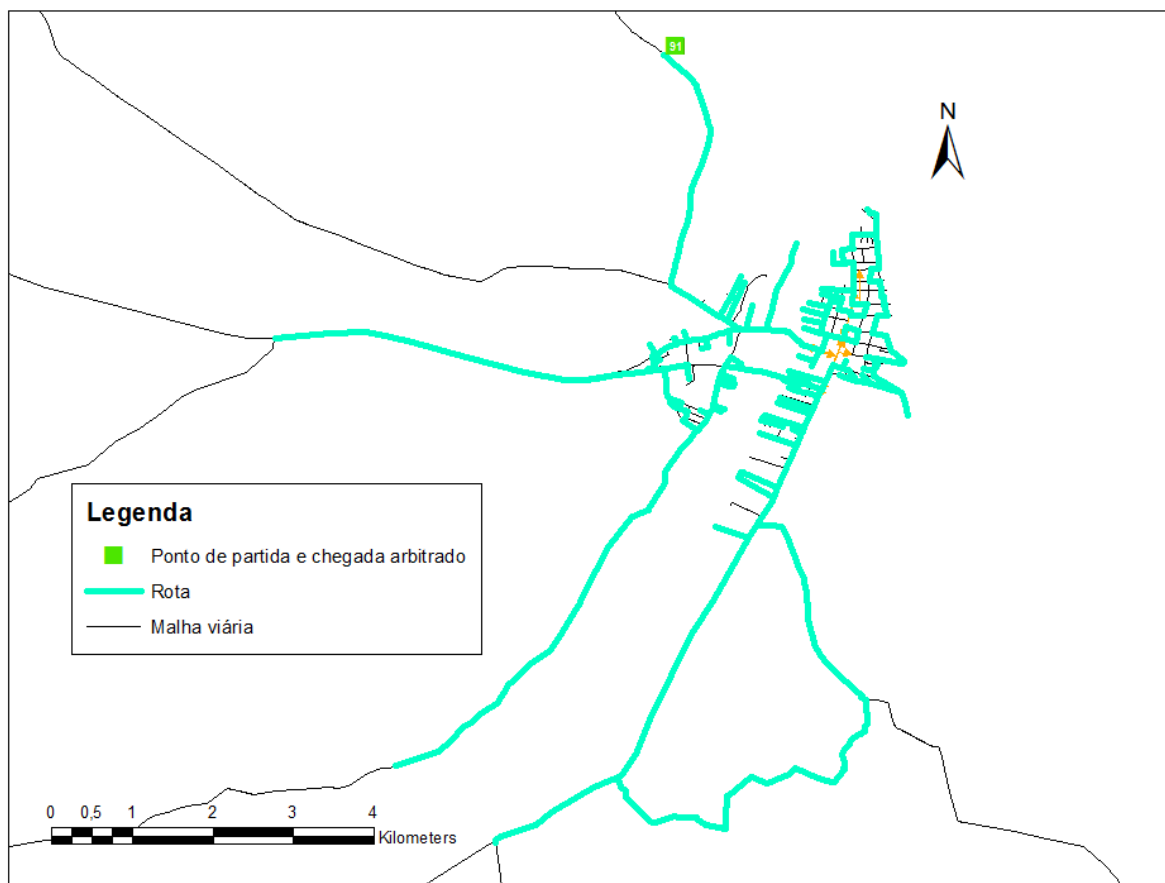


Figura 08 - Rota calculada com a distribuição de 100 pontos na malha viária de Barra do Ribeiro.

É importante destacar, que o depósito ou local de garagem do caminhão de lixo foi arbitrado aleatoriamente, pois não se encontrou nenhuma informação a respeito da sua localização em documentos a respeito do Plano de RSU de Barra do Ribeiro. Os pontos distantes da zona mais urbanizada da cidade foram mantidos para que não houvesse erro na comparação dos resultados encontrados.

Para o município de Novo Hamburgo, foram propostos quatro cenários distintos: o primeiro, com a rota de coleta somente da área urbana e com 100 pontos distribuídos; o segundo, também com o mesmo número de pontos somente que agora incluindo a zona rural da cidade com três pontos nessas áreas. Para o terceiro e quarto cenários, distribuíram-se 200 pontos de visita sendo que no terceiro cenário a coleta foi realizada somente para a área urbana e no quarto cenários esta área foi aumentada incluindo-se três pontos na zona rural. Os cenários descritos estão ilustrados nas (**Figuras 09, 10, 11 e 12**), respectivamente.

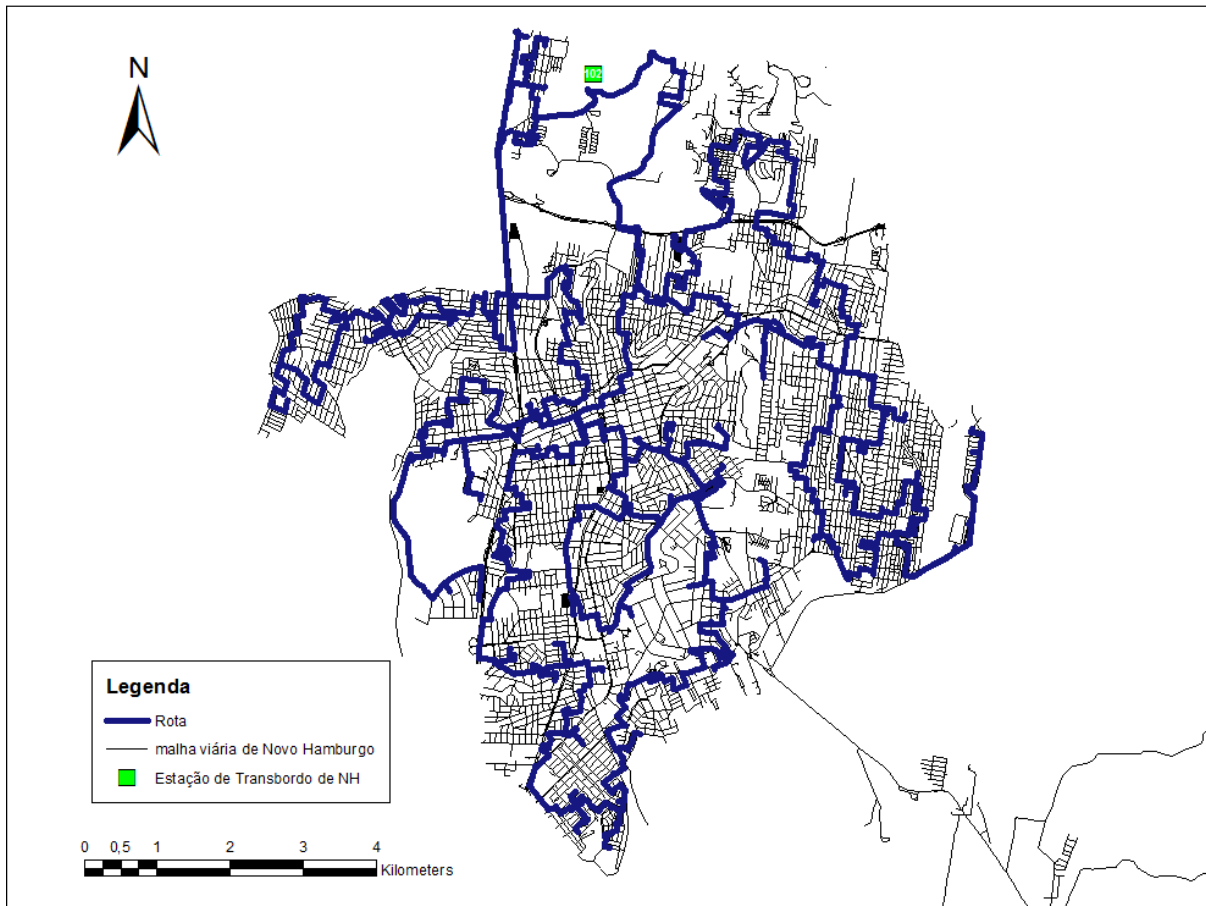


Figura 09 - Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos.

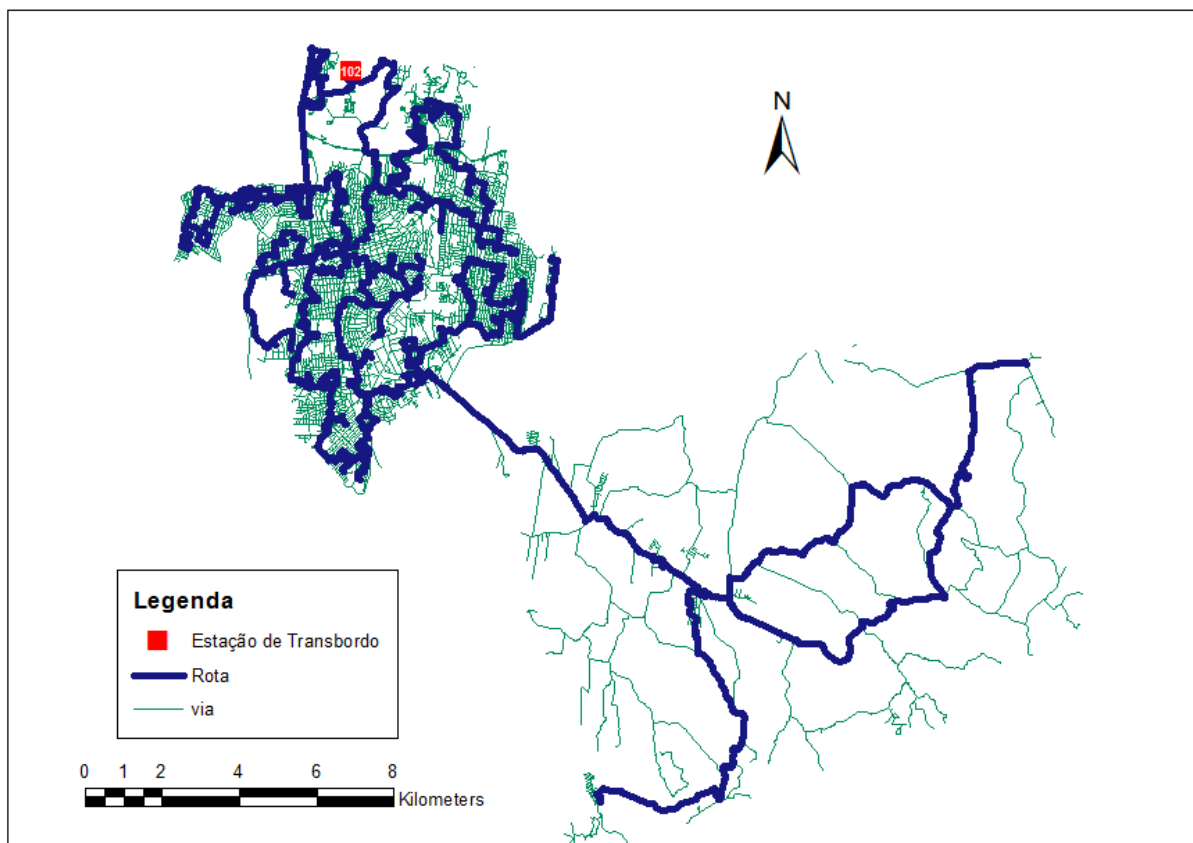


Figura 10 - Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 100 pontos.

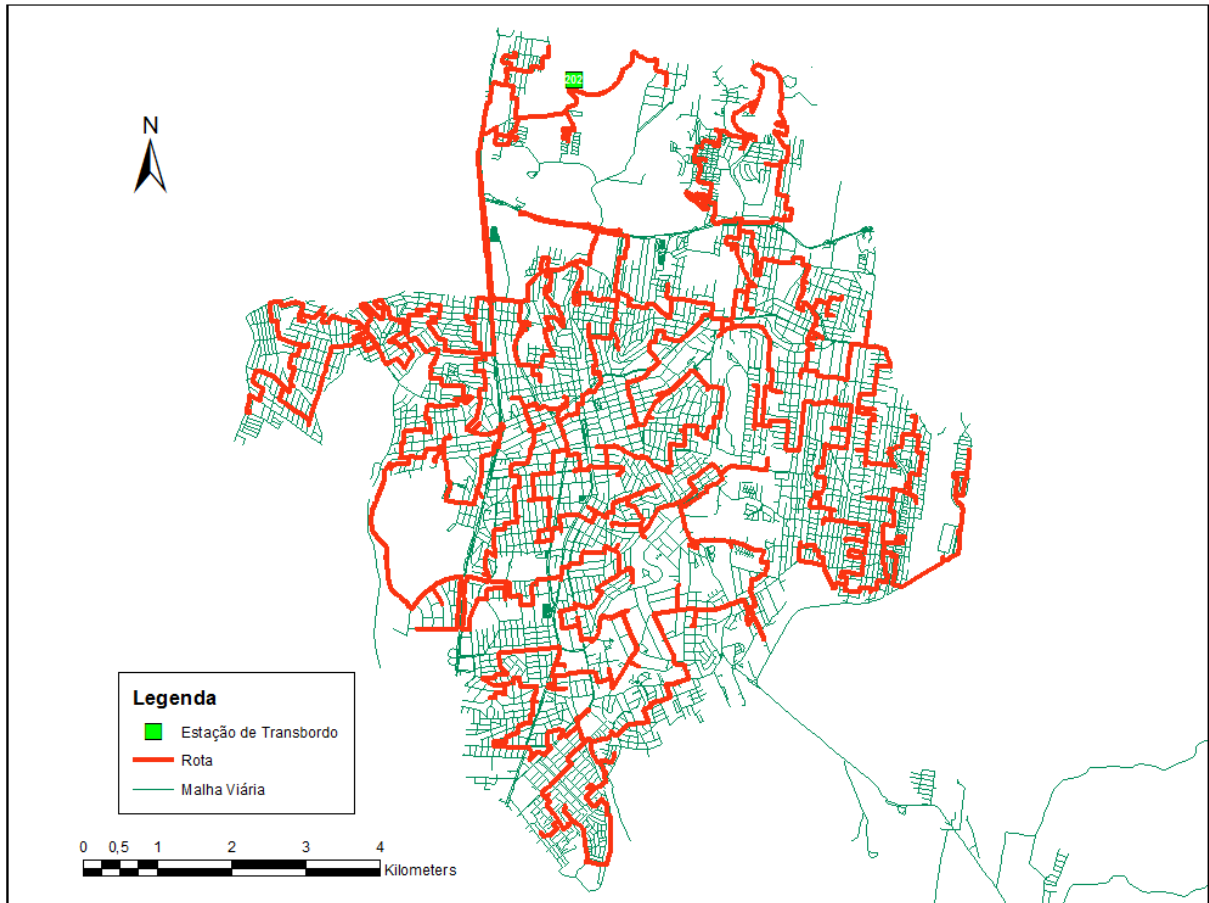


Figura 11 - Rota calculada para a área urbana de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos.

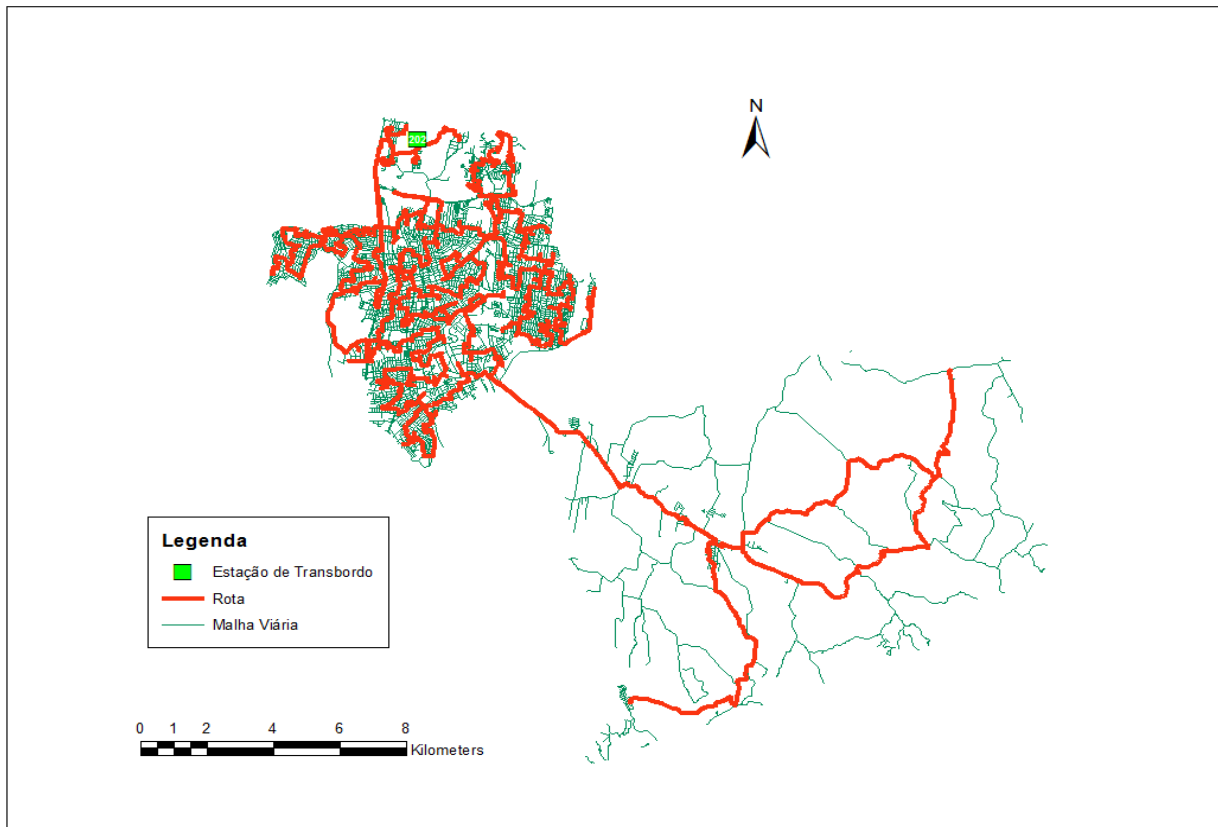


Figura 12 - Rota calculada para a área urbana e rural de Novo Hamburgo com distribuição de 200 pontos.

5. Resultados

5.1. Barra do Ribeiro

O cálculo das rotas em Barra do Ribeiro, como já mencionado antes, foi realizado arbitrando dois cenários diferentes. O primeiro com 50 pontos e o segundo com 100 pontos distribuídos dentro do território municipal. Na **Tabela 01** são mostrados os resultados obtidos nas rotas dos diferentes cenários além dos custos e das emissões de carbono envolvidos em cada um deles.

Tabela 01 - Resultados obtidos no processo de roteirização no município de Barra do Ribeiro.

Cenários	Nº de pontos distribuídos	Distância percorrida	Tempo de deslocamento	Quantidade de combustível diário	Custo diário	Custo anual	Emissões de Carbono (anual)
1	50	71,9 km	1h39min	28,770 L	R\$ 103,57	R\$ 17.399,76	12,9 toneladas
2	100	83,7 km	1h51min	33,481 L	R\$ 120,53	R\$ 20.249,04	15,0 toneladas

Para realizar os cálculos foram feitas as seguintes considerações: o valor do litro do diesel foi fixado em R\$3,60; um caminhão usual coletor de RSU consome 1 litro de combustível a cada 2,5 km percorridos; e para Barra do Ribeiro a coleta é feita três dias por semana.

Os resultados encontrados na **Tabela 01** foram obtidos através da tabela de atributos da ferramenta *Network Analyst* ao fim da elaboração das rotas. Esta tabela mostrou cada rua visitada, a quilometragem e o tempo no deslocamento. A partir desses dados, cálculos foram realizados, principalmente, para encontrar os custos. Após a distribuição dos pontos de visita pela malha viária, a tabela de atributos mostrou, então, o deslocamento total e o tempo total de 71,9 km, 1h39min e 83,7 km, 1h51min para o cenário 1 e o cenário 2, respectivamente. A partir disto e das considerações feitas no parágrafo anterior, calculou-se a quantidade de combustível para realizar a viagem, dividindo a quilometragem percorrida pelos 2,5 km feitos a cada litro, e obteve-se quanto custaria para abastecer o veículo coletor com diesel, multiplicando os litros de combustível pelos R\$ 3,60 que é o valor de cada litro. Ao final, somente multiplicou-se os valores de custos diários por 14 dias mensais (coleta três dias por semana) e pelos 12 meses do ano para se obter o custo anual de combustível que foi de R\$ 17.399,76 e R\$ 20.249,04 para o cenário 1 e 2, respectivamente.

As quantidades de emissão de CO₂, especificamente, foram calculadas a partir do método *Top Down* desenvolvido em (CRUVINEL, 2012) e utilizado para calcular as emissões de carbono proveniente de frotas de caminhões como o que é usada na coleta de RSU. Os valores calculados nas emissões de GEE foram de 12,9 e 15,0 toneladas para o Cenário 1 e 2, respectivamente.

Os resultados para os dois cenários, tanto em questão de quilômetros percorridos e tempo quanto em custos e emissões de carbono, foram de valores muito próximos. A visita das ruas, entretanto, foi muito mais efetiva no Cenário 2. Observando a rota gerada no

segundo cenário, por exemplo, é perceptível que ruas que no Cenário 1 não foram visitadas passaram a ser no Cenário 2. Ou seja, moradores destas ruas teriam maior acessibilidade aos veículos coletores para descartar seus RSU, tornando assim a coleta mais adequada.

Os custos em transporte anuais calculados são uma estimativa considerando a média mensal dos doze meses do ano, podendo haver uma margem de erro levando em conta que existem meses com menos de 30 dias.

5.2. Novo Hamburgo

Para o município de Novo Hamburgo, as rotas foram calculadas para quatro cenários diferentes como descrito anteriormente. O primeiro e o terceiro cenários fizeram uma estimativa da coleta somente para a área urbana, enquanto que no segundo e quarto cenários consideraram-se também pontos na área rural, os resultados obtidos podem ser visualizados na **Tabela 02**.

Tabela 02 - Resultados obtidos no processo de roteirização no município de Novo Hamburgo.

Cenários	Nº de pontos distribuídos	Distância percorrida	Tempo de deslocamento	Quantidade de combustível diário	Custo diário	Custo anual	Emissões de Carbono (anual)
1	100	109,3 km	1h45min	43,727 L	R\$ 157,42	R\$ 41.558,88	30,8 toneladas
2	100	161,0 km	3h17min	64,411 L	R\$ 231,88	R\$ 61.216,32	45,4 toneladas
3	200	128,4 km	2h50min	51,373 L	R\$ 184,94	R\$ 48.824,16	36,2 toneladas
4	200	170,1 km	4h14min	68,041 L	R\$ 244,95	R\$ 64.666,80	48,0 toneladas

As distâncias percorridas, vistas na tabela de atributos ao final da roteirização, foram de 109,3; 161,0; 128,4 e 170,1 quilômetros para os Cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os cálculos de custo levaram em conta as mesmas considerações citadas no item anterior, nos resultados de Barra do Ribeiro, à exceção da coleta em Novo Hamburgo ser realizada de segunda a sexta, ou seja, cinco dias por semana. Portanto, os custos envolvidos no transporte também foram calculados considerando médias mensais como para Barra do Ribeiro, porém para Novo Hamburgo, considerou-se 22 dias no mês (coleta de segunda a sexta) ao decorrer

de 12 meses para se obter os custos anuais de combustível. Os custos anuais foram de 41.558,88; 61.216,32; 48.824,16 e 64.666,80 reais para os Cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente. As quantidades de carbono emitidas foram encontradas pelo Método *Top Down*, que também foi usado para calcular as emissões em Barra do Ribeiro. As quantias calculadas de carbono liberado na atmosfera foi de 30,8; 45,4; 36,2; 48,0 toneladas para os Cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Os resultados encontrados para os cenários que realizaram o mesmo tipo de coleta (ou somente urbana ou mista) foram praticamente os mesmos, a única diferença foi a visita às ruas, que assim como ocorreu em Barra do Ribeiro, ocorreu uma visita maior no cenário em que houve maior número de pontos de visita distribuídos. Em relação à comparação dos valores, da inclusão ou exclusão da zona rural na análise, os valores percorridos, os custos com combustível e as emissões de carbono foram aproximadamente 39% maior quando ocorre a coleta de forma mista.

6. Conclusão

A ferramenta *Network Analyst*, no que diz respeito ao uso para o cálculo de rotas ótimas para veículos de RSU, se mostrou eficiente. A roteirização alcançou seu objetivo de percorrer caminhos no menor tempo e com a menor distância percorrida.

Em relação aos cenários propostos durante o estudo, tanto para o município de Barra do Ribeiro quanto para Novo Hamburgo, a principal diferença foi a passagem nas ruas. Em Barra do Ribeiro, por exemplo, na primeira análise muitas ruas sequer foram visitadas enquanto que na segunda houve a visita em praticamente todas as ruas do município. Observou-se, portanto, que quanto maior o número de pontos distribuídos maior é a visita às ruas. Em Novo Hamburgo, chegou-se a mesma conclusão: mais pontos são utilizados e distribuídos geograficamente, maior é o número de ruas visitadas. Em contrapartida, os custos calculados com o combustível não aumentaram, consideravelmente, com o número de pontos distribuídos em nenhum dos municípios, logo pode-se concluir que devem-se distribuir quantos pontos se achar necessário até que se obtenha a passagem do caminhão em todas as ruas onde se deseja realizar a coleta dos RSU. É importante dizer também, que os custos de transporte para os cenários de Novo Hamburgo com coleta mista não tiveram aumentos tão significantes em relação aos valores de coleta somente para a zona urbana, tornando viável a implantação da coleta seletiva para todo o município.

Assim, este estudo se mostrou eficiente e pronto para ser apresentado às prefeituras de Barra do Ribeiro e de Novo Hamburgo como sugestão de melhoria e aperfeiçoamento nas rotas de coleta de RSU destes municípios e, conseqüentemente, poderão diminuir tanto os custos econômicos quanto os impactos ambientais se adotado. Em Novo Hamburgo, a redução dos custos pode significar a execução da coleta seletiva total do município, ou seja, com a economia gerada devido a otimização das rotas de coleta de RSU será possível novos investimentos e a realização da coleta separada em todas as zonas do município, não somente nas áreas centrais como ocorre hoje. Enquanto em Barra do Ribeiro, além da implantação da coleta seletiva, que ainda não funciona, com a economia poderá se obter novas soluções para a destinação dos resíduos depositados às margens do Arroio Grande, que é um problema hoje no município. Desta forma, será proporcionado mais saúde, qualidade de vida e serviços de limpeza pública mais eficientes aos habitantes destes municípios.

7. Referências

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010. 2011. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

BARRA DO RIBEIRO, Plano Municipal de Saneamento Básico e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos, parte II 2011. 2012. Disponível em: <<http://www.barradoribeiro.rs.leg.br/Banco%20de%20Leis/Lei%202190-12-2-institui-o-plano-municipal-de-saneamento-basico-plano-de-gerenciamento-integrado-de-residuos-solidos-part-ii.pdf>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

BESSEN, G. R.; GÜNTHER, W. M. R.; RODRIGUEZ, A. C.; BRASIL, A. L. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA P. et al. Meio Ambiente e Saúde: o desafio das metrópoles, Editora Ex Libris, 200 p. São Paulo, 2010.

BONJARDIM, Estela Cristina; PEREIRA, Raquel da Silva; GUARDABASSIO, Eliana Vileide. Análise da produção científica nacional sobre gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil: Um estudo a partir da Lei 12.305/2010. 2016.

BRITO, Rodrigo Augusto Ferreira de. Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos. 2006.

CÉZAR-MATOS, Arlinda. Plano de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos para o município de Novo Hamburgo/RS. 2001. Disponível em: <<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/518/378>>

CHITES, Raquel. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos de Novo Hamburgo/RS, seus espaços e agentes. 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/128032>>

CORDOVEZ, Juan Carlos Gortaire. Geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, v. 1, 2002.

CRUVINEL, R. R. S., Pinto, P. V. H. and Granemann, S. R. (2012) Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 2, pp. 234-252.

FRANCISCO, C. N. Geoprocessamento e SIG. 2008. Notas de aula. Citado por Eder Alexandre Schatz Sá em 'Aplicação da extensão *Network Analyst* na 90 logística do transporte florestal'. Trabalho de monografia. Lages, Santa Catarina. 2011.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). Disponível em: <www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resum/pop_estado_mapa2_municipio.php?municipio=Novo+Hamburgo&id=265>

GILBERT, Helbert Cristelli. Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de entregas na cidade de Ouro Preto. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos Sólidos Urbanos: impactos socioambientais e perspectivas de manejo e sustentável com inclusão social. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2019.

LACERDA, M. G. Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte. Dissertação (Mestrado) UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 147 p., 2003.

MEDEIROS, Anderson. Introdução aos conceitos e fundamentos do ArcGIS. Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com/introducao-arcgis-conceitos-comandos/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

NEGRÃO, José Ricardo Pitanga. Planejamento das rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares. 2018. Disponível em <<http://negraoarcgis.blogspot.com/search/label/Network%20Analyst%20ArcGIS>> . Acesso em 19 de janeiro de 2019.

OLIVEIRA, Júlia Vaz Tostes Miluzzi de. Sistemas de Informações Geográficas aplicados na otimização de rotas para o escoamento da Produção Florestal, 2015.

PASCOAL, J.A.; OLIVEIRA, P.C.F. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento, Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambiente. Curitiba, v. 8, n. 2, p. 131-144, abr./jun, 2010. Disponível em: <<file:///C:/Users/letic/Downloads/academica-4276.pdf>>. Acesso: 13 de fevereiro de 2019.

PRÓ-SINOS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Novo Hamburgo. Disponível em: <http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/plano_gestao_residuos_solidos_novo_hamburgo_02082012.pdf>.

ROHM, S. A. Apostila O QUE É SIG. 1 ed. São Carlos. UFSCAR. 2003.27p.

RONZANI, D. F. Logística e Geoprocessamento Interativo. Florianópolis: UFSC, 2001 (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, Karin Louise. CRUZ, Sabrina Spindler. JOHNO, Vanusa Dalosto. DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS MUNICÍPIOS DE SÃO LEOPOLDO E NOVO HAMBURGO/RS – BRASIL. 2017. Disponível em: <http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_2_5378_20171108161450.pdf>

SARKIS, L. F. P. G. Resíduos de Serviços de Saúde em Cidades de Médio Porte: Caracterização de Sistema de Coleta e Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica na Roteirização de Veículos de Coleta e Transporte. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. 216p.

SEBRAE, Perfil das cidades gaúchas – Barra do Ribeiro, 2019. Disponível em: <http://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Barra_do_Ribeiro.pdf>

SEEG, Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris, 2018.