

Redimensionamento dos Sectores de Colecta na Leão Leão Ambiental

Afonso Manuel da Silva Antunes Moreira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Fernando Oliveira

Orientador na Empresa: Sr. Nilton Barrico



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2010-07-05

Resumo

A presente tese intitulada *Redimensionamento dos Sectores de Colecta na Leão Leão Ambiental* enquadra-se no âmbito do Projecto de Dissertação de conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). A tese é o resultado final de um estágio em ambiente empresarial, numa empresa de Ribeirão Preto, São Paulo - Brasil.

Os centros urbanos tendencialmente sofrem um crescimento populacional, por vezes desmedido, acarretando problemas aos quais as cidades têm de fazer frente. Um destes problemas assenta na recolha dos resíduos sólidos urbanos. Ter um serviço que dê solução a esta problemática é vital para o bem estar da sociedade, aumentando a qualidade de vida dos cidadãos, minimizando os riscos de epidemias, evitando maus odores e proliferação de animais.

Identificado o tema sobre o qual recai este trabalho, a tese descreve a forma actual de abordagem do problema e quais os factores preponderantes relacionados com o serviço da recolha, em termos genéricos e no caso concreto de Ribeirão Preto.

Este projecto centra-se na logística *a priori* do serviço de recolha. Para a realização da recolha dos resíduos sólidos, a empresa divide a cidade em vários sectores, sendo cada um servido por um veículo. Com o constante crescimento e desenvolvimento da cidade, torna-se imperativo realizar periodicamente um redimensionamento dos sectores para que o serviço não se degrade.

O objectivo do trabalho foi alcançado, sendo o resultado do mesmo um mapa de Ribeirão Preto, em formato A0, dividido em 57 sectores em contraste com os 53 do actual plano. Uma vez que o novo esquema ainda não se encontra posto em prática à data do fenecimento do trabalho, não é possível apresentar uma comparação de resultados.

Resizing of the Waste Collection Sectors Costs in Leão Leão Ambiental

Abstract

Resizing the Leão Leão Ambiental Waste Collection Sectors is a dissertation project carried out for the completion of the Masters in Industrial Engineering & Management in the Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). It is the final result of a dissertation carried out in a company situated in Ribeirão Preto, São Paulo - Brasil.

In present days, urban settings tend to suffer from a strong population growth which affects many aspects of the economy. This growth is naturally accompanied by new problems that the city must face. One of these problems lies in the collection of the solid waste that the population inevitably produces. A solution to this problem is of vital importance for the general well-being and quality of life of the citizens, for minimizing epidemic risk and for reducing foul odours and animal proliferation.

This thesis focuses on describing the present approach to this problem, regarding the defining factors in both general waste collection and more specifically in the city of Ribeirão Preto.

This project will focus mainly on the a priori logistics of the waste collection service. The waste collection is carried out by the division of the city into several collection sectors to which a single collection vehicle is assigned. The constant growth and development of the city results in a need for periodically resizing the sectors for the quality of service to remain unchanged.

The objective of the project was achieved, the final result being a map of the city of Ribeirão Preto, in A0 format, dividing the city into 57 sectors in contrast to the 53 sectors currently in use. Considering that the new plan is at the present moment not in use, the results and the outcome of the resizing action are not here presented.

Agradecimentos

Gostaria de expressar a sincera gratidão e reconhecimento a todos que, de diferentes formas, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos no grupo Leão Leão a amabilidade com que fui recebido. Agradeço em especial ao Engenheiro Luiz Pacola a oportunidade de realizar este projecto na empresa que administra. Aos Engenheiros Nilton Barrico e Claudio Padiar, um especial obrigado pelo acompanhamento ao longo do projecto assim como pelo interesse demonstrado. À D. Elizângela Carvalho agradeço também a compreensão e respostas às minhas questões. Não posso também deixar de agradecer aos funcionários do departamento de Logística, Perci, Haroldo, Luciano e Willian pela ajuda no desenrolar do trabalho e pelo bom ambiente proporcionado no dia-a-dia.

Ao Professor Doutor José Fernando Oliveira, pela enorme disponibilidade e pelos conselhos de orientação à distância no decorrer do trabalho, deixo registada a minha sincera gratidão.

Estou também extremamente agradecido ao Sr. João Mariz pela hospitalidade em São Paulo e pela ajuda na concretização do meu sonho de estagiar no Brasil.

Agradeço ao Departamento de Cooperação, na pessoa da D. Fernanda Correia, pela ajuda na superação dos problemas burocráticos, sem a qual a execução do meu projecto não teria sido possível.

Carlos, Catarina, Dias, Durana, Frias, Hugo, Lencastre, Maria João, Martinho, Meieiras, Mica, Miguel, Petiz, Quelhas, Ramos, Reina, Ricardo, Rita, Rocha, Sousinha, Tiago e Zé Maria, obrigado pelos bons momentos passados dentro e fora da FEUP. Foi um prazer passar estes 5 anos do vosso lado, onde mais que colegas, fiz amigos.

Mãe e Pai, agradeço-vos o apoio prestado ao longo da minha carreira académica. Inês, Sara e Paulo, vocês são o exemplo que eu sempre segui para alcançar bons resultados, não só a nível escolar mas também a nível pessoal.

Por fim, deixo aqui os meus enormes agradecimentos às famílias Moucachen e Linkewitsch, em especial à Fê e à Pê, pelo maravilhoso acolhimento ao longo da minha estadia no Brasil.

Índice de Conteúdos

Siglas	vi
Índice de Figuras	vii
Índice de Gráficos	viii
Índice de Tabelas	ix
1 Introdução	1
1.1 Apresentação da Empresa Leão Leão Ambiental	1
1.2 O Projecto <i>Redimensionamento dos Sectores de Colecta</i>	2
1.3 Metodologia Seguida no Projecto	4
1.4 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório.....	4
2 Descrição do Problema	5
2.1 Noções Gerais do Problema da Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos.....	5
2.2 A Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos em Ribeirão Preto	7
3 Revisão Bibliográfica	13
3.1 <i>Vehicle Routing Problem</i>	13
3.2 <i>Arc Routing Problem</i>	14
4 Redimensionamento dos Sectores de Ribeirão Preto	17
5 Proposta de Trabalho Futuro - Optimização das Rotas	28
6 Conclusões	35
Referências	37
Anexo A – Relatório Diário de Coleta Domiciliar	39
Anexo B – Sectores de Colecta de Ribeirão Preto	40
Anexo C – Características dos Sectores de Colecta	41
Anexo D – Novos sectores de colecta	43
Anexo E – Algoritmo da heurística de Clarke e Wright	48
Anexo F – Instância a aplicada no <i>VRP Solver</i>	49

Siglas

ARP	<i>Arc Routing Problem</i>
CL	Camiões Compactadores
CPP	<i>Chinese Postman Problem</i>
CVRP	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>
CW	Clarke e Wright
NRP	<i>Node Routing Problem</i>
PVRP	<i>Periodic Vehicle Routing Problem</i>
RD	Relatório Diário de Coleta Domiciliária
RPP	<i>Rural Postman Problem</i>
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S124	Sector 124, por exemplo
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPTW	<i>Vehicle Routing Problem with Time-Windows</i>

Índice de Figuras

Figura 3.2.1 - Esquema das pontes de Königsberg e grafo correspondente.....	15
Figura 3.2.2 - a) Grafo não orientado, b) orientado e c) misto.....	15
Figura 4.1 - Mapa de Ribeirão Preto, dividido em Sectores de Colecta	21
Figura 5.1 - Sectores 01 e 02	29
Figura 5.2 - Grafos dos sectores 01 e 02	30
Figura 5.3 - Percurso obtido por um método heurístico. Optimização de Circuitos de Recolhas de Lixos Domésticos em Zonas Urbanas (M. J. S. Oliveira, 2008, p. 12), impresso com autorização do autor.	31
Figura 5.4 - Grafos finais dos sectores 01 e 02	32
Figura 5.5 - Grafo exemplificativo	32
Figura 5.6 - Percurso no Sector 01, usando a heurística de CW	34

Índice de Gráficos

Gráfico 2.2.1 - Consumo médio de combustível dos CL	10
Gráfico 4.1 - Quantidade de RSU recolhidos durante Maio de 2010.....	18
Gráfico 4.2 – Tempo de serviço em cada sector durante Maio de 2010	18
Gráfico 4.3 - Quantidade de RSU recolhida na 3ª semana de Maio de 2010 - S01	19

Índice de Tabelas

Tabela 1.1.1 - Áreas de actuação do Grupo Leão.....	1
Tabela 2.2.1 - Veículos da filial Ribeirão Preto	8
Tabela 2.2.2 - Funções dos veículos.....	9
Tabela 2.2.3 - Quantidade e capacidade dos Camiões Compactadores.....	9
Tabela 2.2.4 - Frequência e Período dos Sectores.....	12
Tabela 4.1- Valores mínimos e máximos dos gráficos 4.1 e 4.2.....	18
Tabela 4.2 - Novos sectores de colecta.....	20
Tabela 4.3 - Novos sectores diários.....	22
Tabela 4.4 - Novos sectores nocturnos de 3 ^{as} , 5 ^{as} e sábados	22
Tabela 4.5 - Novos sectores diurnos de 3 ^{as} , 5 ^{as} e sábados	23
Tabela 4.6 - Novos sectores nocturnos de 2 ^{as} , 4 ^{as} e 6 ^{as} feiras	24
Tabela 4.7 - Novos sectores diurnos de 2 ^{as} , 4 ^{as} e 6 ^{as} feiras.....	25

1 Introdução

O primeiro capítulo, de carácter introdutório, tem como objectivo dar a conhecer a empresa onde o projecto decorreu, introduzir a problemática da recolha de resíduos sólidos urbanos (RSU), apresentar a metodologia seguida na execução do projecto e explicar a estrutura do presente relatório.

1.1 Apresentação da Empresa Leão Leão Ambiental

A empresa Leão Leão Ambiental faz parte da área Ambiental do Grupo Leão & Leão, Lda. A empresa, inicialmente chamada de Braghetto & Leão, foi criada em Julho de 1961. Os seus dois sócios eram o empresário Amadeu Braghetto e o engenheiro Manoel Leão. Em 1980, a sociedade desfaz-se e o Grupo adquire a designação actual, Leão Leão¹. A Tabela 1.1 indica as variadas áreas de actuação do Grupo Leão Leão, assim como as respectivas empresas integrantes.

Tabela 1.1.1 - Áreas de actuação do Grupo Leão

Área	Concessões	Meio Ambiente	Infra-Estrutura	Imobiliária	Entretenimento
Empresas	Trisol	Leão Ambiental	Leão Infra	IMOV Leão	OLÉ Brasil
		LUMA			
		NGA	CFO Engenharia		
		GEO Multiresíduos			
	Mal Rondon Leste	CGR Guatapará	CARVALHO Engenharia	Portal do Sul	Votorati
		CGR Catanduva	Rental		
CGR Jardinópolis					

Como se verifica, a empresa Leão Leão Ambiental faz parte da área de Meio Ambiente. A empresa tem sede na cidade de Ribeirão Preto (563107 habitantes² e 651336 m² de área), Estado de São Paulo, Brasil. Um dos negócios da Holding de Meio Ambiente é a Área de Limpeza Urbana, especificamente a colecta, sendo esta a operação *core* da empresa; no

¹ Dr. Leão História de uma vida

² Estimativas da população para 1º de julho de 2009. Estimativas de População. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (14 de agosto de 2009).

entanto também realiza varredura, corte de relva de jardins públicos, pintura de vias, manutenção e conservação de património particular, recolha de resíduos de serviços de saúde e operações de aterro. Outras actividades das empresas da área de Meio Ambiente são a reciclagem, crédito de carbono (certificação da redução da emissão de gases de efeito de estufa), saneamento, tratamento e destino final de resíduos. A Leão Leão Ambiental actua não só em Ribeirão Preto mas também noutras cidades da região (Américo Brasiliense, Araraquara, Cajuru, Conchal, Cravinhos, Cristais Paulista, Cruz das Posses, Guapiaçu, Lins, Matão, Monte-Alto, Pontal, Sertãozinho e Topã). Contudo, aproximadamente 50% do volume de negócios da empresa é proveniente de Ribeirão Preto, sendo a Prefeitura o seu principal cliente.

O Grupo Leão & Leão tem já em prospecção introduzir uma nova área de actuação – Energia, onde actuará com pequenas centrais hidroeléctricas e também na cogeração de energia a partir de biomassa.

A empresa foi muito recentemente comprada pelo grupo português Mota Engil, encontrando-se este processo praticamente finalizado.

1.2 O Projecto *Redimensionamento dos Sectores de Colecta*

Para que a recolha de resíduos urbanos seja feita de um modo correcto, é necessário um conhecimento profundo sobre a cidade. Este conhecimento incide particularmente sobre dados geográficos e demográficos. Alguns destes dados podem ser recolhidos através do *Google Maps*, porém a Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto fornece-os de um modo que possam ser trabalhados informaticamente – planta da cidade em Autocad. Alguns dados apenas através da experiência de quem (pessoa ou empresa) conhece a cidade podem ser conseguidos.

Os departamentos directamente envolvidos com a gestão dos sectores e rotas, e por conseguinte com o projecto, são o Departamento de Logística e o Departamento Operacional. O Departamento de Logística da empresa conta actualmente com cinco funcionários, sendo o Director do mesmo o Sr. Aleandro Terezan. O Departamento é responsável por funções relacionadas com os veículos, das quais se destacam:

- Rastreamento dos veículos da empresa;
- Cadastro dos veículos da empresa;
- Controlo do consumo de combustível;
- Controlo das Ordens de Serviço, enviadas ao Departamento de Manutenção;
- Controlo dos pneus;
- Documentação dos veículos;
- Seguros dos veículos;
- Controlo sobre distâncias percorridas pelos veículos diariamente;
- Controlo sobre a velocidade dos veículos;

Para a execução das suas funções o Departamento utiliza dois *softwares*: o Sascar e o Guberman.

“O Sascar GSM/GPS é um sistema de rastreamento em tempo real. Com ele é possível fazer o controlo, monitorização, localização e bloqueio de veículos e frotas (...). Utilizando mapas digitais vetorizados, com ruas e avenidas de todo o Brasil, permite a localização precisa do veículo graças à tecnologia GSM/GPRS”, informação disponível no sítio *sascar.com.br*.

Já o módulo *Veículo*, do *Sistema de Frotas*, do *Guberman*, permite (informação retirada de *guberman.com.br*):

- Cadastramento das categorias, modelos e tipos de veículos;
- Cadastramento dos veículos, equipamentos e agregados;
- Controle de veículos vendidos, doados, sucateados (motivos e datas de baixas de veículos).

O Departamento Operacional, tem uma dimensão bastante superior ao Departamento de Logística, pois neste trabalha um total de funcionários superior a mil, onde se incluem motoristas dos veículos, colectores, varredores, operadores de máquinas/tractores, operadores de ceifadeiras e também os supervisores do departamento que têm a seu cargo a gestão dos sectores. O Director do Departamento é o Engenheiro Cláudio Padiar. De entre as responsabilidades deste departamento, contam-se as seguintes:

- Entrega/ recolha dos Relatórios Diários de Coleta Domiciliar – RD (Anexo A) – aos/dos motoristas veículos responsáveis pela recolha de RSU;
- Registo em formato informático da informação dos RD;
- Planeamento das equipas de trabalho;
- Garantia que todos os sectores têm uma equipa de trabalho diariamente (motorista e colectores);
- Auxílio das equipas de trabalho na ocorrência de um imprevisto;
- Redacção e análise de relatórios com informação do serviço prestado.

É também deste departamento a responsabilidade do redimensionamento dos sectores. Por sector entende-se um conjunto de estradas fixo que deverão ser percorridas por um camião colector para a recolha de RSU. Eventualmente, um sector pode ser percorrido por mais que um veículo quando um único não consegue efectuar o serviço sozinho. Os sectores devem ser periodicamente redimensionados (quando a empresa assim o entenda) para acompanhar as novas exigências que uma cidade em franco crescimento impõe, caso de Ribeirão Preto. A incorrecta dimensão dos sectores acarreta consigo sobrecustos à empresa. O Projecto *Redimensionamento dos Sectores de Colecta* tem como objectivo ajustar os sectores às novas exigências. Ao longo do projecto são aplicados, directa ou indirectamente, conhecimentos e competências adquiridas ao longo do curso.

1.3 Metodologia Seguida no Projecto

Numa empresa direccionada para a gestão dos RSU, os principais recursos são, além dos recursos humanos evidentemente, os veículos que ela possui. Tomar consciência que é necessário conjugar rotas que recolham todo o lixo com rotas optimizadas para que o consumo de combustível e de pneus seja o mínimo possível, torna-se imperativo.

No desenrolar do projecto é realizado um estudo da realidade actual da empresa ao nível de veículos e dimensionamento de sectores. Uma vez recolhidos dados em vários departamentos, estes são cruzados para gerar informação, obtendo-se as bases necessárias para que o projecto possa evoluir. Quando descrita e percebida a situação na qual se encontra a empresa, o problema é analisado e estudado, culminando no redimensionamento de novos sectores. Este objectivo tem um carácter prático, sendo desenvolvido através da busca constante de informação entre vários funcionários da empresa com experiência de campo.

1.4 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório

O trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos.

O Capítulo 2 divide-se em duas partes, a primeira explica em que consiste a recolha de RSU e como esta deverá ser realizada por parte das instituições responsáveis pelo seu serviço. A segunda parte refere como a empresa Leão Leão Ambiental realiza a recolha de RSU em Ribeirão Preto, explicitando quais os recursos utilizados.

Apesar da optimização das rotas a percorrer ser um objectivo para trabalhos futuros, faz-se uma revisão bibliográfica do problema teórico *Vehicle Routing Problem* (VRP) e as suas duas vertentes *Node Routing Problem* (NRP) e *Arc Routing Problem* (ARP), pois estão directamente relacionados com a problemática estudada. O VRP é um dos problemas teóricos que melhor reflecte a logística do problema da recolha. São feitas referências a estudos já efectuados sobre o tema. Neste capítulo faz-se também uma primeira introdução à heurística de Clarke e Wright (CW), uma das heurísticas de maior aplicação nos NRP.

O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do redimensionamento dos sectores, explicitando os critérios utilizados, componente destacado desta Dissertação. Neste capítulo vão sendo justificados os vários passos dados para o alcance do objectivo principal do projecto. No seu final é feita uma discussão dos resultados obtidos.

Depois de atingido este primeiro resultado é introduzido, no Capítulo 5, um segundo objectivo passível de ser alcançado em trabalhos futuros: a optimização das rotas percorridas pelos veículos em sectores diários. É explicado porque não se recorre à heurística de CW, sendo esta utilizada no final do capítulo, a título episódico.

No último capítulo, Capítulo 6, encontram-se as conclusões do trabalho.

2 Descrição do Problema

O Capítulo 2 tem o objectivo de descrever a problemática da recolha de RSU explicitando que factores entram na execução desta. Após definidos teoricamente os conceitos relacionados com a limpeza urbana, o capítulo aborda o caso real da recolha de RSU na cidade de Ribeirão Preto, serviço realizado pela empresa Leão Leão Ambiental.

2.1 Noções Gerais do Problema da Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos

Como recolha de RSU entende-se a remoção destes das ruas e posterior transporte até aos locais de destino, sejam eles aterros ou estações de tratamento.

Desde a revolução industrial que se tem vindo a verificar um enorme êxodo rural, com a deslocação dos habitantes do campo para centros urbanos, na procura de melhores condições de vida. O crescimento desmedido nestes centros urbanos gera também um aumento considerável dos resíduos sólidos neles criados. Um serviço que realize uma recolha de lixo periódica e frequente passa a ter uma importância vital para a higiene e saúde dos cidadãos e do meio ambiente. A recolha de lixo reduz drasticamente os riscos de contaminação, propagação de doenças, maus odores, instalação de ninhos de roedores e outros factores de poluição ambiental.

A recolha e transporte do lixo são da responsabilidade da Direcção do Município, podendo o serviço sofrer terciarização. Quando uma Prefeitura decide que a recolha de lixo deve ser feita por *outsourcing*, lança uma licitação pública. A licitação pública será de uma de cinco modalidades (Art. 22 da Lei nº 8.666/1993), sendo elas:

- Concorrência;
- Tomada de preços;
- Convite;
- Concurso;
- Leilão.

O Art. 22 e seguintes explicam as diferenças entre as várias modalidades e quais os critérios para determinação dos moldes nos quais a licitação decorrerá. A eventualidade do caso de limpeza em casos esporádicos (devido a emergências ou calamidades públicas) está também prevista por Lei, sendo a licitação pública referida anteriormente dispensada. O Art. 24 IV, refere o caso especial de emergências ou calamidades públicas. Diz este artigo:

Art. 24. É dispensável a licitação:

IV – nos casos de emergência ou de calamidade pública, quando caracterizada urgência de atendimentos de situação que possa ocasionar prejuízo ou comprometer a segurança de pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens, públicos ou particulares, e somente

para os bens necessários ao atendimento da situação emergencial ou calamitosa e para as parcelas de obras e serviços que possam ser concluídos no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias consecutivos e ininterruptos, contados da ocorrência da emergência ou calamidade, vedada a prorrogação dos respectivos contratos;

Às instituições interessará, além de realizar o serviço, fazê-lo de um modo eficiente, para que o custo seja o menor possível, sem que a qualidade do serviço seja comprometida.

A população deve conhecer a regularidade com que os RSU são recolhidos. A recolha é feita de dois modos, ou porta a porta ou através de depósitos (caçambas) colocados em locais pré-definidos. Uma recolha regular e constante, permite à população conhecer os dias e horários nos quais esta é realizada, fazendo com que os RSU sejam colocados nos locais apropriados dentro destes mesmos horários, evitando acumulação desnecessária de lixo nas ruas, melhorando a qualidade de vida dos habitantes.

A frequência da recolha deve ser no mínimo de três vezes por semana. Contudo, em zonas onde os ajuntamentos de RSU sejam maiores, a recolha deve ser diária. Assim, numa mesma cidade podem existir zonas (sectores) onde a recolha é diária e outras onde é feita com outro período.

A recolha em determinada zona da cidade deverá ter em conta o trânsito da zona, para evitar um agravamento do congestionamento do trânsito local. A recolha poderá ser realizada em horários diurnos ou nocturnos. Aconselha-se que em sectores maioritariamente residenciais a recolha seja diurna e em zonas de cariz comercial seja nocturna. Os horários diurno e nocturno devem englobar as 24h de um dia e ser complementares, IBAM (2001).

As equipas de recolha são constituídas por um motorista e vários colectores, dois a cinco, consoante os recursos humanos que a instituição possuir, IBAM (2001). Como cada equipa deve ter sensivelmente o mesmo trabalho e numa cidade existem sectores de características diferentes, é necessária uma adaptação dos sectores ao esforço exigido pelas equipas e não o contrário. Por exemplo, se uma zona tem maior densidade populacional, e por conseguinte, maior produção de RSU, a distância percorrida pela equipa alocada a essa zona deverá ser menor.

As equipas de trabalho devem estar munidas de material de protecção e segurança em bom estado, uma vez que o risco de contaminação neste tipo de trabalho é elevado. Na mesma ordem de ideias, a instituição deverá disponibilizar acompanhamento médico aos seus funcionários.

Relativamente aos veículos, estes podem ser compactadores ou não. Se um veículo é compactador, tem a possibilidade de comprimir a carga, conseguindo transportar mais RSU. Tanto os veículos sem compactação como os veículos compactadores devem cumprir vários requisitos, Higiene e Segurança no Trabalho (2004), para assim poderem estar à altura da sua função. São eles:

- Não permitir o derramamento dos RSU na via pública;
- Possuir no mínimo uma taxa de compactação de 3:1 (3m³ de resíduos ficarão reduzidos por compactação a 1m³);
- Apresentar a altura de carregamento ao nível da cintura dos elementos da equipa, ou seja, no máximo a 1,20m de altura em relação ao solo;
- O carregamento deverá ser feito na parte traseira;
- Dispor de local adequado para transporte dos operadores;
- Apresentar meios de descarga rápida do lixo no destino;
- Possuir compartimentos de carregamento com capacidade para no mínimo 1,5m³;
- Possibilitar o carregamento de diversos tipos de contentores;
- Distribuir adequadamente a carga pelo chassis do veículo.

2.2 A Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos em Ribeirão Preto

Na cidade de Ribeirão Preto, a recolha de RSU é da responsabilidade do DAERP (Departamento de Águas e Esgotos de Ribeirão Preto), sendo que o serviço está a cargo da empresa Leão Leão Ambiental. A empresa encontra-se actualmente numa fase de transição, dado que houve a percepção que a recolha não está a ser feita do modo mais eficiente, sendo possível melhorar o serviço. Para identificar quais os erros, é necessário compreender como funciona a recolha, desde os veículos utilizados até à caracterização de cada sector.

A Leão Leão Ambiental conta com uma frota própria de 170 veículos, distribuídos por 23 filiais, entre as quais a de Ribeirão Preto, sobre a qual incide o projecto. Estes veículos agrupam-se em diferentes categorias consoante a sua função. Na Tabela 2.2.1 é discriminada a quantidade de veículos da empresa Leão Leão Ambiental - filial de Ribeirão Preto, por categoria.

Tabela 2.2.1 - Veículos da filial Ribeirão Preto

Código Veículo*	Tipo de veículo	Quantidade
A	Administrativo	16
AB	Camião Comboio	1
C	Camião Basculante Toco	8
CG	Camião <i>Roll-On Off Truck</i> / Camião Poli Guindaste	3
CL	Camião Compactador	18
CO	Camião Baú Toco	1
CT	Camião Carga Seca Toco	2
I	Camião Tanque Toco	2
I	Camião Tanque Truck	1
MT	Mota	4
ON	Autocarro (<i>ônibus</i>)	6
RO	Roçadeira	14
TP	Tractor Roçadeira / Guincho	13
		89

*Os códigos de veículo são os utilizados pela empresa

Os veículos são identificados pelo código do tipo de veículo seguido do seu número, por exemplo A014. Como se pode verificar, dos 170 veículos pertencentes ao grupo Ambiental, mais de metade estão alocados à filial de Ribeirão Preto. Quando necessário, a empresa aluga veículos (ficando estes com o código de ALU) para cobrir eventuais necessidades. Os 13 tipos de veículo (não se incluem os alugados) presentes na filial de Ribeirão Preto têm diferentes funções. Na Tabela 2.2.2 é feito um resumo das funções dos veículos.

Tabela 2.2.2 - Funções dos veículos

Código Veículo	Função
A	Deslocação de funcionários
AB	Abastecimento e lubrificação de veículos em locais distantes remotos
C	Transporte de terra ou galhos de árvore para aterros
CG + caixa estacionária	Transbordo de resíduos de aterros lotados para outros com capacidade disponível. O transbordo é feito através da incorporação de uma Caixa Estacionária no Camião <i>Roll-Off Truck</i> .
CG + caixa estacionária	Recolha de resíduo comercial (por exemplo <i>shoppings</i> , aeroporto, empresas, condomínios fechados, colégios, etc.). Os resíduos são colocados na Caixa Estacionária pelos utentes e posteriormente um veículo especial (Camião Poli Guindaste) recolhe-a. A recolha é realizada periodicamente (de dois em dois dias, por exemplo).
CL	Recolha de resíduos sólidos urbanos. É este tipo de veículo o utilizado para a colecta do lixo.
CO	Recolha de resíduos selectivos (por exemplo papéis, plásticos, vidros, etc.)
CT	Recolha de relva (camião de caixa aberta)
I (Toco)	Limpeza de vias públicas através da irrigação de água
I (Truck)	Limpeza de feiras ou praças através da irrigação de água
MT	Fiscalização do corte de relva e varrição
ON	Transporte de funcionários de colecta e/ou varrição
TP + RO	Corte (tractor roçadeira) com armazenamento de relva através de um atrelado (roçadeira)

Como se verifica, dos variados tipos de veículos presentes na filial de Ribeirão Preto, apenas os CL estão directamente envolvidos com a recolha de RSU. Dentro deste tipo, a empresa tem veículos de três marcas, todas com a mesma capacidade de transporte (Tabela 2.2.3).

Tabela 2.2.3 - Quantidade e capacidade dos Camiões Compactadores

Marca	Modelo	Capacidade	Quantidade
Mercedes-Benz	Atego 1725	19m ³	2
Volkswagen	Worker 17220		5
Ford	Cargo 1722		11
			18

Numa empresa de gestão de resíduos urbanos como a Leão Leão Ambiental, onde a principal actividade envolve percursos diários de camiões, é natural que os custos com combustível sejam de uma importância muito significativa.

Apesar dos três modelos de CL existentes na empresa terem a mesma capacidade eles diferem no consumo médio de combustível. O Gráfico 2.2.1 indica qual o consumo médio (calculado

mensalmente) – em Km/L dos diferentes modelos de CL. De referir que todos os modelos referidos utilizam combustível Diesel.

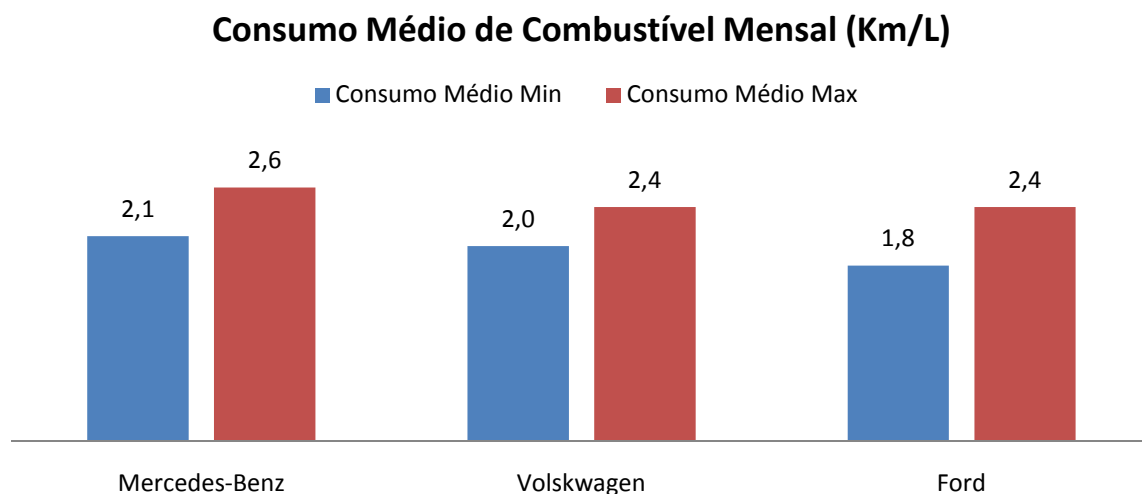


Gráfico 2.2.1 - Consumo médio de combustível dos CL

Com a recolha de resíduos diária (exceptuam-se os Domingos) efectuada por uma frota de 14 CL (com 4 de reserva para cobrir a necessidade de substituição caso haja camiões em manutenção), mensalmente são gastos milhares de litros de combustível para que o serviço da empresa se possa desenrolar de modo normal.

O consumo Total Médio Mensal ronda os 180 mil L de Diesel. Destes, os Camiões Compactadores são responsáveis por aproximadamente 22% (40 000 L). Este valor é obtido através da manipulação de valores já referidos no trabalho com valores médios percorridos pelos veículos. Assim:

$$\text{Consumo Médio Mínimo dos CL: } \frac{2 \times 2,1 + 5 \times 2 + 11 \times 1,8}{18} = 1,89 \text{ km/L} \quad (1)$$

$$\text{Consumo Médio Máximo dos CL: } \frac{2 \times 2,6 + 5 \times 2,4 + 11 \times 2,4}{18} = 2,42 \text{ km/L} \quad (2)$$

$$\text{Consumo Médio Mensal dos CL: } \frac{2,42 + 1,89}{2} = 2,16 \text{ km/L} \quad (3)$$

Para recolherem os resíduos e os transportarem até ao aterro, as rotas exigem que os CL que prestam o serviço diariamente, percorram 5500 Km/mês. Então conclui-se que ao todo, são gastos:

$$\text{Consumo Total Médio dos CL: } \frac{5500}{2,16} \times 18 \simeq 45833 \text{ L/mês} \quad (4)$$

Contudo, para que o serviço seja completo, não se pode considerar apenas o consumo de combustível dos CL, é necessário o trabalho de dois Tractores Esteira no aterro sanitário de Ribeirão Preto, visto que este se encontra cheio. Os CL descarregam os resíduos no aterro, seguidamente os dois tractores colocam o lixo em veículos de uma outra empresa, a qual

transporta para outros aterros. O consumo de combustível destes dois tractores é então calculado do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Médio: } & 18 \text{ L/h} \\ \text{Jornada de trabalho diária: } & 10 \text{ h} \\ \text{Jornada de trabalho mensal: } & 26 \text{ dias} \\ \text{Consumo Total Médio dos TE: } & 2 \times (26 \times 10 \times 18) \simeq 9360 \text{ L/mês} \end{aligned} \quad (5)$$

Conclui-se que o gasto mensal de combustível para a recolha e transporte de resíduos domiciliários é obtido através da soma de (4) com (5):

$$45833 + 9360 = 55193 \text{ L} \quad (6)$$

A empresa abastece os seus camiões de dois modos: ou internamente através de um tanque de combustível próprio, cujo custo é aproximadamente R\$ 1,71 por litro, ou então externamente em estabelecimentos de venda de combustível onde os valores rondam os R\$ 1,89/L. Se a empresa conseguisse abastecer todos os veículos com Diesel do tanque próprio, o custo de combustível dos veículos relacionados com a recolha e transporte de lixo seria aproximadamente $55193 \text{ L} \times \text{R\$ } 1,71/\text{L} = \text{R\$ } 94380,6$. Analogamente, o custo atingiria perto de R\$ 105419,3 se o abastecimento fosse apenas em estabelecimentos externos. Como a empresa se abastece dos dois modos conclui-se que os gastos estão entre estes dois valores. Usando uma margem de 5% nos valores obtidos, os custos mensais com combustível estarão dentro dos seguintes limites:

$$\text{R\$ } 90000 < \text{custos de combustível} < \text{R\$ } 110500$$

Com os milhares de quilómetros percorridos pelos camiões mensalmente através de estradas e caminhos por vezes com condições precárias, é evidente que o desgaste sofrido pelos pneus dos veículos é elevado. A empresa durante muito tempo adoptou um sistema de orçamento fixo relativo aos pneus de R\$ 60000. Destes cerca de 80% têm como destino final a filial de Ribeirão Preto. Como visto anteriormente, a recolha de resíduos residenciais é a fatia maior da actividade da empresa, o que faz com que destes R\$ 48000, sensivelmente 80% (R\$ 38400) sejam para pneus de CL. Ultimamente verificou-se que este orçamento é insuficiente, tendo o Director Financeiro decidido adoptar temporariamente um sistema flexível que permite ir comprando consoante a necessidade. O responsável pela manutenção dos pneus estima que o orçamento passará a rondar os R\$ 80000.

Não obstante estes dois custos (combustível e pneus), existem também gastos relacionados com a manutenção preventiva e correctiva, seguros e multas. São exemplos de multas as devidas a excesso de peso dos veículos quando se dirigem para o aterro. Estas multas vão desde os R\$ 300 a R\$ 5000.

Como explicado no ponto 1.2, a empresa necessita conhecer a cidade em pormenor, recolhendo dados sobre as zonas e estradas. A informação que a Prefeitura fornece incide sobre os seguintes elementos:

- Nomes de todas as estradas;
- Tipo e limite de velocidade da estrada;
- Largura, quilometragem e inclinação das estradas;
- Sentido do trânsito das estradas;
- População do bairro.

Após a recolha desta informação inicial, a empresa divide a cidade em vários sectores, que englobam várias estradas. São estes sectores os elementos delimitadores das rotas que os veículos realizarão. Actualmente, a empresa tem a cidade dividida em 53 sectores. A Tabela 3.3 resume os cinco blocos nos quais os sectores estão agrupados. No Anexo B encontra-se o mapa da cidade com os variados sectores evidenciados.

Tabela 2.2.4 - Frequência e Período dos Sectores

Frequência	Período	Sectores	Total
Diária (excepto Domingo)	Nocturno	01, 02, 03	3
3ª, 5ª e Sábado	Nocturno	111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131	11
	Diurno	251, 253, 255, 257, 259, 261, 263, 265, 267, 269, 271, 273, 275, 277	14
2ª, 4ª e 6ª feira	Nocturno	112, 114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130, 132	11
	Diurno	252, 254, 256, 258, 260, 262, 264, 266, 268, 270, 272, 274, 276, 278	14
			53

Os períodos Diurno e Nocturno são das 7 às 19h e das 19 às 7h, respectivamente. De ressaltar que aos Domingos não existe recolha em qualquer sector³.

O crescimento que a cidade de Ribeirão Preto tem vindo a sofrer, obriga a que a empresa redimensione os sectores para assim poder atender às novas exigências, ou seja, o surgimento de novos prédios ou mesmo de novos bairros, implica um ajuste dos sectores. Com o reconhecimento que o presente mapa de sectores não responde eficazmente, torna-se imperativo um novo esquema, para reduzir os custos logísticos e operacionais da Leão Leão Ambiental.

³ O contrato firmado entre a Prefeitura de Ribeirão Preto e a empresa Leão & Leão Ambiental contempla que o contratado deverá fazer a recolha de RSU, na cidade de Ribeirão Preto, todos os dias do ano, exceptuando-se os Domingos e dois outros dias à escolha do contratado.

3 Revisão Bibliográfica

Os problemas de optimização de rotas – VRP - têm sido sujeitos a um amplo estudo ao longo dos últimos anos, principalmente devido à sua grande aplicação em casos reais. Este tipo de problemas, pode ser dividido em dois grandes grupos, NRP ou ARP, dependendo se a procura está alocada nos vértices dos grafos ou se o serviço é realizado ao longo das arestas, Benavent et al. (1990). Os trabalhos de pesquisa têm-se concentrado especialmente nos NRP, enquanto os ARP têm recebido menos atenção, Baldaci e Maniezzo (2004), contudo esta tendência tem vindo a ser alterada uma vez que os ARP abrangem uma vasta gama de problemas reais, Ke Tang e Xin Yao (2009).

3.1 *Vehicle Routing Problem*

J.C. Branco et al. (2010) na descrição do VRP afirmam que este consiste em determinar, sequencialmente, quais os pontos a serem visitados por um determinado veículo. Pretende-se alocar o número mínimo de veículos necessários, minimizando a distância total percorrida. A procura (indiferenciada) de cada ponto tem de ser satisfeita e estes só podem ser visitados uma vez. Os veículos iniciam e finalizam o seu percurso num depósito comum. O problema pode ser descrito da seguinte maneira:

Seja n o número de pontos de procura numa determinada área. Cada um dos n pontos possui determinada quantidade de procura q_i ($i=1, 2, \dots, n$) de bens a serem recolhidos. Os m veículos iniciam e finalizam a sua rota a partir de um local D (*depot*). Quando a capacidade dos veículos é considerada, o problema denomina-se *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) e admite-se que os m veículos têm a mesma capacidade máxima Q . Assume-se que a quantidade total recolhida por cada veículo é menor ou igual à quantidade máxima disponível pelo próprio veículo, Q . Os bens a serem recolhidos são indiferenciados.

Bodin (1990) afirma que os problemas reais possuem além destas características, peculiaridades específicas que completam o simples VRP. Alguns exemplos dessas particularidades passam por veículos com diferentes capacidades de carga, inclusão de janelas temporais nas quais os n pontos teriam de ser servidos (*Vehicle Routing Problem with Time-Windows* – VRPTW), etc. Assad et al. (1983) refere que a natureza da demanda pode ser de recolha ou entrega, com atendimento parcial ou integral e com diferentes prioridades de recolha ou entrega. As características que se podem incluir no VRP para que este se aproxime do caso da recolha de RSU em Ribeirão Preto são:

- Veículos com capacidade de carga definida – CVRP;
- Janelas temporais de serviço da empresa – VRPTW;
- Recolhas periódicas – *Periodic Vehicle Routing Problem* – PVRP.

O PVRP ganha relevância em empresas que realizam serviços periodicamente, como o caso da Leão Leão Ambiental. Casos de PVRP relacionados com a recolha de lixo foram estudados

por Beltrami e Bodin (1974), Gaudioso e Paletta (1992) ou Arnout et al. (2010). O VRP foi estudado pela primeira vez por Dantzig e Ramser (1959) na descrição de um caso real sobre a distribuição de gasolina por vários postos. Clarke e Wright (1964) constroem uma heurística eficaz, de carácter ganancioso, que traz um melhoramento considerável relativamente à abordagem de Dantzig e Ramser. Waters (1984) considera que as heurísticas apresentam resultados bons para problemas reais onde, uma solução exacta é inexequível. Assim, para problemas de maior complexidade e sujeitos a maior número de restrições utilizam-se métodos heurísticos, conforme Golden et al. (1985) explicam. O VRP é considerado um problema *NP Hard*. Um problema de decisão é *NP Hard* quando um aumento do número de variáveis de decisão do problema vem acompanhado por um aumento exponencial da complexidade do mesmo, consoante R.R Araújo (2003). Demaine e Hearn (2007) apresentam exemplos curiosos de problemas *NP Hard*, como por exemplo o conhecido jogo Tetris.

O problema da recolha de RSU é abordado como um NRP, apesar de na sua génese ele ser um ARP, pois isso permite tratar o problema de forma agregada. Esta adaptação simplifica o problema, juntando vários pontos de recolha num único ponto virtual, não incorrendo em erros consideráveis. Esta passagem de ARP a NRP permitiria posteriormente abordar o problema utilizando a heurística de CW. Mais adiante é explicado porque não se aplica essa heurística, desenvolvendo-se uma de origem que permitirá resolver o problema estudado.

3.2 Arc Routing Problem

O ARP aborda o problema através das arestas que ligam os vários nós de um grafo, fazendo com que a sua aplicação a problemas da vida real seja grande. Segundo Feiyue Li e B. Golden (2005) exemplos de ARP passam por:

- Recolha de RSU;
- Limpeza de vias;
- Leitura de medidores de energia;
- Entrega de correspondência ao domicílio.

Apesar de actualmente os estudos sobre NRP estarem mais desenvolvidos, o primeiro estudo relacionado com o ARP data de 1736, da autoria de Leonhard Euler. Este primeiro estudo partiu do problema das 7 pontes de Königsberg, onde se tentava definir um caminho que percorresse todas as pontes sem repetir nenhuma, terminando o percurso no ponto de partida. Euler provou que o caso em concreto era impossível de ser resolvido. A figura seguinte apresenta o esquema das pontes de Königsberg e o respectivo grafo:

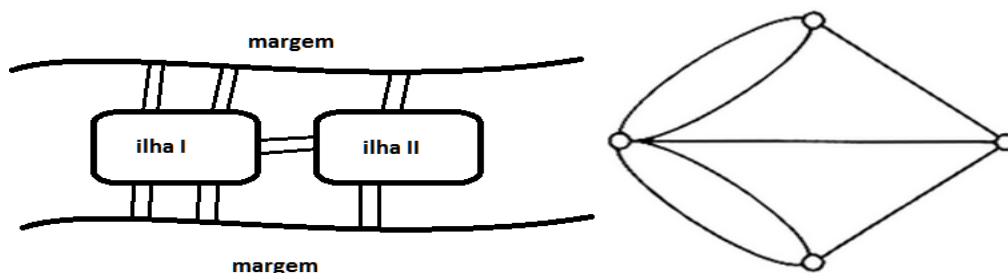


Figura 3.2.1 - Esquema das pontes de Königsberg e grafo correspondente

Guan (1962) estuda o primeiro ARP presente na literatura mundial, o conhecido *Chinese Postman Problem* (CPP). O CPP consiste em descobrir o percurso mais curto, percorrendo todas arestas de um determinado grafo. Desde então, o problema tem sido alvo de várias generalizações. Orloff (1974) propõe o *Rural Postman Problem* (RPP) onde a principal diferença consiste na dispensa de passagem em arestas sem procura. Resumidamente, os ARP são divididos em duas subclasses básicas:

- CPP – todas as arestas apresentam procura, devendo estas serem percorridas pelo menos uma vez, estudado por Edmonds e Johnson (1973);
- RPP – apenas as arestas que apresentam procura devem ser percorridas pelo menos uma vez, estudado por Orloff (1974);

A teoria dos grafos e os ARP estão intrinsecamente ligados, abordado originalmente por Euler (1736), sem no entanto os ARP terem a actual denominação. Os grafos, conforme Edmonds e Johnson (1973), podem ser:

- a) Não orientados, nenhuma aresta tem um sentido obrigatório na qual deve ser percorrida;
- b) Orientados, todas as arestas têm um sentido obrigatório na qual devem ser percorridas;
- c) Mistos, existem simultaneamente arestas com sentido obrigatório e outras arestas que podem ser atravessadas nos dois sentidos.

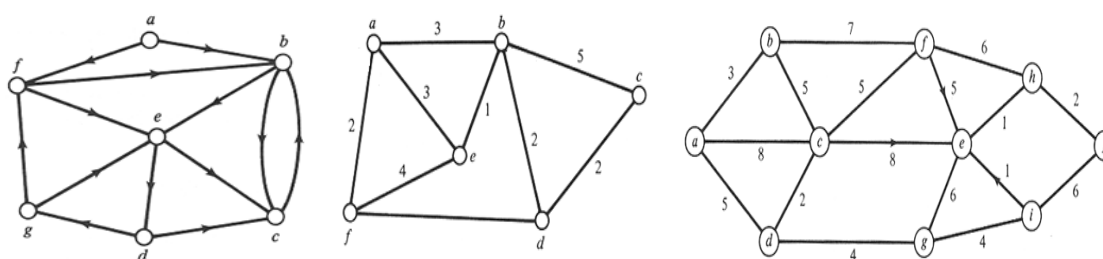


Figura 3.2.2 - a) Grafo não orientado, b) orientado e c) misto

Os valores apresentados junto às arestas correspondem a um custo, que pode ser entendido como tempo, dinheiro ou distância, consoante o problema estudado.

No trabalho de Dror (2000), é feito um resumo sobre o estado da arte do ARP. Na sua maioria os ARP são considerados problemas *NP Hard*. Contudo, Assad et al. (1987) demonstraram que alguns ARP com determinados grafos, procura ou estrutura de custos podem ser resolvidos com um algoritmo de tempo polinomial.

4 Redimensionamento dos Sectores de Ribeirão Preto

O objectivo do projecto visa adaptar os sectores, nos quais a empresa dividiu Ribeirão Preto, às novas exigências da cidade. A adaptação consiste no desenho de novos sectores, isto é, num novo mapa à imagem do Anexo B. Uma vez efectuado o redimensionamento dos sectores, estes serviriam como base de partida para um segundo objectivo, complementar, do projecto – a optimização das rotas percorridas pelos CL no centro de Ribeirão Preto.

Actualmente a empresa reparte a cidade num total de 53 sectores (ver Tabela 2.2.4), sendo que o serviço é feito em blocos de 14 sectores. Em cada período (diurno ou nocturno), a empresa liberta 14 CL que ficam responsáveis pela realização do serviço em cada um dos 14 sectores. Por exemplo, às terças feiras à noite é recolhido o lixo dos sectores 01, 02, 03, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129 e 131. Contudo, em alguns casos esta alocação de um CL por sector tem-se verificado insuficiente.

A partir de informação recolhida através dos RD, os quais são preenchidos pelos motoristas dos CL durante o serviço, consegue visualizar-se a heterogeneidade que se mencionou anteriormente. Os três principais critérios de caracterização de um sector são:

- Distância (em quilómetros), calculada com o auxílio dos odómetros instalados nos CL;
- Tempo de serviço, desde que o veículo sai da empresa até que regressa;
- Lixo recolhido (em quilogramas), obtido na pesagem dos RSU nas balanças, disponíveis e obrigatórias, dos aterros onde o lixo é depositado.

Por vezes os RD não estão totalmente preenchidos, seja por odómetros estragados ou eventualmente por esquecimento dos motoristas dos CL. Para ultrapassar esse problema, os valores foram calculados do seguinte modo:

$$Km_t = \sum Km_{lançados} + \left(\frac{1}{n^{\circ} \text{ dados lançados}} \sum Km_{lançados} \right) \times n^{\circ} \text{ dados não lançados} \quad (7)$$

Nos gráficos 4.1 e 4.2 é possível visualizar a diferença existente na quantidade de RSU recolhida e também no tempo dispendido pelos CL para a realização do serviço nos vários sectores. Os valores referem-se aos acumulados durante o mês de Maio de 2010.

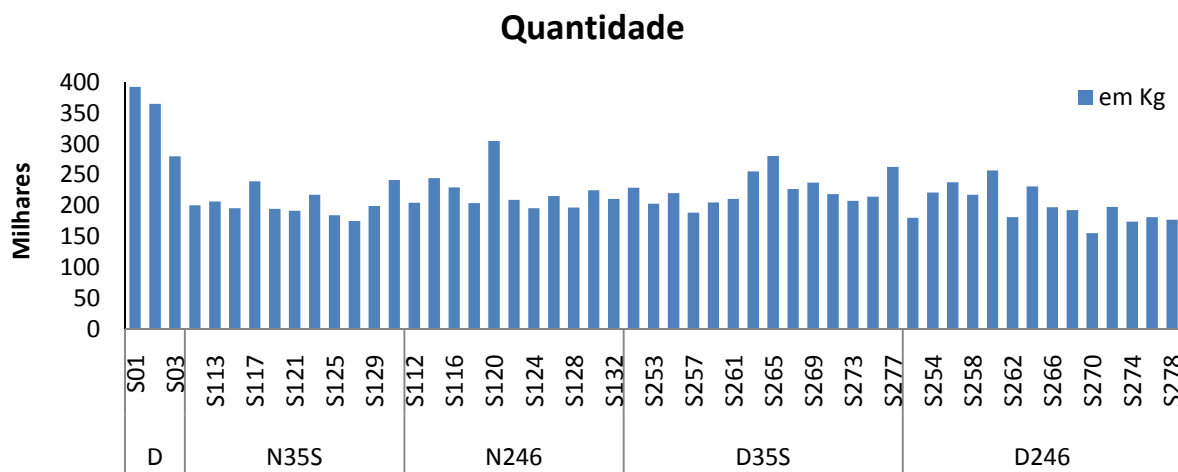


Gráfico 4.1 - Quantidade de RSU recolhidos durante Maio de 2010

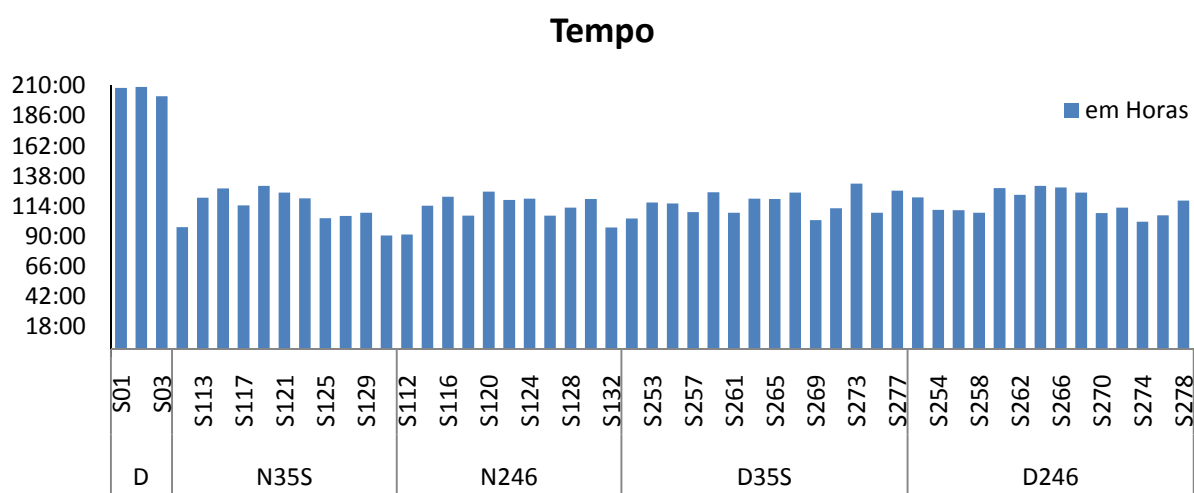


Gráfico 4.2 – Tempo de serviço em cada sector durante Maio de 2010

A Tabela 4.1, indica quais os valores máximos e mínimos dos gráficos 4.1 e 4.2 e quais os sectores correspondentes, sem considerar os sectores diários (S01, S02 e S03), uma vez que estes possuem um período de recolha diferente do dos demais.

Tabela 4.1- Valores mínimos e máximos dos gráficos 4.1 e 4.2

	Mínimo	Máximo
Quantidade (em Kg)	155374 (S270)	304780 (S120)
Tempo (em horas)	90:17 (S111)	131:53 (S273)

A heterogeneidade é maior na quantidade de RSU recolhida. Foram recolhidas aproximadamente 350 toneladas de lixo no S120, quase o dobro da recolhida no S270. Pelo

Gráfico 4.2 é possível verificar que nos sectores servidos às segundas, quartas e sextas feiras, existe uma certa diferença nas horas totais de serviço. No Anexo C, encontram-se os resultados discriminados em forma de tabelas, onde se inclui também informação sobre a distância percorrida em cada sector. Como se pode verificar, existe uma diferença considerável dos valores entre sectores, principalmente na quantidade de lixo recolhida, que comprovam a necessidade do redimensionamento.

Os dias mais críticos são as segundas e terças feiras (Gráfico 4.3). Nestes dias existe um intervalo de três dias entre recolhas – sexta a segunda feira (sectores que terminam em número par) ou sábado a terça feira (sectores que terminam em número ímpar), já que ao Domingo não existe colecta de lixo em qualquer sector.

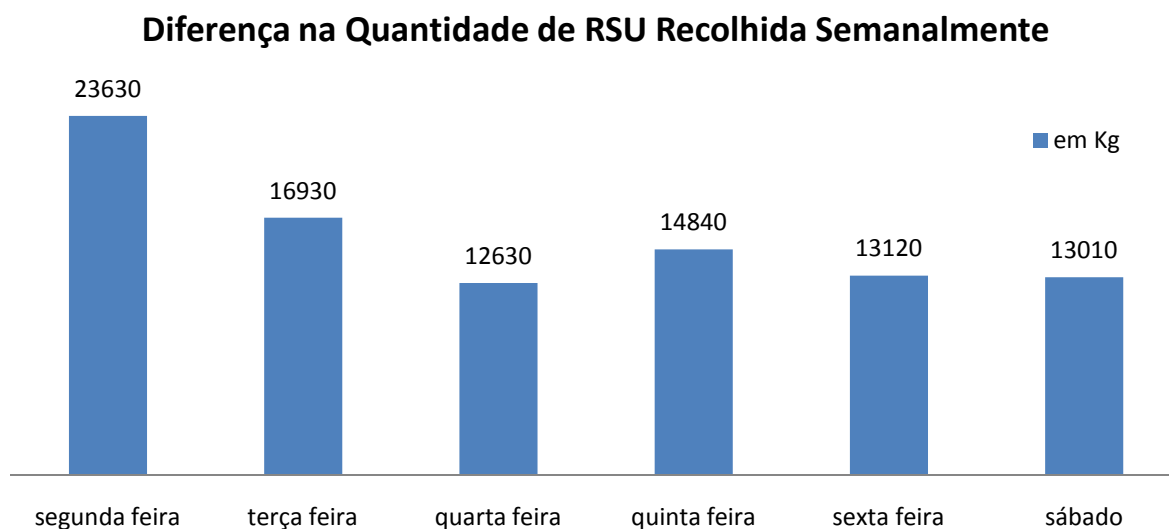


Gráfico 4.3 - Quantidade de RSU recolhida na 3ª semana de Maio de 2010 - S01

Associado a este maior intervalo, existe também o factor “fim de semana”, período em que, regra geral, é produzida maior quantidade de desperdícios por parte das famílias. A somar a estes factores, o crescimento natural que a cidade tem vindo a sofrer. Novos bairros e prédios, têm sido agregados a sectores já existentes, fazendo com que a actual situação não seja a mais eficiente, justificando-se por conseguinte, a existência deste projecto. Actualmente a empresa decidiu adaptar um esquema temporário de modo a conseguir responder a estas adversidades, disponibilizando 15 CL no período nocturno.

O actual *layout* de 14 sectores apresenta-se eficaz mas ineficiente. Apesar de a empresa realmente fazer a recolha do lixo de toda a cidade, ela não o faz do melhor modo. O novo dimensionamento assenta na ideia que são necessários mais sectores, para tentar homogeneizar os valores da Tabela 4.1. Um maior número de sectores traz consigo várias implicações. Como o objectivo é que cada sector seja percorrido por um só veículo, mais sectores traduzem-se em mais veículos na rua e, por conseguinte, maior desgaste dos mesmos. Indirectamente, a área de Manutenção terá também, além de mais trabalho, uma ainda maior importância. Estão a decorrer projectos em paralelo para que este departamento possa ser mais eficiente. Mais sectores servidos não implicam contratação de mais funcionários visto que a empresa conta já com um elevado número de motoristas e colectores.

Uma vez que a empresa tem uma frota de 18 CL na cidade de Ribeirão Preto (ver Tabela 2.2.3), servir mais de 15 sectores por período torna-se arriscado, pela pequena margem de camiões substitutos (somente três). A situação passa então por aumentar o número de sectores servidos por período de 14 para 15. A inclusão de quatro novos sectores - 133, 134, 279 e 280 - permite aliviar a actual situação onde a densidade demográfica assim o exige. Cada um dos novos sectores é incluído num dos conjuntos já existentes, como se verifica pela sua numeração, fazendo com que o esquema passe de 53 para 57 sectores (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Novos sectores de colecta

Frequência	Período	Sectores	Total
Diária (excepto Domingo)	Nocturno	01, 02, 03	3
3 ^a , 5 ^a e Sábado	Nocturno	111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131, 133	12
	Diurno	251, 253, 255, 257, 259, 261, 263, 265, 267, 269, 271, 273, 275, 277, 279	15
2 ^a , 4 ^a e 6 ^a feira	Nocturno	112, 114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130, 132, 134	12
	Diurno	252, 254, 256, 258, 260, 262, 264, 266, 268, 270, 272, 274, 276, 278, 280	15
			57

A Figura 4.1 traduz a tabela anterior numa imagem, podendo considerar-se como o resultado alcançado do objectivo do projecto. A proposta dos novos sectores é concretizada num documento em formato *.pdf* de tamanho A0 (1189 x 841 mm), sensivelmente 1 m² de área, o que faz com que a sua incorporação num formato A4 possa baixar um pouco a sua qualidade. No Anexo D, estão disponíveis imagens dos 57 sectores.

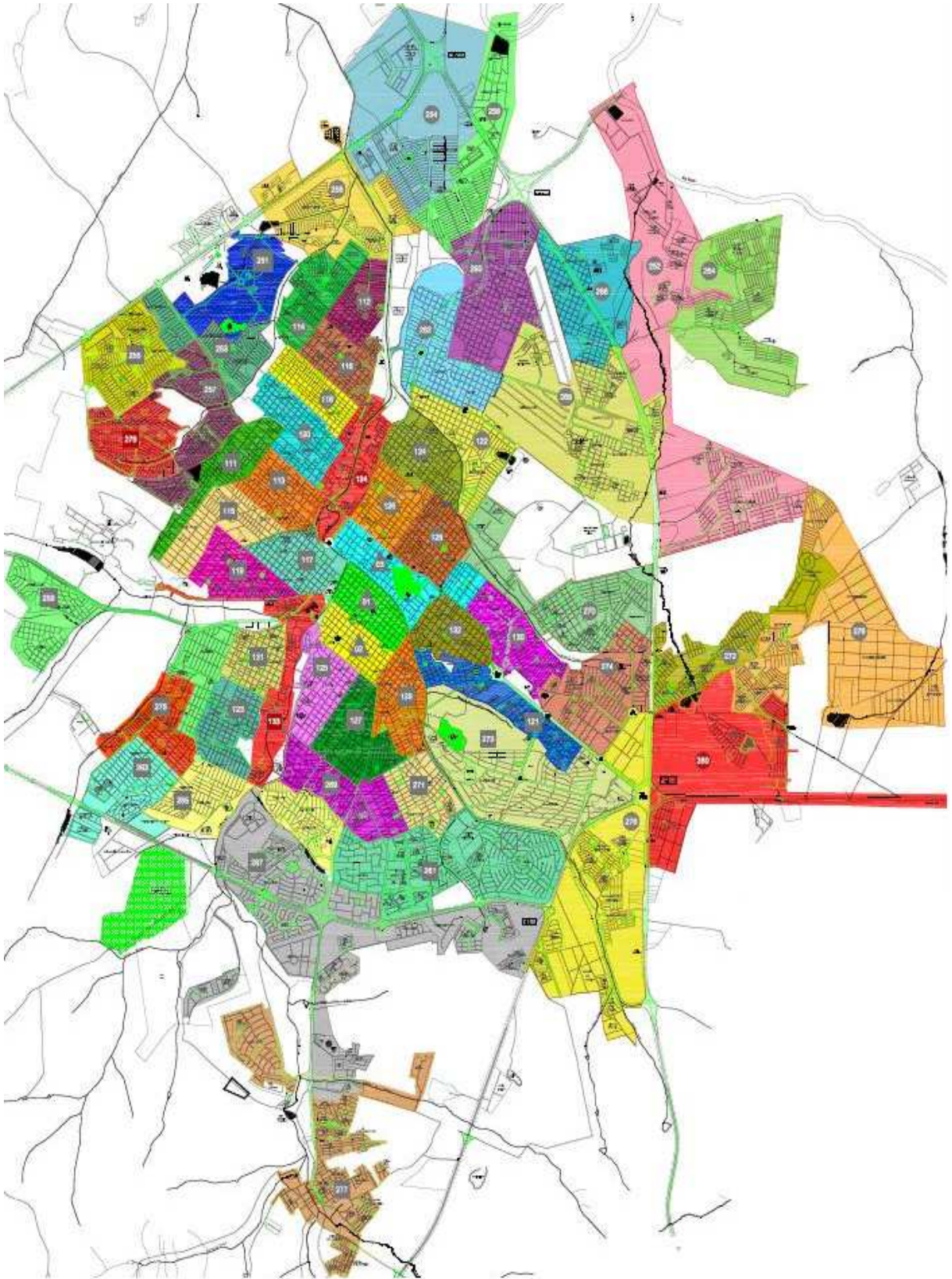


Figura 4.1 - Mapa de Ribeirão Preto, dividido em Sectores de Colecta

As tabelas 4.3 e seguintes descrevem o desenho de cada um dos novos sectores. Dentro de cada célula faz-se, além de uma breve descrição do sector, referência à cor utilizada e à sua

localização (por vezes relativa), tentando assim superar-se o facto de se ter adaptado uma folha A0 ao formato A4. As tabelas são separadas consoante os vários grupos, como indicado na Tabela 4.2.

Tabela 4.3 - Novos sectores diários

Sectores 01 e 02	Sector 03
<p>Cor S01: verde claro Cor S02: amarelo Zona: ambos no centro do mapa. Estes sectores não sofrem alteração entre o anterior plano e o novo uma vez que estão bastante restringidos geograficamente.</p>	<p>Cor: azul claro Zona: no centro do mapa O S03 vê duas zonas passarem para o novo S134 e incorpora um conjunto de quarteirões anteriormente pertencentes ao S130. Esta adaptação simplifica o serviço de recolha neste sector.</p>

Tabela 4.4 - Novos sectores nocturnos de 3^{as}, 5^{as} e sábados

<p>Sector 111 Cor: verde Zona: oeste Este sector deixa de incluir a recolha até à R. Appa, passando estes quarteirões para o S115, aliviando o serviço.</p>	<p>Sector 113 Cor: laranja Zona: a este do S113 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.</p>
<p>Sector 115 Cor S115: bege Zona: oeste Compensando a linha de quarteirões que passou a incorporar do S111, este sector vê uma linha de quarteirões ser incluída no S119.</p>	<p>Sector 117 Cor S117: azul claro Zona: noroeste do S02 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.</p>
<p>Sector 119 Cor: violeta Zona: a norte do S133 As ruas entre a Av. Bandeirantes e a Av. Do Café (inclusive) passam a ser servidas pelo novo S133.</p>	<p>Sector 121 Cor: azul vivo Zona: sudeste do S01 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.</p>
<p>Sector 123 Cor: verde baço Zona: a oeste do S133. Um conjunto de ruas a este da Av. Dos Andradas é incluído no novo S133, aliviando o serviço neste sector.</p>	<p>Sector 125 Cor: roxo claro Zona: a este do S133 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.</p>

Tabela 4.4 (continuação) - Novos sectores nocturnos de 3^{as}, 5^{as} e sábados

Sector 127	Sector 129
Cor: verde escuro Zona: sul do S02 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: laranja Zona: este do S127 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.
Sector 131	Sector 133
Cor: amarelo torrado Zona: oeste do S125 A secção este é incluída no novo S133, aliviando assim o serviço neste sector.	Cor: vermelho Zona: centro-oeste O sector incorpora secções que anteriormente pertenciam a outros três sectores periféricos deste – 119, 123 e 131.

Tabela 4.5 - Novos sectores diurnos de 3^{as}, 5^{as} e sábados

Sector 251	Sector 253
Cor: azul vivo Zona: noroeste O sector passa a abranger uma pequena superfície que anteriormente fazia parte da zona mais a este do S253.	Cor: verde Zona: oeste do S118 Sofre grandes alterações. Formado no novo plano por duas zonas independentes. Passa secções para os sectores 251, 253 e 257 e incorpora, ficando com uma área muito menor relativamente ao antigo plano.
Sector 255	Sector 257
Cor: amarelo torrado Zona: noroeste O sector passa a abranger uma pequena superfície que anteriormente fazia parte do S253.	Cor: roxo Zona: noroeste O sector separa-se, originando o novo S279. Passa a abranger uma área considerável que anteriormente fazia parte do S253, além duma secção que anteriormente estava abrangida pelo S259, apesar de estar distante da área principal deste.
Sector 259	Sector 261
Cor: verde claro Zona: oeste Este sector incorpora uma zona do S275 e transfere uma secção para o S257.	Cor: verde claro Zona: sul Compensa a passagem de uma zona para o S267 com a incorporação de uma zona do S273.
Sector 263	Sector 265
Cor: azul claro Zona: sudoeste Troca secções com os sectores 265 e 275.	Cor: amarelo claro Zona: este do S263 Troca secções com os sectores precedente e procedente, pertencentes ao mesmo bloco (263 e 265).

Tabela 4.5 (continuação) - Novos sectores diurnos de 3^{as}, 5^{as} e sábados

Sector 267	Sector 269
Cor: cinzento Zona: sul Como se verifica, o S267 é um dos sectores que abrange maior área. São adicionadas zonas dos sectores 261, 277 e 278.	Cor: roxo Zona: centro-sul Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.
Sector 271	Sector 273
Cor: bege Zona: este do S269 Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: branco “sujo” Zona: este do S269 O S273, anteriormente um dos maiores sectores em termos de área, vê a sua situação aliviada ao ser excluída uma zona para o S261.
Sector 275	Sector 277
Cor: vermelho Zona: norte do S263 Este sector incorpora uma zona do S263 e transfere uma secção para o S259.	Cor: castanho claro Zona: sul O sector não sofre grandes alterações, perdendo um pequeno conjunto de ruas para o S267.
Sector 279	
Cor: vermelho Zona: noroeste Engloba áreas dos sectores 255 e 257, além dum novo bairro (sinal do desenvolvimento da cidade).	

Tabela 4.6 - Novos sectores nocturnos de 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras

Sector 112	Sector 114
Cor: roxo Zona: norte Cresce na direcção sul, englobando duas linhas de quarteirões que anteriormente pertenciam ao S116.	Cor: verde Zona: norte Perde duas linhas de quarteirões para os sectores 118 e 120, reduzindo assim a sua área.
Sector 116	Sector 118
Cor: castanho Zona: centro-norte O S116 perde duas linhas de quarteirões para o S112.	Cor: amarelo Zona: noroeste Inclui alguns segmentos até à R. Itajubá anteriormente pertencente ao S114 e dispensa ruas de grande densidade (zona SE do sector) para o novo S134. Este novo <i>layout</i> permite que fique com um desenho geométrico mais simples, passando a ter uma forma aproximada de um rectângulo.

Tabela 4.6 (continuação) - Novos sectores nocturnos de 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras

Sector 120	Sector 122
Cor: azul claro Zona: noroeste O mesmo que o S118.	Cor: amarelo Zona: centro nordeste Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.
Sector 124	Sector 126
Cor: verde tropa Zona: centro-norte Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: laranja Zona: centro norte São adicionadas algumas ruas do S128, perfazendo com que os dois fiquem com uma forma próxima de um quadrado.
Sector 128	Sector 130
Cor: castanho Zona: centro São removidas algumas ruas para o S126, perfazendo com que os dois fiquem com uma forma próxima de um quadrado.	Cor: roxo Zona: centro-este É dispensada uma área considerável para o S03, facilitando o serviço de recolha no S130.
Sector 132	Sector 134
Cor: verde tropa Zona: centro Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: vermelho Zona: a norte do S133 Zonas que anteriormente pertenciam aos sectores 03, 116, 118 e 120, criam na íntegra o novo S134, numa tentativa de aliviar o serviço de recolha no centro da cidade.

Tabela 4.7 - Novos sectores diurnos de 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras

Sector 252	Sector 254
Cor: vermelho claro Zona: nordeste Anteriormente o S252 tinha características especiais pois dele faziam várias áreas bem distintas nas zonas norte e este da cidade. Estas zonas são alocadas a outros sectores (254, 258, 264 e 266), aliviando o serviço no S252, principalmente em quilometragem. Uma parte do S266 faz agora parte deste sector.	Cor: azul claro Zona: norte Engloba duas das áreas que anteriormente eram servidas pelo S252.
Sector 256	Sector 258
Cor: amarelo torrado Zona: norte Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: verde Zona: norte O sector agrega uma das zonas que anteriormente faziam parte do S252.

Tabela 4.7 (continuação) - Novos sectores diurnos de 2^{as}, 4^{as} e 6^{as} feiras

Sector 260	Sector 262
Cor: roxo Zona: norte O S260 passa a contar com áreas que no antigo plano pertenciam aos sectores 258 e 262.	Cor: azul claro Zona: norte do S122 Este sector perde uma vasta área no novo plano para o S260 mas compensa com área também considerável que anteriormente pertencia ao S266.
Sector 264	Sector 266
Cor: verde Zona: nordeste Troca duas áreas com o S252, tornando-os menos complexos.	Cor: azul Zona: nordeste O novo S266 passa a situar-se em zonas que anteriormente faziam parte do S260 e do S252, mantendo apenas uma pequena parte do antigo S266.
Sector 268	Sector 270
Cor: bege Zona: sul do S266 Antigo S266.	Cor: verde Zona: sul do S268 Antigo S268.
Sector 272	Sector 274
Cor: amarelo torrado Zona: este Este sector não sofre alteração entre o anterior plano e o novo.	Cor: vermelho claro Zona: este Este sector passa a servir além do S274, o antigo S270, formando assim um único sector.
Sector 276	Sector 278
Cor: laranja Zona: este Mantém algumas zonas do antigo S276, às quais se juntam a área mais a sul do antigo S252 e a área mais a norte do antigo S278, tentando agrupar zonas próximas que no antigo plano pertenciam a dois sectores bem distantes.	Cor: amarelo Zona: sudeste Este sector, um dos maiores no antigo plano por abranger várias áreas independentes, vê transferidas três zonas para outros tantos sectores – 267, 276 e para o novo S280.
Sector 280	
Cor: vermelho Zona: este Novo sector na zona leste, é formado por zonas que no antigo plano pertenciam aos sectores 276 e 278.	

O redimensionamento tentou adaptar os sectores, partindo essencialmente da informação dos gráficos 4.1 e 4.2. Contudo, alguns factores subjectivos foram também considerados, como por exemplo a experiência dos funcionários, que bem conhecem a cidade. A adaptação dos sectores, foi realizada inicialmente, na sobreposição dos novos sectores no anterior esquema,

nomeadamente, o Anexo B. Após a definição completa dos sectores, foram marcados os novos sectores sobre o mapa da cidade, no programa Autocad, e impresso em formato A0, como dito anteriormente.

Idealmente, os novos sectores seriam desenhados a partir da informação sobre a quantidade de lixo produzida por cada ponto de recolha. Ora, isto apenas seria possível se os CL possuíssem medidores de peso internos, o que não se verifica. Estas balanças iriam permitir tratar a informação de um modo separado. Hoje, a informação disponível indica a quantidade de lixo recolhida por sector. Interessaria, no entanto, saber quanto lixo é produzido por ponto de recolha, ou seja, por cada troço (parte da estrada entre dois quarteirões) de uma estrada. As pesagens deveriam ser feitas nos dias em que gera mais lixo (segundas e terças feiras, como explicado no início do capítulo). Uma vez registadas as quantidades de lixo estas poderiam ser anotadas num mapa da cidade, obtendo-se um resultado visual simples de entender. Estes procedimentos permitiriam homogeneizar os sectores relativamente ao trabalho implícito pelas suas recolhas.

5 Proposta de Trabalho Futuro - Optimização das Rotas

Depois de atingido o objectivo do projecto, teria sentido aprofundar o trabalho, focando-o nas rotas a percorrer pelos CL dentro de cada um dos sectores. A problemática de optimização de percursos, já foi amplamente estudada como se evidencia ao longo do Capítulo 3, onde se relaciona a recolha de RSU com o ARP, embora uma aproximação deste ao NRP simplifique a sua resolução, não acarretando erros consideráveis. O presente capítulo serve como introdução a um trabalho futuro, demonstrando que os alicerces já foram pensados e passíveis de serem utilizados.

Ligações entre as duas classes do VRP – ARP e NRP - têm sido evidenciadas através das técnicas de transformação dum tipo de classe na outra. Ou seja, é possível transformar uma instância de um ARP na instância correspondente de um NRP. Na verdade, cada variante do VRP tem uma imagem espelhada na outra vertente, possibilitando a tradução de resultados de pesquisa entre os dois.

Como se disse anteriormente, ARP engloba vários tipos de problema, onde os de optimização incidem na grande maioria na identificação do percurso, com menor custo, que atravessa todos os arcos de um grafo pelo menos uma vez (CPP), ou um subconjunto de arestas (RPP), identificando m ciclos com mínimo custo global (m -CPP), usando um ponto central (*depot*) e considerando as capacidades dos arcos e dos veículos (*Capacitated ARP*). Estes problemas, têm como fundamento comum a identificação de um percurso (ou conjunto de percursos) através de um conjunto de arcos. Assim, a transformação de um ARP num NRP consiste basicamente na identificação de um percurso (ou conjunto de percursos) através de um conjunto de nós.

A heurística de CW é também conhecida como heurística de poupança. A ideia por trás deste método é de fácil compreensão. Considere-se um depósito central D e n pontos de recolha (demanda). Supõe-se que inicialmente são disponibilizados n veículos para os n pontos, i.e., é alocado um veículo por cada ponto de recolha. A distância total das várias rotas é:

$$2 \sum_{i=1}^n d(D, i) \quad (8)$$

Onde,

$d(D, i)$ – distância do depósito central D ao ponto de recolha i .

Caso se passe a usar um veículo para servir dois pontos, i e j , numa única viagem, a distância total é reduzida em:

$$s(i, j) = 2d(D, i) + 2d(D, j) - [d(D, i) + d(i, j) + d(D, j)] = d(D, i) + d(D, j) - d(i, j) \quad (9)$$

Onde,

$s(i,j)$ – “poupança” (do inglês *saving*) inerente à junção dos pontos i e j numa única viagem;

$d(D,j)$ – distância do depósito central D ao ponto de recolha j ;

$d(i,j)$ – distância do ponto i ao ponto j .

Quanto maior for $s(i,j)$, melhor se torna combinar os pontos i e j numa só viagem. Contudo, estes só poderão ser agrupados se da sua combinação não surgir a violação de uma ou mais restrições características do NRP. No Anexo E, está disponível o algoritmo da heurística de Clarke e Wright⁴.

Ribeirão Preto apresenta uma malha reticular. Uma malha reticular caracteriza-se por ruas que se dispõem mais ou menos ortogonalmente, formando os seus cruzamentos ângulos rectos, sendo portanto uma planta ortogonal. Uma das grandes vantagens deste planeamento urbanístico é a facilidade da circulação do trânsito. O centro da cidade, no qual se incluem os Sectores 01 e 02, apresenta quarteirões muito bem delimitados pela malha reticular, como se pode verificar pela Figura 5.1.

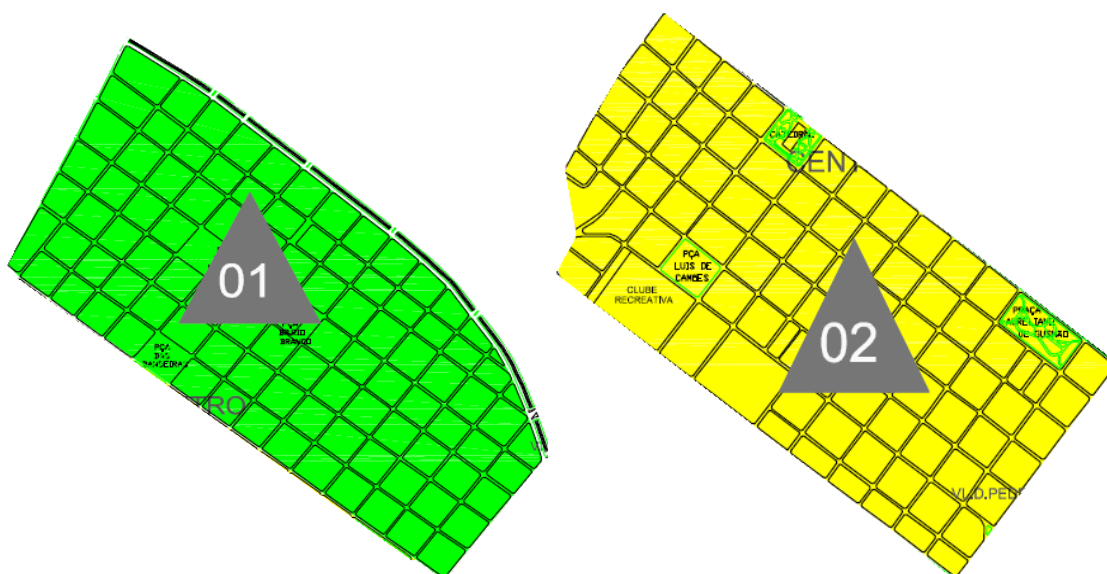


Figura 5.1 - Sectores 01 e 02

Como a cidade apresenta uma topologia bastante simples, não se adequa a utilização da heurística de CW, sendo esta aplicável a casos de maior complexidade. O objectivo seria atingido através de uma heurística desenvolvida, mais apropriada ao caso concreto. Não obstante, faz-se uma breve descrição da heurística de CW pois esta é usualmente usada em situações similares e, por isso, de grande importância para o caso.

A definição dos novos sectores, permite abordar o problema sem ter de considerar a capacidade dos veículos colectores, visto que os sectores foram dimensionados para que um único veículo seja capaz de realizar o serviço. Assim, a quantidade de RSU gerados num

⁴ Disponível em http://web.mit.edu/urban_or_book/www/book/chapter6/6.4.12.html.

sector é considerada sempre menor ou igual à capacidade de armazenamento dos CL (19m^3 , ver Tabela 2.2.3). Uma vez que não se considera a capacidade dos CL, também não se faz referência às quantidades de lixo produzidas por ponto de recolha. O critério único para optimização das rotas passaria pela distância percorrida pelos veículos. Ou seja, tentar-se-ia minimizar os quilómetros percorridos pelos CL. A primeira etapa passa por traduzir o mapa dos sectores no grafo correspondente, o que se torna singelo devido à simplicidade ortogonal dos sectores. O resultado obtido é visível na Figura 5.2.

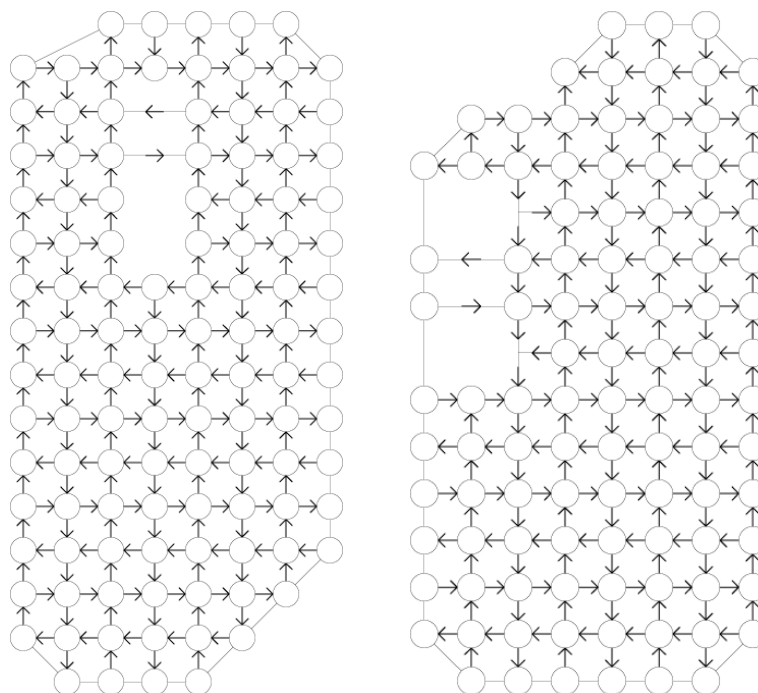


Figura 5.2 - Grafos dos sectores 01 e 02

O centro da cidade possui ruas de sentidos intercalados. Tal significa que ruas com o mesmo sentido têm entre si uma rua com o sentido oposto. A excepção encontra-se nos segmentos fronteiriços, menos o segmento comum – Rua Florêncio de Abreu - aos dois sectores (lado esquerdo do Sector 01 e lado direito do Sector 02). As estradas fronteiriças do Sector 01 são:

- Rua Florêncio de Abreu – segmento esquerdo do grafo;
- Avenida Jerónimo Gonçalves – segmento superior do grafo;
- Avenida Dr. Francisco Junqueira – segmento direito do grafo;
- Avenida da Independência – segmento inferior do grafo.

Já as estradas fronteiriças do Sector 02 são:

- Avenida 9 de Julho – segmento esquerdo do grafo,
- Ruas Amador Bueno e José Bonifácio – segmentos superiores do grafo;
- Rua Florêncio de Abreu – segmento direito do grafo (segmento esquerdo do grafo do Sector 01);
- Avenida da Independência – segmento inferior do grafo.

A partir do estudo realizado sobre a temática da recolha de RSU, mais propriamente em Manuel Joaquim Oliveira (2008), evidenciaram-se semelhanças bastante acentuadas entre uma figura desse trabalho e o centro de Ribeirão Preto. Tentar-se-ia portanto desenvolver a heurística com base na Figura 5.3.

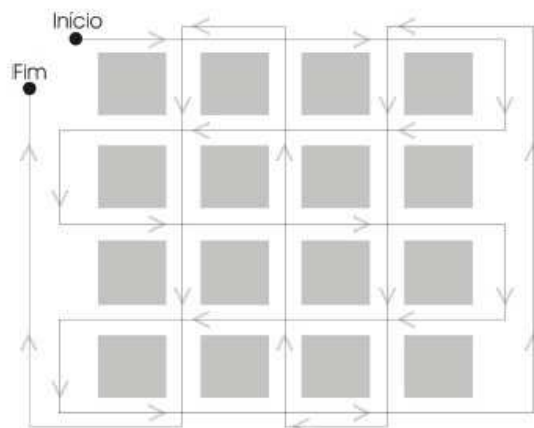


Figura 5.3 - Percurso obtido por um método heurístico. *Optimização de Circuitos de Recolhas de Lixos Domésticos em Zonas Urbanas* (M. J. S. Oliveira, 2008, p. 12), impresso com autorização do autor.

Como se verifica, existe um paralelismo directo entre as Figuras 5.1 e 5.3. O alcance deste novo objectivo passaria pelo percurso inicialmente em todas as estradas *verticais* e posteriormente nas *horizontais*, ou vice-versa. Como se pode ver na Figura 5.3, as estradas fronteiriças têm dois sentidos o que não se verifica plenamente no caso real (Rua Florêncio de Abreu é de sentido único). Este obstáculo pode ser contornado, se se considerar que esta rua tem dois sentidos. Os grafos traduzem unicamente o mapa dos sectores mas nada proíbe que os veículos façam a inversão de sentido numa rua de um sector adjacente. Esta manipulação permite considerar todas as estradas fronteiriças como tendo dois sentidos, sem incorrer em erros significativos. Na Figura 5.4 obtêm-se os grafos finais, os quais servem como base para aplicação da heurística.

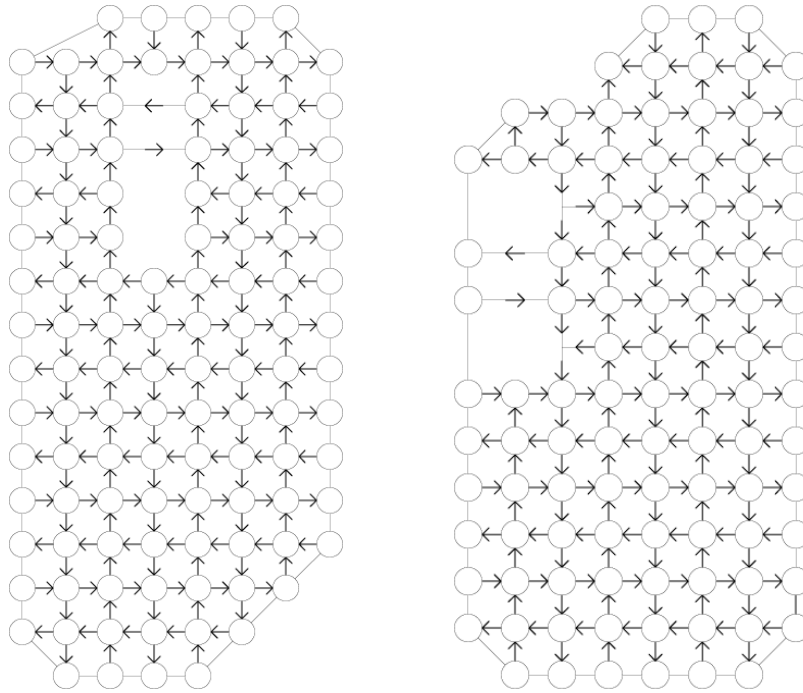


Figura 5.4 - Grafos finais dos sectores 01 e 02

O ponto inicial é definido como sendo o nó número 1 (início da rua Florêncio de Abreu), por ser um dos pontos mais distantes do destino final (aterro). Tal permite que o serviço se vá realizando em direcção do aterro.

Como o grafo é misto torna-se necessária uma metodologia que permita incluir arcos com um sentido ou com dois. Este problema é ultrapassado com a criação de uma matriz de adjacência de dimensão n , onde n representa o número de nós do grafo. Então seja a matriz $A = [a_{ij}]$, definida por:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } ij \text{ pode ser percorrido} \\ 0, & \text{se o arco } ij \text{ não pode ser percorrido} \end{cases} \quad (10)$$

A título de exemplo, considere-se o seguinte grafo misto:

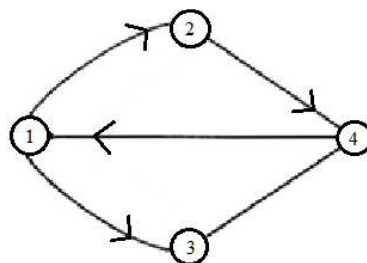


Figura 5.5 - Grafo exemplificativo

A matriz de adjacência do grafo exemplificativo seria então:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Após averiguados quais os nós j alcançáveis a partir do nó i , são calculadas as distâncias, recorrendo à conhecida expressão da distância entre dois pontos com coordenadas cartesianas:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (11)$$

Está descrita a base da heurística que permitiria otimizar o percurso dos CL. O trabalho a desenvolver partiria deste ponto, culminando então no alcance deste segundo objectivo.

Como curiosidade, foi adaptado este caso a uma instância passível de ser aplicada num programa desenvolvido por Lawrence V. Snyder (Departamento de Engenharia Industrial e Sistemas da Universidade de Lehigh, Bethlehem, Pennsylvania, Estados Unidos da América) - *VRP Solver version 1.3*. Esta aplicação utiliza a heurística de CW, com operações 2-opt e Or-opt. Realça-se novamente que a solução obtida serve apenas como curiosidade uma vez que nela não estão considerados os sentidos das ruas nem movimentos proibidos entre pontos, por exemplo, uma hipotenusa entre dois cruzamentos. A criação da instância foi feita recorrendo à aplicação *Google Maps*. A instância tem valores distribuídos por três colunas. As duas primeiras referem-se às coordenadas relativas (x , y), em metros, dos vários pontos de recolha. A terceira coluna serve para identificar a quantidade demandada, q_i , por cada ponto. A instância utilizada está disponível no Anexo F. O *VRP Solver* utiliza o canto inferior direito como sendo a origem (0, 0), crescendo os valores para a esquerda e para cima, perfazendo com que o ponto situado no canto superior esquerdo (700, 1425) seja aquele com maiores valores. Como foi considerado que cada sector é passível de ser actuado por um único veículo, consideraram-se as quantidades q_i muito reduzidas quando comparadas com a capacidade do veículo, permitindo assim essa alocação de um veículo por sector.

Considerou-se como ponto inicial e final (a preto na imagem) o início da Rua Florêncio de Abreu (700, 0). A Figura 5.5 é o resultado obtido na aplicação do programa ao Sector 01. Foram utilizadas 15 iterações, num total de 85 segundos, sendo a distância total de 12014,22 m.

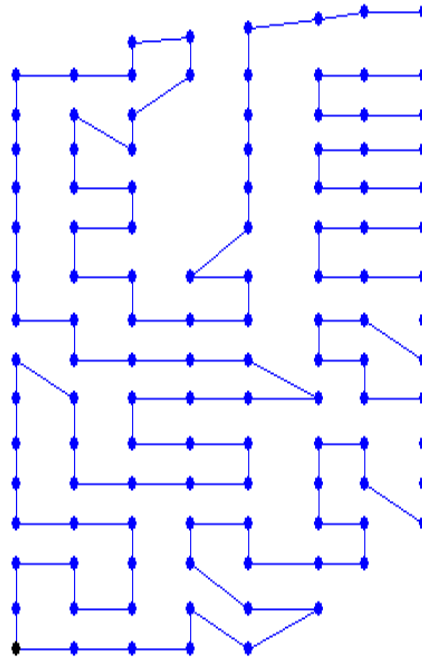


Figura 5.6 - Percurso no Sector 01, usando a heurística de CW

Este primeiro estudo sobre a optimização das rotas serve como introdução para um trabalho futuro, que aporta valor ao projecto *Redimensionamento dos Sectores de Colecta*.

Seria também gratificante a expansão do projecto às demais cidades (ver 1.1) onde a empresa Leão Leão Ambiental actua.

6 Conclusões

A empresa Leão Leão Ambiental é responsável pela recolha de lixo em Ribeirão Preto. Actualmente, a empresa tem a cidade dividida em 53 sectores, solução que se verifica não ser muito eficiente. O serviço é realizado periodicamente, sendo que os sectores são agrupados consoante o período em que é feita a recolha (Tabela 2.2.4). O desenvolvimento das zonas periféricas da cidade, assim como sectores sobrecarregados no centro, sugerem a necessidade de um redimensionamento dos sectores. Verifica-se uma heterogeneidade principalmente na quilometragem e quantidade de lixo produzida por cada sector, existindo sectores sobrecarregados e outros onde o volume de trabalho é consideravelmente menor. Relativamente ao tempo de serviço também existe alguma diferença mas não tão substantiva.

Foi desenhado um novo mapa de sectores de colecta que tivesse em conta estes factores, essencialmente através da experiência de campo que a empresa possui. Foram incluídos quatro novos sectores a cada um dos blocos já existentes, para um total de 57 sectores (Tabela 4.2). Por um lado, os novos sectores 133 e 134 pretendem aliviar a sobrecarga existente no centro da cidade. Por outro lado, o novo desenho em zonas periféricas inclui a aparição de dois novos sectores – 279 e 280, além de uma adaptação dos sectores já existentes. Nas zonas periféricas, contrabalançou-se o surgimento de novos sectores com a adaptação de vários outros, trocando zonas da cidade entre vários sectores. Esta cadeia de acção-reacção na adaptação de vários sectores torna-se mais evidente nas zonas periféricas onde os sectores não são tão compactos devido à topografia de Ribeirão Preto, ao contrário do centro. O novo plano não tenta romper com o passado, apenas acompanhar o desenvolvimento da cidade. Constata-se que a maior parte das adaptações feitas, são entre sectores pertencentes aos mesmos blocos, evitando-se gerar confusão entre os cidadãos que estão habituados aos dias e períodos de recolha. Por exemplo, o S276 passa a englobar zonas que anteriormente pertenciam aos sectores 252 e 278. No entanto, o serviço nestas áreas que foram trocadas continua a realizar-se às segundas, quartas e sextas-feiras, no período nocturno. Apesar de haver alguns sectores que não sofrem alterações do anterior para o novo plano, tentam-se adaptar os novos sectores por toda a cidade, acompanhando as novas exigências. Dos 57 sectores, 14 não sofrem alteração (n.d.r. dois sectores apenas mudam de nomenclatura). Verifica-se que no centro os sectores são mais pequenos que nas zonas periféricas, onde os sectores englobam zonas por vezes independentes. O redimensionamento actua de norte a sul e de este a oeste. Os resultados obtidos com o novo *layout* apenas possam ser comparados depois da entrada em funcionamento do novo desenho, através do acompanhamento das novas RD.

No seguimento do projecto, surge naturalmente um novo objectivo, sendo ele abordado e introduzido ainda na presente Dissertação, sem contudo ser alcançado na íntegra. O segundo objectivo passa pela optimização dos percursos dos veículos dentro de cada um dos sectores. Percursos optimizados permitiriam à empresa realizar o serviço de um modo ainda mais eficiente, reduzindo principalmente os custos em combustível que, como se verifica na Secção 2.2, têm uma importância muito considerável.

O estágio demonstrou ser muito benéfico a nível pessoal e profissional por permitir ganhar experiência laboral, revelando rotinas em ambiente empresarial.

Referências

- R.R. Araújo. Um Modelo de Resolução para o Problema de Roteirização em Arcos com Restrição de Capacidade. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. 2003.
- A. Arnout, S. Coene and F.C.R. Spijksma. On A Periodic Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Journal*. 2010.
- A. Assad, M. Ball, L. Bodin, and B. Golden. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews. *Computers & Operations Research* 10, 63-211. 1983.
- A. Assad, W. Pearn, and B. Golden. The Capacitated Chinese Postman Problem: Lower Bound and Solvable Cases. *American J. of Mathematical and Man. Sci.* 7, 63-88, 1987.
- R. Baldacci and V. Maniezzo. Exact methods based on node routing formulations for arc routing problems. *Department of Computer Science, University of Bologna*. 2004.
- E.J. Beltrami and L. D. Bodin. Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*, 4:65-94. 1974.
- E. Benavent, V. Campos, A. Corben, and E. Mota. The Capacitated Arc Routing Problem. A Heuristic Algorithm. *Questio* 14, 107-122. 1990.
- L.D. Bodin. Twenty years of routing and scheduling. *Operations Research*, 38(4), 571-579. 1990.
- J.C. Branco, J.M. Corte-Real, F. Furtado, C. Mariz, e A. Moreira. Abordagem ao Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows utilizando o Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, *Métodos Quantitativos de Apoio à Decisão FEUP*. 2010.
- G. Clarke and J. Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, 12, 4, 568-581. 1964.
- G.B. Dantzing and JH Ramser. The truck dispatching problem. *Management Science*, 6:80. 1959.
- E.D. Demaine and R. Hearn. Algorithmic Combinatorial Game Theory. *MIT CSAIL Publications and Digital Archive*. 2007.
- M. Dror (Ed.). ARC Routing: Theory, Solutions and Applications, *Kluwer Academic Publishers*, Massachusetts. 2000.
- J. Edmonds and E. Johnson. Matching Euler Tours and The Chinese Postman. *Mathematical Programming*, v.5, 88-124. 1973.

- M. Gaudioso and G. Paletta. A Heuristic for the Periodic Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, vol.26, n.2. 1992.
- B.L. Golden and W. R. Stewart. Empirical analysis of heuristics in The Traveling Salesman Problem, *John Wiley & Sons, Inc.*. 1985.
- B. Golden and F. Li. Modeling and Solving Variants of the Vehicle Routing Problem: Algorithms, Test Problems, and Computational Results. *University of Maryland at College Park*. 2005.
- M. Guan. Graphic Programming using odd and even points. *Chinese Mathematics* 1, 273-277. 1962.
- Higiene e Segurança no Trabalho – Manual de Formação – Programa Formação PME. 2004.
- IBAM, Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Publicação elaborada pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal, sob o patrocínio da Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR, 2001.
- M. J. S. Oliveira. Optimização de Circuitos de Recolha de Lixos Domésticos em Zonas Urbanas. *Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Ciências de Engenharia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. 2008.
- C. Orloff. A fundamental problem in vehicle routing". *Networks* 27, 95-108. 1974.
- Ke Tang and Xin Yao. Memetic Algorithm with Extended Neighborhood Search for Capacitated Arc Routing Problems. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol.13, n.5. 2009.
- C.D.J. Waters. Vehicle Scheduling Revisited, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 35, No. 2. 145-148. 1984.

Anexo A – Relatório Diário de Coleta Domiciliar

RELATÓRIO DIÁRIO DE COLETA DOMICILIAR DATA: ____/____/____ SETOR: _____
 () DIURNA () NOTURNA



INFORMAÇÕES DO VEÍCULO

PREFIXO: CL- _____	SAÍDA DA GARAGEM	CHEGADA À GARAGEM	ABASTECIMENTO	TACÓGRAFO (OD)	HORÍMETRO	CHUVA
CELULAR: _____	Hora: _____	Hora: _____	Qtd: _____	Km Inicial: _____	Inicial: _____	Sim ()
COL PONTO: _____	Km: _____	Km: _____	Km: _____	Km Final: _____	Final: _____	Não ()

INFORMAÇÕES DA COLETA

Viagem	Hora Inicial	Km Inicial	Hora Final	Km Final	Hora Balança	Km Balança	Peso Bruto	Tara	Peso Líquido	Visto do Fiscal
1	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
2	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
3	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
4	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

INFORMAÇÕES DA EQUIPE

Função	Nome do Funcionário	INÍCIO	INTERVALO		TÉRMINO	VISTO DO FUNCIONÁRIO
			INÍCIO	TÉRMINO		
Motorista		:	:	:	:	CENTRAL DE ATENDIMENTO: 0800 704 3013
1º Coletor		:	:	:	:	ELIAS - 9156-3185
2º Coletor		:	:	:	:	CÉLIO - 9156-0066
3º Coletor		:	:	:	:	OFICINA - 9138-8176
4º Coletor		:	:	:	:	WILLIAN - 9106-1222
		:	:	:	:	HAROLDO - 9193-8469

RELAÇÃO DE OCORRÊNCIAS

Ocorr.	Hora Inicial	Hora Final	Descrição
1	:	:	
2	:	:	
3	:	:	
4	:	:	
5	:	:	

Assinatura e Carimbo - Motorista _____ Assinatura e Carimbo - Encarregado _____ 8

E OBRIGATORIO A ENTREGA DOS TICKETS DE PESAGENS JUNTO A ESSA RD DIARIAMENTE

Anexo B – Sectores de Colecta de Ribeirão Preto



Anexo C – Características dos Sectores de Colecta

Tabela C.1 - Características das Sectores: Diários

Sector	Distância (Km)	Tempo (hhh:mm)	Quantidade de RSU (Kg)
01	2293	208:18	392580
02	1763	209:00	364950
03	2458	201:32	280270

Tabela C.2 - Características dos Sectores Nocturnos: 3ª, 5ª e Sábado

Sector	Distância (Km)	Tempo (hhh:mm)	Quantidade de RSU (Kg)
111	1232	91:17	200417
113	1295	120:42	206720
115	1448	128:01	195760
117	1211	114:33	239480
119	1213	130:00	194705
121	1403	124:53	191999
123	1261	120:14	217820
125	962	104:24	184806
127	1139	106:14	175330
129	1351	108:49	199463
131	1334	81:26	241501

Tabela C.3 Características dos Sectores Nocturnos: 2ª, 4ª e 6ª feira

Sector	Distância (Km)	Tempo (hhh:mm)	Quantidade de RSU (Kg)
112	1195	91:23	204905
114	1381	114:15	244660
116	1108	121:31	229600
118	1288	106:28	204350
120	1152	125:25	304780
122	1360	118:48	209360
124	1241	119:59	195970
126	1076	106:20	215850
128	949	112:39	197260
130	1351	119:34	225276
132	1104	96:54	210940

Tabela C.4 - Características dos Sectores Diurnos: 3^a, 5^a e Sábado

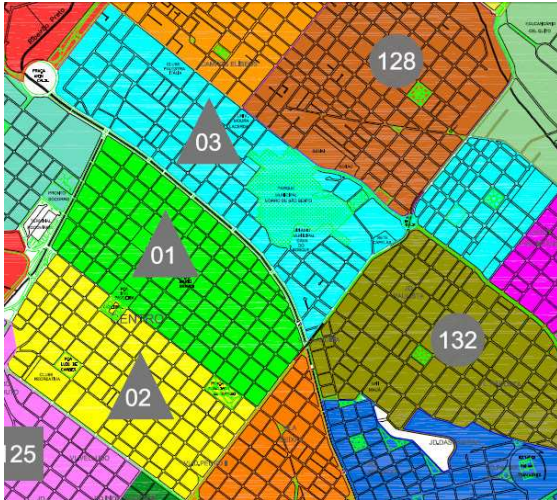
Sector	Distância (Km)	Tempo (hhh:mm)	Quantidade de RSU (Kg)
251	1392	104:01	229058
253	1469	116:54	203120
255	1600	116:10	220600
257	1313	109:05	188736
259	1290	125:05	205434
261	1455	108:37	210810
263	1363	119:50	255790
265	1019	119:39	280406
267	1326	124:50	226915
269	1617	102:44	237584
271	1797	112:12	218829
273	1919	131:53	208024
275	1363	108:47	214730
277	1790	126:23	262817

Tabela C.5 - Características dos Sectores Diurnos: 3^a, 5^a e 6^a feira

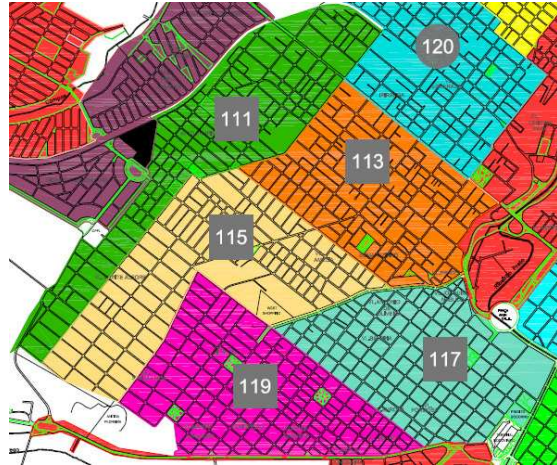
Sector	Distância (Km)	Tempo (hhh:mm)	Quantidade de RSU (Kg)
252	2071	121:00	180270
254	1612	110:53	221500
256	1608	110:47	238257
258	2567	108:39	218043
260	2033	128:15	257390
262	1992	122:53	181240
264	1979	130:14	231360
266	1993	128:57	197460
268	1669	124:39	192700
270	1493	108:19	155374
272	1380	112:48	198142
274	1443	101:29	173940
276	1568	106:44	181220
278	1782	118:29	177440

Anexo D – Novos sectores de colecta

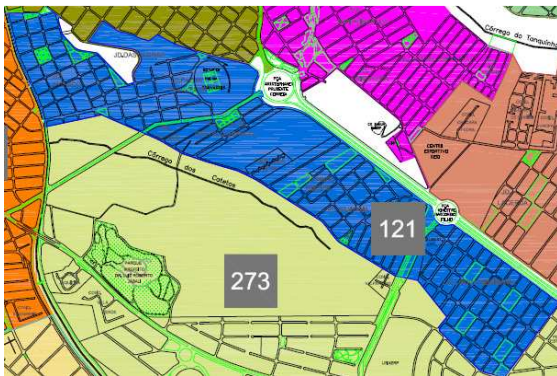
Sectores 01, 02 e 03



Sectores 111, 113, 115, 117 e 119



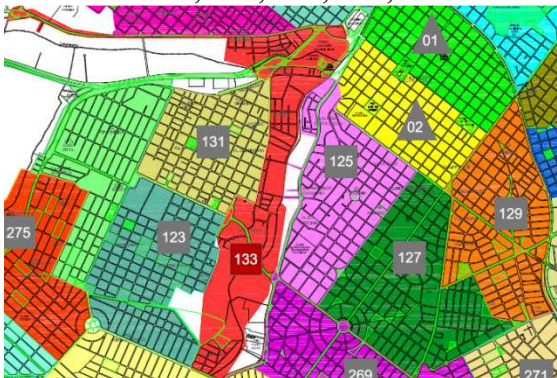
Sector 121



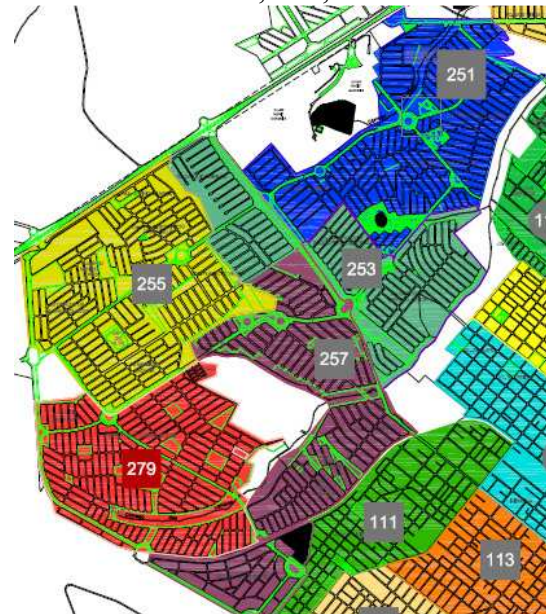
Sector 123



Sectores 123, 125, 127, 129, 131 e 133



Sectores 251, 253, 255 e 257



Redimensionamento dos Sectores de Colecta

Sector 259



Sector 261



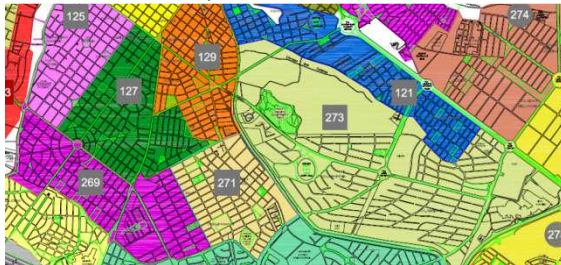
Sectores 263 e 265



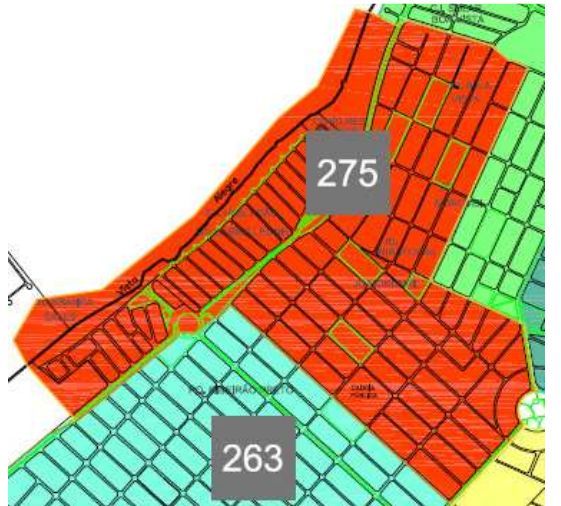
Sector 267



Sectores 269, 271 e 273

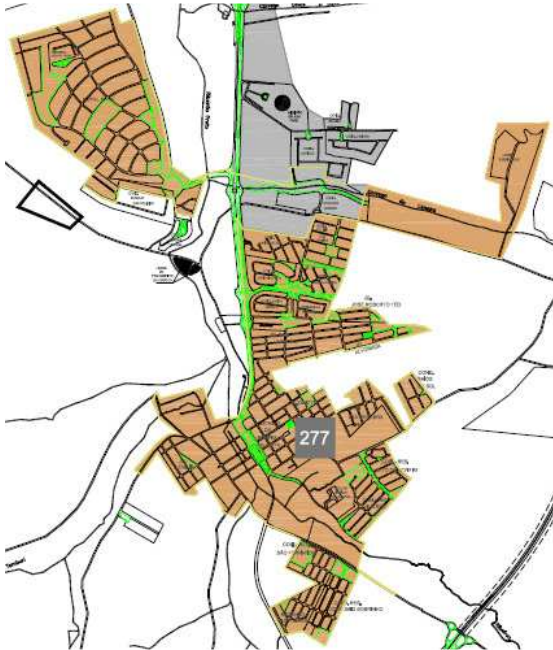


Sector 275



Redimensionamento dos Sectores de Colecta

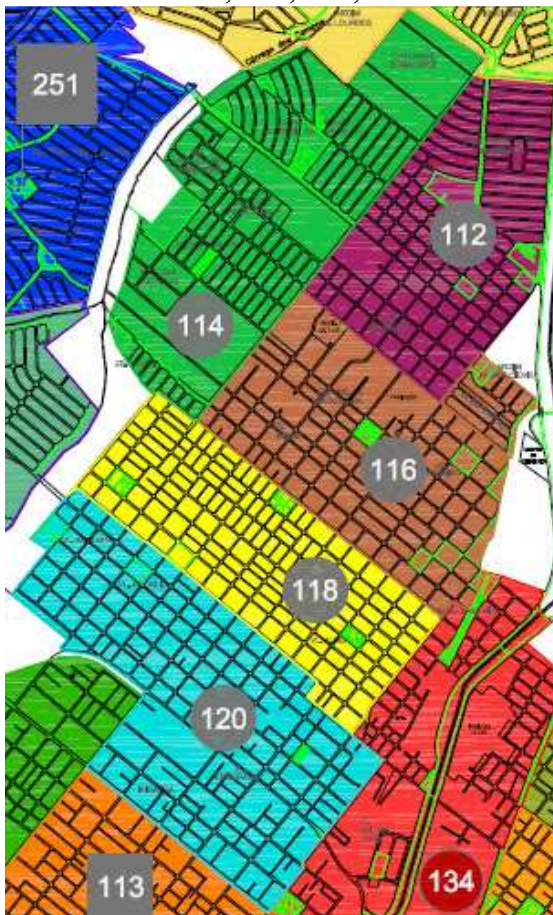
Sector 277



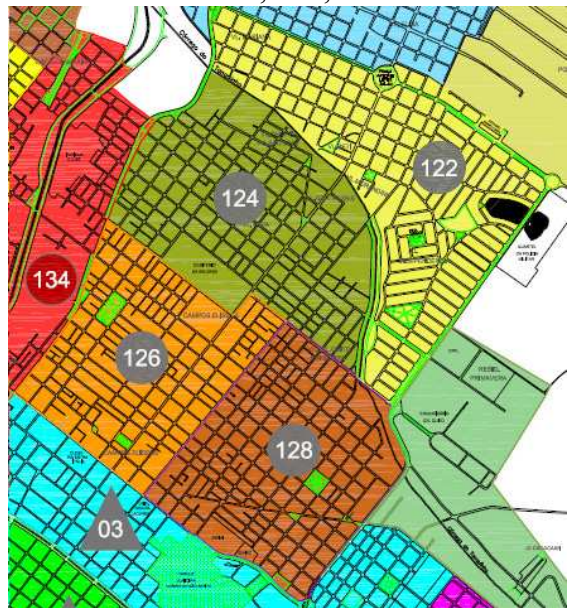
Sector 279



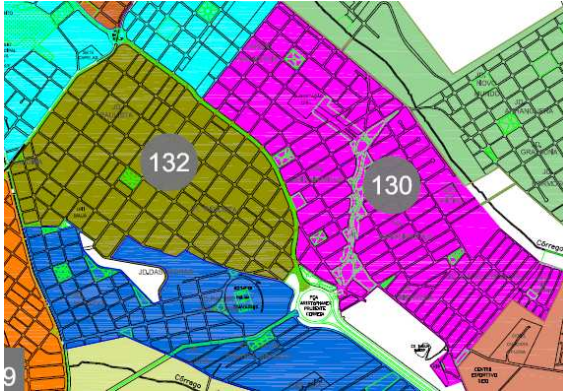
Sectores 112, 114, 116, 118 e 120



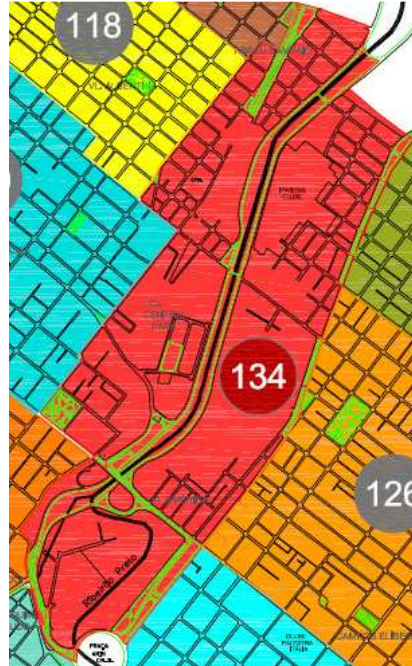
Sectores 122, 124, 126 e 128



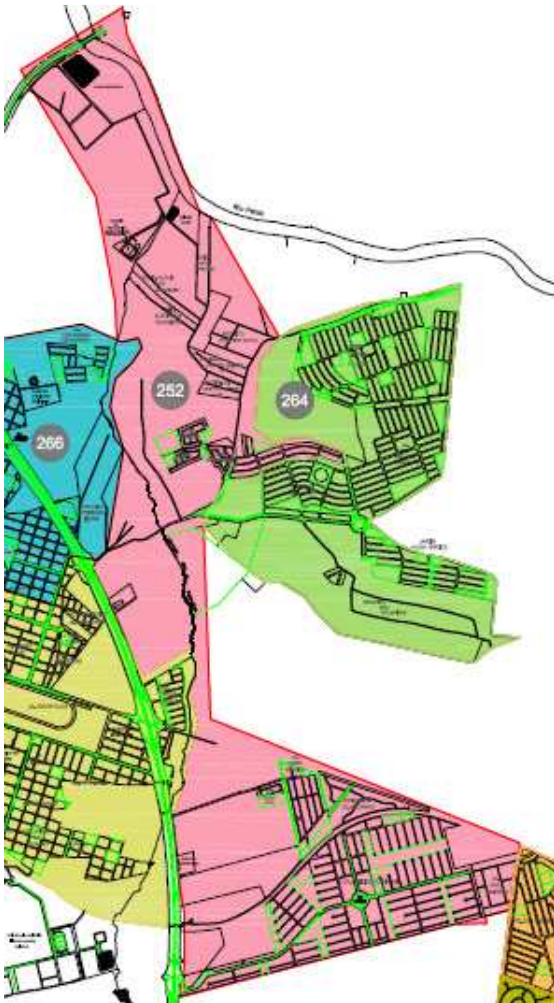
Sectores 130 e 132



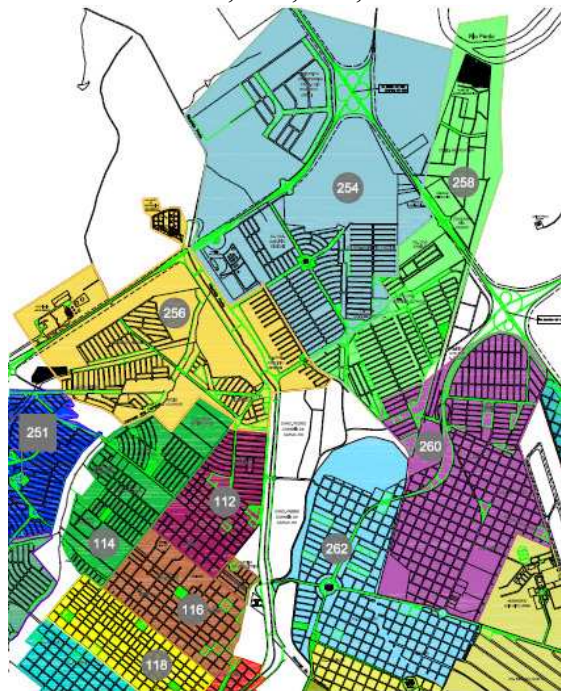
Sector 134



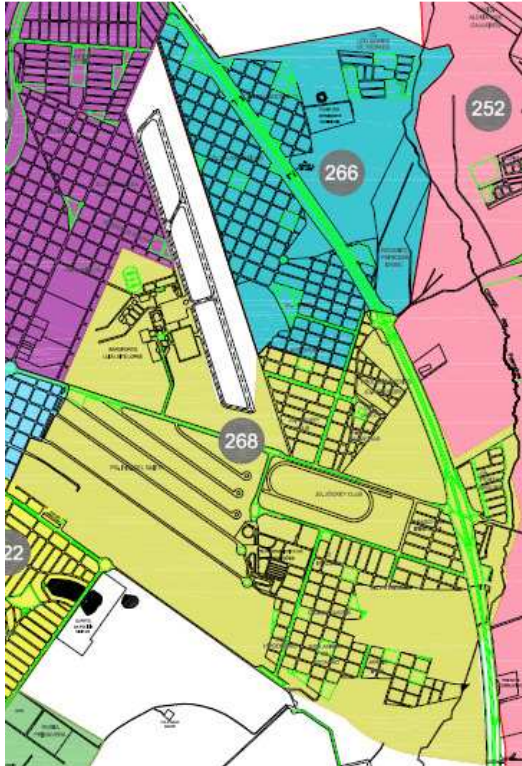
Sectores 252 e 264



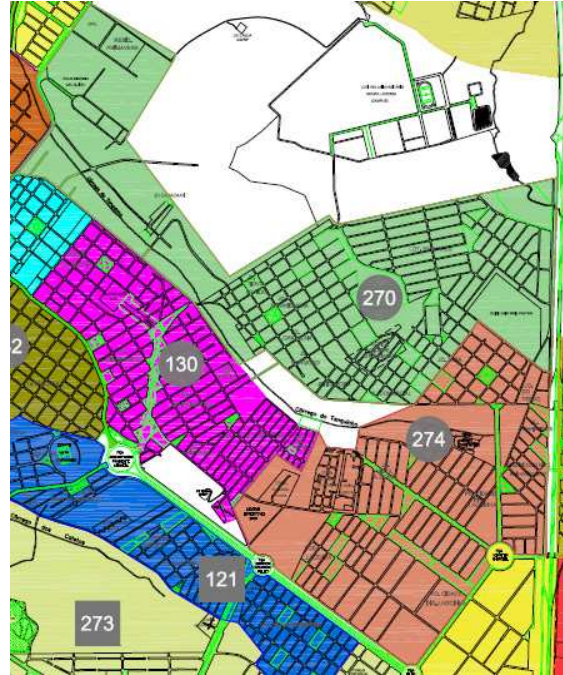
Sectores 254, 256, 258, 260 e 262



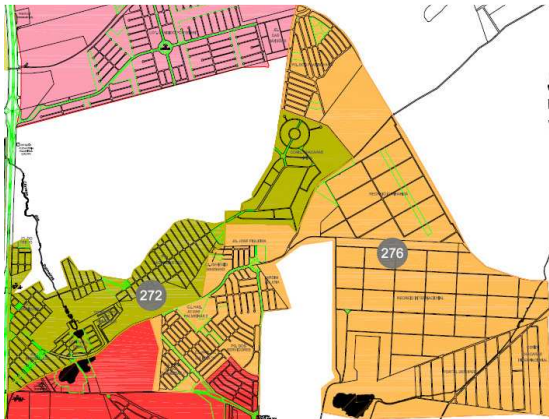
Sector 266 e 268



Sectores 270 e 274



Sectores 272 e 276



Sector 278



Sector 280



Anexo E – Algoritmo da heurística de Clarke e Wright

- STEP 1: Calculate the savings $s(i, j) = d(D, i) + d(D, j) - d(i, j)$ for every pair (i, j) of demand points.
- STEP 2: Rank the savings $s(i, j)$ and list them in descending order of magnitude. This creates the "savings list." Process the savings list beginning with the topmost entry in the list (the largest $s(i, j)$).
- STEP 3: For the savings $s(i, j)$ under consideration, include link (i, j) in a route if no route constraints will be violated through the inclusion of (i, j) in a route, *and* if:
- a. *Either*, neither i nor j have already been assigned to a route, in which case a new route is initiated including both i and j .
 - b. *Or*, exactly *one* of the two points (i or j) has already been included in an existing route and that point is not interior to that route (a point is interior to a route if it is not adjacent to the depot D in the order of traversal of points), in which case the link (i, j) is added to that same route.
 - c. *Or*, *both* i and j have already been included in two different existing routes and neither point is interior to its route, in which case the two routes are merged.
- STEP 4: If the savings list $s(i, j)$ has not been exhausted, return to Step 3, processing the next entry in the list; otherwise, *stop*: the solution to the VRP consists of the routes created during Step 3. (Any points that have not been assigned to a route during Step 3 must each be served by a vehicle route that begins at the depot D visits the unassigned point and returns to D .)

Anexo F – Instância a aplicada no *VRP Solver*

x	y	q
700	0	
700	1425	1
700	1325	1
700	1240	1
700	1145	1
700	1045	1
700	925	1
700	815	1
700	715	1
700	620	1
700	510	1
700	410	1
700	310	1
700	210	1
700	100	1
700	1	1
600	1425	1
600	1325	1
600	1240	1
600	1145	1
600	1045	1
600	925	1
600	815	1
600	715	1
600	620	1
600	510	1
600	410	1
600	310	1
600	210	1
600	100	1
600	0	1
500	1505	1
500	1425	1
500	1325	1
500	1240	1
500	1145	1
500	1045	1
500	925	1
500	815	1

500	715	1
500	620	1
500	510	1
500	410	1
500	310	1
500	210	1
500	100	1
500	0	1
400	1520	1
400	1425	1
400	925	1
400	815	1
400	715	1
400	620	1
400	510	1
400	410	1
400	310	1
400	210	1
400	100	1
400	0	1
300	1545	1
300	1425	1
300	1325	1
300	1240	1
300	1145	1
300	1045	1
300	925	1
300	815	1
300	715	1
300	620	1
300	510	1
300	410	1
300	310	1
300	210	1
300	100	1
300	0	1
180	1565	1
180	1425	1
180	1325	1
180	1240	1

180	1145	1
180	1045	1
180	925	1
180	815	1
180	715	1
180	620	1
180	510	1
180	410	1
180	310	1
180	210	1
180	100	1
100	1585	1
100	1425	1
100	1325	1
100	1240	1
100	1145	1
100	1045	1
100	925	1
100	815	1
100	715	1
100	620	1
100	510	1
100	410	1
100	310	1
100	210	1
0	1585	1
0	1425	1
0	1325	1
0	1240	1
0	1145	1
0	1045	1
0	925	1
0	815	1
0	715	1
0	620	1
0	510	1
0	410	1
0	310	1