

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelo para Otimização das Rotas de Recolha de Resíduos no
Concelho de Santarém**

Daniela Alexandra Vieitos Salgado

Relatório de estágio orientado
pelo Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha e
Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2020

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelo para Otimização das Rotas de Recolha de Resíduos no
Concelho de Santarém**

Daniela Alexandra Vieitos Salgado

Relatório de estágio orientado
pelo Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha e
Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Margarida Maria de Araújo Abreu Vilar de Queirós
do Vale do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de
Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor Rui Pedro de Sousa Pereira Monteiro do Julião da Faculdade
de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa
- Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do Instituto de
Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2020

Índice

Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tabelas	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. Introdução.....	1
2. Resíduos Sólidos Urbanos.....	5
2.1. Conceitos e Enquadramento no contexto Europeu	5
2.2. Produção e Gestão de Resíduos em Portugal	8
2.2.1. Recolha, Triagem e Transporte.....	13
2.2.2. Tratamento, Valorização e Eliminação	15
3. Sistemas de Informação Geográfica	17
3.1. Importância dos SIG	17
3.2. Modelos Matricial e Vetorial.....	18
3.3. Aplicabilidade dos SIG nos Sistemas de Gestão de RSU	21
4. Otimização de Rotas	23
4.1. Teoria dos Grafos	23
4.2. Problemas de Rotas.....	24
4.2.1. Problemas de Rotas em Nós - Problema do Caixeiro Viajante.....	24
4.2.2. Problemas de Rotas em Arestas ou Arcos - Problema do Carteiro Chinês ...	25
4.3. Método para Otimização de Rotas	25
4.3.1. Modelo em Rede	26
4.3.2. SIG na Otimização de Rotas – ArcGIS, Network Analyst	27
4.3.2.1. ArcGIS for Desktop.....	27
4.3.2.2. Network Analyst.....	28
5. Caso de Estudo: Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Santarém ...	38

5.1.	Enquadramento da área de estudo	38
5.2.	Gestão e Produção de RSU no Município	40
5.2.1.	Gestão da Câmara Municipal e RRI	40
5.2.2.	Recolha e Transporte.....	42
5.2.2.1.	Equipamentos de deposição de resíduos	42
5.2.2.2.	Circuitos de Recolha.....	45
5.2.2.3.	Viaturas de recolha e transporte	47
5.2.3.	Tratamento, Valorização e Eliminação – RESITEJO	49
5.2.4.	Produção de RSU	52
6.	Dados e Metodologia.....	57
6.1.	Objetivo	57
6.2.	Base de Dados	57
6.2.1.	Limites administrativos das freguesias.....	59
6.2.1.1.	Atributos	59
6.2.2.	Cadastro dos Contentores.....	60
6.2.2.1.	Atributos	61
6.2.3.	Eixos de Via.....	62
6.2.3.1.	Atributos	65
6.3.	Metodologia – ArcGIS (Network Analyst)	67
6.3.1.	Network Dataset.....	67
6.3.2.	Vehicle Routing Problem – Network Locations	69
6.3.2.1.	Orders (Locais de Recolha)	69
6.3.2.2.	Depots (Local de partida/Locais de descarga dos veículos)	70
6.3.2.3.	Routes	71
6.3.2.4.	Route Renewals	72
7.	Resultados e Discussão.....	74
7.1.	Circuitos otimizados.....	74

7.1.1. Circuitos Urbanos	75
7.1.2. Circuitos Rurais	84
7.1.2.1. CMS	84
7.1.2.2. RRI	90
7.2. Discussão dos Resultados.....	97
8. Considerações Finais.....	101
Referências Bibliográficas.....	104
ANEXOS.....	110

Índice de Figuras

Figura 1 - Resíduos Municipais produzidos na União Europeia (EU-28) (Pordata, 2016)	7
Figura 2 - Tratamento aplicado aos resíduos municipais na União Europeia (UE-28), num período de 10 anos (Pordata, 2007 - 2017).....	8
Figura 3 - Mapa da distribuição geográfica dos SGRU em território nacional (APA, 2016) .	10
Figura 4 - Resíduos urbanos por tipo de recolha produzidos em Portugal (Pordata, 1997 - 2017).....	12
Figura 5 - Resíduos biodegradáveis depositados em aterros (face a 1995), em Portugal. (INE, 2008 - 2017)	13
Figura 6 - Componentes essenciais dos sistemas de informação geográfica	18
Figura 7 - Modelos de dados espaciais: Modelo Vetorial e Modelo <i>Raster</i> (Morais, 2013)	19
Figura 8 – (a) Mapa das pontes de Königsberg. (b) Representação gráfica de Euler (Bondy e Murty, 1976).....	24
Figura 9 - Ambiente de trabalho das três aplicações (ArcMap, ArcToolBox e ArcCatalog) .	28
Figura 10 - Exemplo do Algoritmo de Dijkstra (Adaptado Karadimas <i>et al.</i> , 2007).....	29
Figura 11 - Elementos chave do Network Analyst (Esri)	31
Figura 12 - Enquadramento geográfico do município de Santarém, identificação das respetivas freguesias	39
Figura 13 - Área sob a alçada de cada entidade, RRI e CMS	40
Figura 13 - Área sob a alçada de cada entidade, RRI e CMS.	40
Figura 14 - Contentores de superfície existentes no município de Santarém	43
Figura 15 - Contentores de subterrâneos existentes no município de Santarém.....	43
Figura 16 - Veículo de recolha de resíduos com grua da CMS	48
Figura 17 - Viste aérea do Eco Parque do Relvão (AEPR, 2018)	50
Figura 18 - Localização das infraestruturas (Adaptado Resitejo, 2015)	51
Figura 19 - Total de resíduos urbanos indiferenciados recolhidos, e total de resíduos depositados em aterro no município de Santarém, entre 1995 e 2017 (INE)	53
Figura 20 - Média diária em toneladas de resíduos indiferenciados recolhidos em cada circuito da CMS (dados referentes a 2019), (DEPA/CMS)	54
Figura 21 - Média diária em toneladas de resíduos indiferenciados recolhidos em cada circuito da RRI (dados referentes a 2019), (DEPA/CMS)	55

Figura 22 – Tabela de atributos da <i>layer</i> correspondente aos limites administrativos das freguesias.....	59
Figura 23 – Identificação do Erro, quando aplicada a regra <i>Must Not Overlap (ESRI)</i>	64
Figura 24 – Identificação do Erro, quando aplicada a regra <i>Must No Have Dangles (ESRI)</i>	64
Figura 25 - Intersecção de passagens de diferentes níveis (ESRI).....	67
Figura 26 - Procedimentos para a criação da <i>Network Dataset</i>	68
Figura 27 - Propriedades da classe <i>Orders</i>	70
Figura 28 - Propriedades da classe <i>Routes</i>	71
Figura 29 - Propriedades da <i>layer Vehicle Routing Problem</i>	75
Figura 30 - Proposta dos circuitos urbanos 1 e 1.1	77
Figura 31 - Proposta dos circuitos urbanos 2, 2.1 e 2.2	79
Figura 32 - Proposta dos circuitos urbanos 3, 3.1 e 3.2	81
Figura 33 - Proposta do circuito urbano 4.....	83
Figura 34 - Proposta do circuito 1	85
Figura 35 - Proposta do circuito 2	87
Figura 36 - Proposta dos Circuitos 3, 4 e 5	89
Figura 37 - Proposta dos circuitos 1,2 e 3	91
Figura 39 - Proposta dos circuitos 4, 5 e 6.....	94
Figura 40 - Proposta dos circuitos 7, 8 e 9.....	96

Índice de Tabelas

Tabela 1 – <i>Queue</i> , registos dos nós processados referentes ao grafo (Karadimas et al., 2007)	30
Tabela 2 - Classes de análise da funcionalidade <i>Service Areas</i>	32
Tabela 3 - Classe de análise da funcionalidade <i>Route</i>	32
Tabela 4 - Classes de análise da funcionalidade <i>Closest Facility</i>	33
Tabela 5 - Classes de análise da funcionalidade <i>Origin-Destination Cost Matrix</i>	34
Tabela 6 - Classes de análise da funcionalidade <i>Location-allocation</i>	35
Tabela 7 -Classes de análise da funcionalidade <i>VRP</i>	36
Tabela 8 - Dados referentes aos habitantes, área e entidade responsável pela recolha dos RSU em cada freguesia do município de Santarém (INE, 2011 e CMS, 2019)	41
Tabela 9 - Número de equipamentos de deposição por freguesia	45
Tabela 10 - Veículos de recolha de resíduos da CMS, respetiva capacidade de carga (CMS)	47
Tabela 11 - Veículos de recolha de resíduos da RRI, e respetiva capacidade de carga (RRI)	48
Tabela 12 - Informação referente aos dados	59
Tabela 13 - Atributos dos Contentores	61
Tabela 14 - Informação referente à capacidade mássica dos contentores	62
Tabela 15 - Atributos da Rede Viária	65
Tabela 16 - Características dos circuitos urbanos 1 e 1.1	77
Tabela 17 - Características dos circuitos urbanos 2, 2.1 e 2.2	79
Tabela 18 - Características dos circuitos urbanos 3, 3.1 e 3.2	82
Tabela 19 - Características do circuito urbano 4	83
Tabela 20 - Características do circuito rural 1	86
Tabela 21 - Características do circuito rural 2	87
Tabela 22 - Características dos circuitos rurais 3, 4 e 5	89
Tabela 23 - Características dos circuitos 1, 2 e 3	92
Tabela 24 - Características dos circuitos 4, 5 e 6	94
Tabela 25 - Características dos circuitos 7, 8 e 9	96
Tabela 26 - Proposta da distribuição diária dos circuitos para a CMS	97
Tabela 27 - Proposta da distribuição diária dos circuitos para a RRI	98

LISTA DE ABREVIATURAS

AEPR – Associação Eco Parque do Relvão

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CMS – Câmara Municipal de Santarém

DEPA – Divisão de Espaços Públicos e Ambiente

ENRRUBDA – Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis
Destinados aos Aterros

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

ESGRA – Associação para Gestão de Resíduos

INE – Instituto Nacional de Estatística

IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos

PAA – Programa de Ação em matéria de Ambiente

PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

RRI – Recolha de Resíduos Industriais

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SBD – Sistemas de Base de Dados

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SGRU – Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos

UE – União Europeia

UTMB – Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico

VRP – *Vehicle Routing Problem*

RESUMO

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, SIG, Network Analyst, otimização de rotas, Santarém

A gestão dos resíduos sólidos urbanos é um processo de elevada complexidade. Os municípios devem seguir diferentes normas definidas a nível nacional e europeu. Por outro lado, os processos de recolha e transporte acarretam elevados custos, correspondendo a uma elevada porção do orçamento destinado a este setor. Deste modo, é fundamental que o todos estes procedimentos se realizem de forma eficiente.

No âmbito do estágio realizado na Câmara Municipal de Santarém, foi definido como objetivo otimizar o atual sistema de rotas de recolha dos resíduos indiferenciados, em todo o município. Deste modo, o presente relatório pretende expor toda a informação referente a este sistema, e todos os procedimentos realizados tendo em vista a otimização das rotas. Devido à extensão do concelho, atualmente os circuitos de recolha são realizados por duas entidades, a CMS e RRI.

Os SIG serão um elemento chave, permitindo integração e o cruzamento de informação geográfica. Um exemplo é o software *ArcGIS*, utilizado neste estudo, que dispõem de diversas ferramentas, como a extensão *Network Analyst*. Esta desempenha um papel crucial na tomada de decisões estratégicas, possibilitando a análise espacial em rede. No presente estudo é fundamental uma *network dataset* que contenha todos os atributos referentes à rede viária, para a posterior execução dos processos de otimização. Assim, recorrendo à funcionalidade *Vehicle Routing Problem*, disponibilizada nesta extensão, tentar-se-á criar circuitos que englobem o maior número de pontos de recolha ao longo trajeto mais curto/rápido.

Foi considerada a atual distribuição dos equipamentos de deposição, pelas duas entidades. Por outro lado, foi equacionada uma alternativa ao atual local de descarga, visto que a sua localização é desvantajosa para diversas rotas. Com esta alternativa o tempo despendido no trajeto até ao local de descarga, e posteriormente até ao estaleiro, no caso dos circuitos na parte norte do concelho, reduz substancialmente.

Em suma, no caso da CMS foi possível uma redução no número de circuitos face ao realizado atualmente. Enquanto, no caso da RRI foi possível verificar que para percorrer toda a área sob a sua alçada os dois veículos que dispõe não são suficientes, se considerados os atuais turnos.

ABSTRACT

KEYWORDS: Urban Solid Waste, GIS, Network Analyst, Routes of Optimization, Santarém

The Municipal solid waste management it is a complex process, the municipal should follow different standards already defined in a national and european level. Otherwise, this type of procedures have an expensive monetary value, which corresponds to a huge amount destined to this sector. In this way, it is fundamental that this process of collection and transport must be realize in an efficient way.

In the context of my internship in CMS, was defined the optimization of the actual route collection of the undifferentiated waste. The present report intends to expose the information about the actual system and all the procedures done relative to the rout optimization. Due to the territorial extension, actually, the collection circuits are done by two entities, the CMS and RRI.

The Geography Information System have a crucial role, allowing the integration and the cross of geography information. An example of that it is the software ArcGIS, used in this project, which have several tools, like the extension Network Analyst. This is an important element to take strategic decisions, allowing the spatial network analysis. In the present study it is fundamental an network dataset that carries all the necessary attributes to the layer road, to the subsequently execution of the optimization process. Anyway, using the functionality of Vehicle Routing Problem, available in this extension, I will try to create circuits that encompass a bigger number of collection points along a short/fast rout.

Was consider the actual distribution of containers, done by two entities. Otherwise, was round an alternative to the actual discharge location, from the reason of the disfavored location to diverse routers. With this alternative of time spent in the itinerary to the discharge local/ depot then until the shipyard, in case of the circuits in the north of Santarém, reduce significantly.

As a final point, in case of CMS was possible a reduction in the numbers of circuits compared to one currently performed. While, in case of the RRI was possible to verify two vehicles are not enough to cover the entire area, if you consider the current work shifts.

1. Introdução

Uma das principais problemáticas com que a sociedade se depara hoje em dia, reside na produção excessiva de resíduos e nas consequências que advêm da sua incorreta gestão. Face a esta, situação surgem questões como a necessidade de limitar o poder de mercado dos proprietários de aterros, e garantir que este seja um negócio sustentável para os investidores, tendo como prioridade máxima a qualidade ambiental.

A nível europeu as políticas são direcionadas para a redução das emissões, controle da produção de resíduos, e extinção da deposição ilegal de resíduos. Logo, é fundamental a adoção de modelos de gestão que visem a sustentabilidade ambiental. Deste modo, as entidades responsáveis por este setor devem aplicar medidas que assegurem os objetivos delineados tanto a nível europeu, como a nível nacional.

A eficiência do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), só é possível quando existe um sistema de rotas otimizado que permita o controle de gastos desnecessários, e que simultaneamente dê resposta à comunidade e esta se sinta satisfeita com o serviço prestado. É do interesse geral que os resíduos sejam recolhidos, mas por outro lado, tem sido crescente a preocupação com o fim dado a estes resíduos.

A tecnologia dos sistemas de informação geográfica (SIG) tem sido reconhecida como uma das abordagens mais promissoras no que diz respeito ao processo de automatizar o planeamento e gestão de resíduos (Chalkias e Lasaridi, 2011). Assim, os principais produtos de software SIG são capazes de executar qualquer operação concebível em qualquer tipo reconhecido de informação geográfica (Goodchild, 2009).

Face ao exposto, e no âmbito do estágio curricular realizado na Câmara Municipal de Santarém, mais especificamente no sector de SIG inserido na Divisão de Planeamento e Urbanismo. O presente relatório pretende expor o atual sistema de gestão de RSU efetuado no município, e com base neste otimizar o sistema de rotas de recolha de resíduos indiferenciados. Visto que este é um dos setores no qual os municípios investem grande parte do seu orçamento, é importante que este seja viável, mas garantindo sempre a satisfação geral, tanto da entidade que presta o serviço como daqueles a quem o serviço é prestado. Na sequência do referido, os objetivos a alcançar no decorrer do estágio consistem:

- Recolher toda a informação referente ao sistema de gestão de RSU na área de estudo;
- Atualizar todos os dados referente ao cadastro dos contentores no concelho de Santarém;
- Atualizar toda a informação pertencente à rede viária do município;
- Analisar a eficiência do atual sistema;
- Aplicar os SIG nos Sistemas de Gestão de RSU;
- Otimizar os atuais circuitos de recolha;
- Comparar os resultados obtidos com outros indicadores.

Posto isto, um elemento crucial neste processo de otimização de rotas são os SIG, que apresentam uma diversidade de aplicabilidade em inúmeras áreas. Na área da gestão de resíduos, os SIG possuem múltiplas aplicações que vão desde a representação simples de ecopontos, circuitos ou áreas de serviço (cadastro), passando pela ligação a outra informação de representação geográfica (cadastro de habitação, ou população, redes de distribuição de tráfego, etc.), até às aplicações de análise geográfica (redes, etc.). Um exemplo é a criação de um percurso ótimo, com custos e distâncias menores (Rada *et al.*, 2013).

O presente relatório subdivide-se em 7 capítulos, nos quais são abordados os conteúdos posteriormente referidos.

O primeiro capítulo é composto por uma breve introdução na qual é descrito o tema de enfoque, os objetivos a alcançar e a estruturação do relatório. Seguidamente, ao longo dos capítulos 2, 3 e 4 são expostos alguns conceitos fundamentais à correta assimilação do tema apresentado neste relatório. Desde modo, o capítulo 2 refere-se a toda a logística associada aos sistemas de gestão de RSU, evidenciando alguns indicadores de relevância em termos europeus e nacionais. Por sua vez, o terceiro capítulo vem introduzir o tema dos sistemas de informação geográfica, e de que forma estes podem ser uma mais valia na gestão de resíduos. No caso do quarto capítulo, este apresenta diferentes teorias/problemas associados à otimização de rotas. É neste ponto que se introduz teoricamente o método a aplicar no presente estudo.

Nos próximos capítulos, procede-se à exposição da vertente prática do presente relatório. Posto isto, o capítulo 5 é composto pelo enquadramento da área de estudo, e a respetiva descrição de todos os elementos pertinentes à compreensão da realidade existente nessa mesma área. Seguidamente, no sexto capítulo são referidos todos os dados utilizados e as atualizações realizadas de modo a que fosse possível uma maior veracidade e exatidão dos resultados. São também descritos todos procedimentos metodológicos executados com recurso à extensão *Network Analyst* do software *ArcGIS*.

Por fim, o último capítulo expõe todos os resultados obtidos, e a respetivas análises. Assim como a comparação entre esses resultados e outros de dados que permitam a obtenção de informações de pertinentes, e com utilidade para a futura gestão dos resíduos no município de Santarém.

2. Resíduos Sólidos Urbanos

2.1. Conceitos e Enquadramento no contexto Europeu

Após a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945) verifica-se um drástico crescimento populacional acompanhado pela excessiva produção e consumo de bens. É também visível a afluência da população aos centros urbanos na esperança de uma qualidade de vida melhor. Estes tornam-se atrativos pelo facto de oferecerem diversas oportunidades de emprego no sector industrial, que surgem na sequência da Revolução Industrial a que se assistiu por toda a Europa ao longo século XIX. Assim a expansão dos centros urbanos impulsiona a produção de RSU em grande escala.

Por resíduo entende-se *“quaisquer substâncias ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer”*, de acordo com o Dec. Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. Quando estes são *“provenientes de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações”*, são classificados como resíduos sólidos urbanos, tendo em consideração o anterior decreto de lei referido.

Segundo Massarutto (2007) o setor dos resíduos urbanos é desagregado em três mercados. O primário que engloba a recolha de resíduos urbanos, de seguida o mercado secundário que inclui o tratamento final a que estes são sujeitos, verificando-se que na maior parte dos países europeus uma porção significativa é depositada em aterros. Por fim, o mercado terciário que agrega os resíduos que se destinam à reciclagem.

Foi através da realização da Cimeira de Paris em 1972 que Comunidade Europeia, atual União Europeia (UE) viu a necessidade de orientar a sua política para medidas que culminassem com a preservação do ambiente. Neste seguimento, surge o Programa de Ação em matéria de Ambiente (PAA), no entanto as políticas sobre resíduos só são contempladas no 2º e 3º PAA (1977-1986). Porém, é no âmbito do 4º PAA que se verifica um maior enfoque na preocupação com a redução de resíduos, surgindo deste modo o conceito de desenvolvimento sustentável. Em resumo destes acontecimentos são desenvolvidas políticas em torno desta problemática. Contudo, era fundamental ter em conta o destino final dos resíduos, posto isto, em abril de 1999 é elaborada uma diretiva

que prevê a deposição dos resíduos em aterros. De acordo com a *diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de abril de 1999*, o aterro é considerado uma instalação de eliminação para a deposição de resíduos acima ou abaixo da superfície natural.

Todavia, na UE são notáveis os contrastes entre os diferentes estados membros em termos de produção de resíduos municipais (figura 1). Esta categoria engloba os resíduos produzidos pelos agregados familiares, e igualmente parte dos gerados pelo sector dos serviços, tais como o comércio, escolas, restaurantes entre outros serviços. Deste modo, destaca-se um grupo de países como sendo os principais produtores em 2016, ou seja, a Alemanha, França, Reino Unido e Itália. Por sua vez, estes são os países com maior extensão territorial e população no seio da UE, apresentando uma produção superior aos 30 milhões de toneladas. Este valor sobe consideravelmente no caso da Alemanha que regista um total de 52 milhões de toneladas de resíduos municipais no ano de 2016. Os restantes países na sua generalidade não excedem os 5 milhões de toneladas, os fatores que influenciam os dados expostos podem ser de natureza económica, ou seja, em alguns destes países as populações não possuem recursos para exercerem elevados padrões de consumo. Por outro lado, estes fatores podem ser carácter político estando diretamente relacionados com as políticas de recolha e gestão de resíduos implementados por cada país.

Com o visível aumento da produção de RSU surgem preocupações de natureza ambiental, visto que inicialmente estes resíduos eram depositados a céu aberto, nas denominadas lixeiras, sem qualquer preocupação com as consequências nocivas que advinham desse processo. Face a isto, é perceptível uma relação direta entre o aparecimento de doenças e a deposição de resíduos em pleno meio ambiente. Para combater o exposto, as lixeiras são encerradas, e surgem os aterros como é referido na *diretiva 1999/31/CE*. No entanto, a produção de resíduos era demasiado expressiva que os aterros esgotariam a sua capacidade rapidamente, face a isto aparecem outras formas de tratamento dos resíduos, que permitiriam retirar benefícios dos mesmos.

No século XXI, a gestão sustentável dos RSU é fundamental em todas as fases do processo. Como consequência do espectro das novas e existentes tecnologias de tratamento e estratégias de gestão de resíduos, assistiu-se ao desenvolvimento da

qualidade ambiental presente, para englobar metas de sustentabilidade vislumbrando o futuro (Pires *et al.*, 2011).

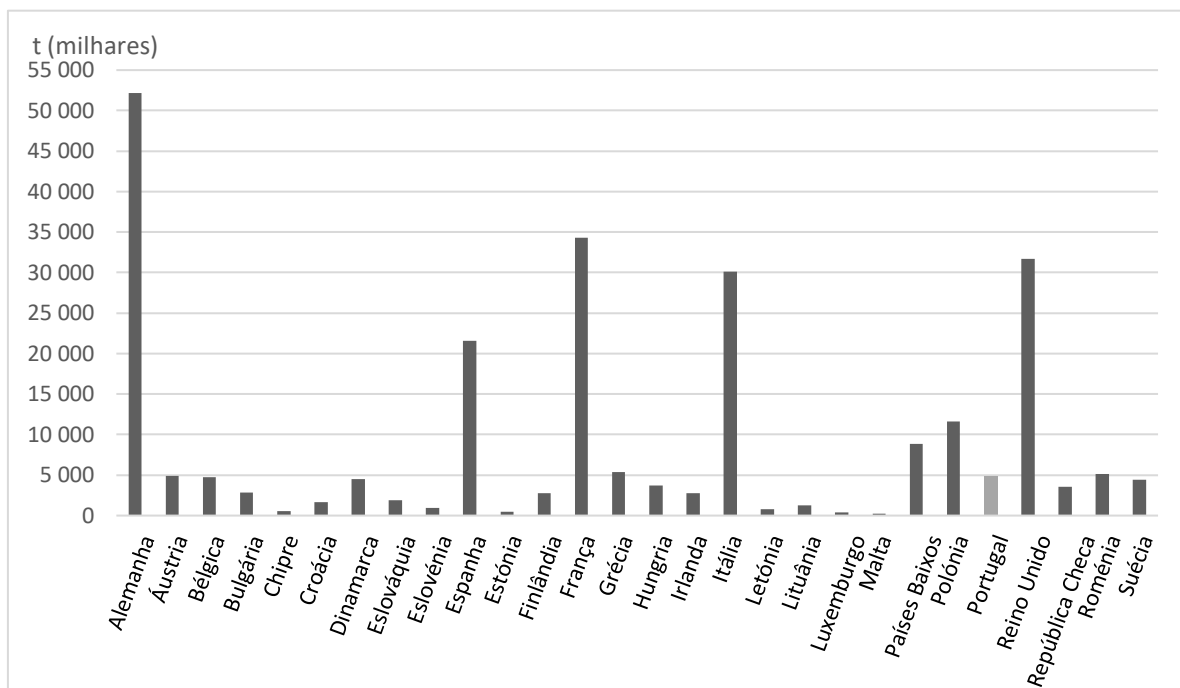


Figura 1 - Resíduos Municipais produzidos na União Europeia (EU-28) (Pordata, 2016)

Os resíduos urbanos podem ser divididos em duas categorias: recicláveis e resíduos. Recentemente, os resíduos começaram a ser usados para a produção de compostos orgânicos, embora com pouca viabilidade económica, e de energia (incineração). Isso origina valor económico e reduz o impacto ambiental da eliminação de resíduos. No entanto, apesar dos esforços, o principal destino dos resíduos urbanos continua a ser o aterro (Guimarães *et al.*, 2010).

Os processos referidos, ou seja, a incineração (com ou sem recuperação de energia), ou a recuperação de resíduos através da reciclagem, ou através da compostagem (métodos de decomposição biológica de resíduos), têm ganho expressão no contexto europeu.

Na figura 2, é observável uma tendência de decréscimo na percentagem de resíduos depositados em aterro. Em 2007, quase metade dos resíduos municipais produzidos eram depositados em aterros, enquanto em 2017 se verifica um decréscimo de 20% face a esse valor. Porém, esta redução deveria ser mais expressiva, e em oposto registar-se

um acréscimo significativo no processo de reciclagem. No entanto, em 10 anos a quantidade de resíduos reciclados aumento menos de 10%.

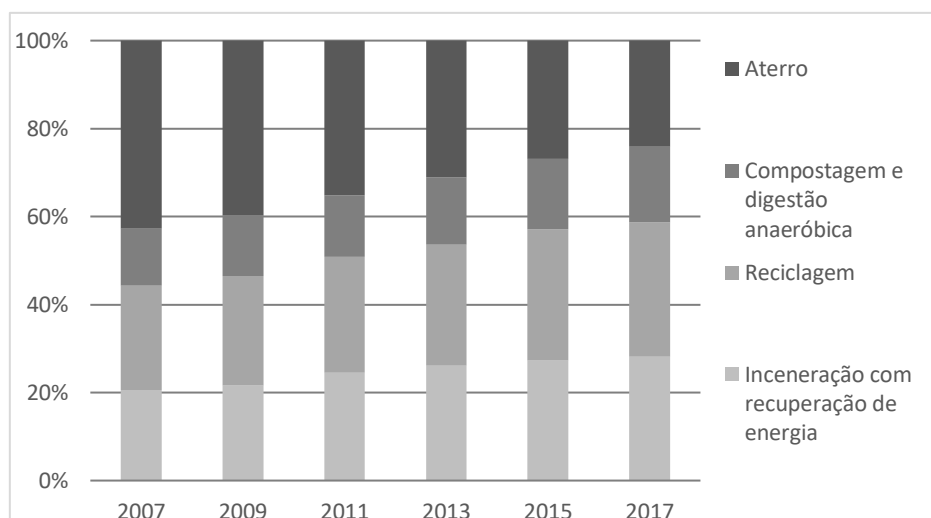


Figura 2 - Tratamento aplicado aos resíduos municipais na União Europeia (UE-28), num período de 10 anos (Pordata, 2007 - 2017)

Se comparados os quatro métodos, a deposição em aterros apresenta algumas vantagens face aos restantes, como é o caso:

- *“Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos;*
- *Fácil operacionalidade;*
- *Relativo baixo custo, comparativamente a outras soluções;*
- *Disponibilidade de conhecimento;*
- *Não conflituante com formas avançadas de valorização dos resíduos;*
- *Devolução a utilização do espaço imobilizado durante a fase de exploração;*
- *Potencia a recuperação de áreas degradadas” (Russo, 2003, p.16).*

2.2. Produção e Gestão de Resíduos em Portugal

É na sequência do definido em termos europeus que Portugal desenvolveu o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), aprovado em 1997. Este surge como um instrumento de planeamento, que consagra diversas medidas tendo em vista a eficaz gestão dos resíduos urbanos. Numa primeira fase de implementação, faz-se um

balanço positivo, onde foram observáveis progressos, “com o encerramento das lixeiras, a criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de RSU”¹.

De modo a atingir os objetivos e metas definidas, foram criados institutos públicos que inspecionem a aplicabilidade desses desafios. Exemplo disso são a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). No caso da APA, esta exerce as funções de Autoridade Nacional de Resíduos, mais precisamente no controlo do cumprimento da estratégia nacional para resíduos, também no acompanhamento das atividades de gestão de resíduos e na uniformização dos procedimentos de licenciamento.

Em complemento existe a ERSAR, designada como Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) aquando da sua criação. Esta em termos de resíduos está encarregue da regulação e supervisão do setor de gestão de resíduos sólidos urbanos, assegurando a qualidade da prestação destes serviços, e o controlo dos preços aplicados.

Com um raio de incidência menor foram criadas entidades, designadas como Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU), as quais são incumbidas dos processos de recolha, transporte e deposição em destino final de todos os resíduos urbanos produzidos na área ao seu encargo. Cada entidade dispõe de meios humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas que permitam realizar todas as fases de todos os processos.

Contudo, os SGRU dividem-se em dois tipos, os multimunicipais ou os intermunicipais. O primeiro tem por base empresas com capitais maioritariamente públicos que estão encarregues do sistema de gestão de resíduos, já os sistemas intermunicipais atribuem esta função a qualquer empresa.

De acordo com os dados mais recentes, existem 23 SGRU (figura 3), dos quais 12 são multimunicipais e 11 intermunicipais. Destes apenas a Ecolézria não possui um aterro ativo, sendo a gestão de resíduos desta remetidos para a Resitejo. Em termos de valorização energética, apenas se realiza por duas centrais a VALORSUL e a Lipor,

¹ *Diário da República n.º 173/2006, Despacho n.º 18 251/2006 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional*

correspondentes aos resíduos dos aglomerados urbanos Lisboa e Porto, respetivamente.

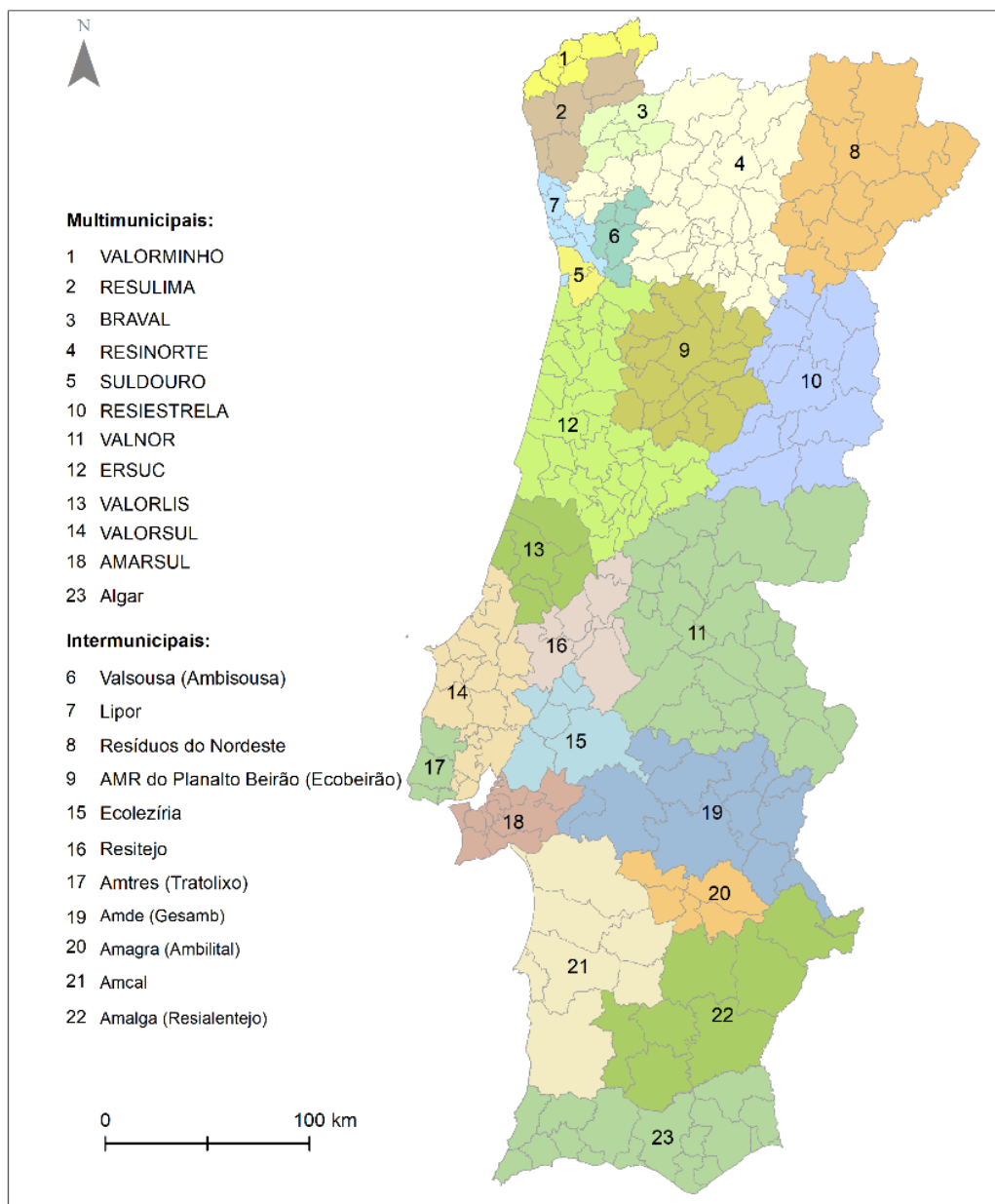


Figura 3 - Mapa da distribuição geográfica dos SGRU em território nacional (APA, 2016)

“Atualmente verifica-se uma grande heterogeneidade entre SGRU no que respeita ao número de municípios abrangidos, dispersão geográfica, demografia e condições socioeconómicas, o que se reflete nas opções adotadas em termos de recolha e tratamento dos seus RU, bem como na rede de equipamentos e infraestruturas de gestão

de resíduos e fluxos de resíduos. Estas variáveis condicionam ainda os custos associados à gestão de resíduos” (APA, 2017).

No entanto, surge a necessidade de rever o PERSU que vigorava, introduzindo-se em 2007 o PERSU II, para o horizonte temporal de 2007-2016. Este novo plano dá seguimento às medidas vinculadas no anterior e consagra a revisão da Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Biodegradáveis Destinados aos Aterros (ENRRUBDA). Portanto, serão contemplados novos objetivos, entre os quais a aposta em Unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (UTMB) de resíduos indiferenciados. Também preconiza uma maior aposta na reciclagem, para tal são estabelecidas metas que os sistemas plurimunicipais devem atingir. Outra preocupação deste plano consiste na diminuição de gases com efeito de estufa, que advêm da má gestão dos resíduos, este é um passo importante para o combate às alterações climáticas.

Atualmente, vigora o PERSU 2020, estipulado para o período de 2014 a 2020, seguindo as seguintes orientações:

- *“Resíduos geridos como recursos endógenos, minimizando os seus impactes ambientais e aproveitando o seu valor socioeconómico.*
- *Eficiência na utilização e gestão dos recursos primários e secundários, dissociando o crescimento económico do consumo de materiais e da produção de resíduos.*
- *Eliminação progressiva da deposição de resíduos em aterro, com vista à erradicação da deposição direta de RU em aterro até 2030.*
- *Aproveitamento do potencial do setor dos RU para estimular economias locais e a economia nacional: uma atividade de valor acrescentado para as pessoas, para as autarquias e para as empresas, com capacidade de internacionalização, no quadro de uma economia verde.*
- *Envolvimento direto do cidadão na estratégia dos RU, apostando-se na informação e em facilitar a redução da produção e a separação, tendo em vista a reciclagem” (APA, 2019b).*

Observando a figura 4, é visível a evolução da produção de resíduos urbanos por tipo de recolha num horizonte temporal de 20 anos, ou seja, 1997 a 2017. Ao longo

deste período foram implementadas diversas medidas no âmbito das fases do PERSU, através das quais são perceptíveis as repercussões na recolha dos resíduos. Constatase que o número de toneladas recolhidas de resíduos reciclados aumentou exponencialmente com a implementação do PERSU II, visto que uma das grandes apostas deste plano consistia no incentivo à reciclagem. Outro dos objetivos passava por reduzir o número de resíduos produzidos, até 2009 o que não se verificou. Posteriormente a esse ano já é visível uma redução no número de resíduos, podemos associar este acontecimento em parte à crise financeira que Portugal atravessou no período de 2010 a 2014. Foi uma fase em que a população tinha menos poder de compra, e por sua vez, se adquiria menos bens e como consequência se produzia menos lixo. Mas passado esse período crítico, Portugal voltou a registar os níveis de resíduos que outrora se tinham verificado.



Figura 4 - Resíduos urbanos por tipo de recolha produzidos em Portugal (Pordata, 1997 - 2017)

De acordo, com as metas estabelecidas pelo PERSU 2020, Portugal devia apresentar uma redução 35% na quantidade total de resíduos urbanos biodegradáveis depositados em aterro tendo por base os valores de 1995. Face a isto os resultados são favoráveis, apresentando uma deposição de 41% tendo por base os dados de 2016, sendo possível atingir a meta estabelecida para 2020. Na figura 5 é perceptível a redução registada ao longo dos anos em termos de resíduos biodegradáveis depositados em aterros, sendo decréscimo mais acentuado no período entre 2010 e 2013, com reduções na ordem dos 10% por ano. Apenas no ano de 2017, se verifica um ligeiro aumento, na ordem dos 2 pontos percentuais, que não irá comprometer o objetivo para 2020.

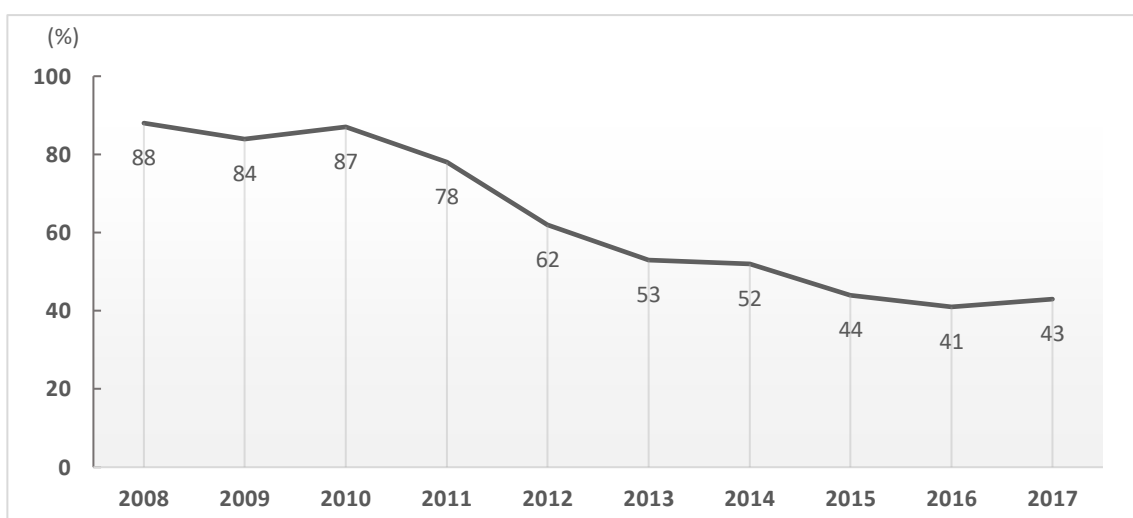


Figura 5 - Resíduos biodegradáveis depositados em aterros (face a 1995), em Portugal (INE, 2008 - 2017)

Em relação à meta estabelecida em termos de reciclagem, Portugal ainda se encontram aquém do valor que deverá atingir em 2020. Apresentando em 2017 um percentual de 38, em vez dos 50% pretendidos no PERSU.

2.2.1. Recolha, Triagem e Transporte

O processo de recolha de resíduos urbanos é essencialmente responsabilidade das autarquias locais. No entanto, o encargo pago pelos cidadãos para prestação deste serviço não é o suficiente de modo a cobrir todas as despesas que este processo engloba. Visto ser um serviço indispensável à população, na maioria dos casos não se tem noção das despesas que este tipo de serviço acarreta (Guimarães *et al.*, 2010). Em

termos orçamentais a recolha e transporte de resíduos sólidos podem representam uma percentagem substancial, chegando a atingir os 70%, dependendo da localização geográfica e dos preços dos combustíveis (Tavares *et al.*, 2009).

Por recolha entende-se todos os procedimentos desde a apanha de resíduos, incluindo a triagem e o armazenamento preliminares dos resíduos, para fins de transporte para uma instalação de tratamento de resíduos².

O processo de triagem inserido na recolha corresponde ao ato de separação de resíduos mediante processos manuais ou mecânicos, sem alteração das suas características, com vista ao seu tratamento². De acordo, com a Portaria nº145/2017, de 26 de abril da Administração Interna, Trabalho, Solidariedade e Segurança Social, Saúde, Planeamento e das Infraestruturas e Ambiente, existem um compêndio de regras aplicáveis a todos os modos de transporte que tem como intuito a transportação de resíduos.

Existe uma logística associada ao processo de recolha, desde da frequência com que este é realizado ao próprio horário. Posto isto, a recolha deve ser efetuada com uma regularidade de 2 ou 3 dias por semana, tendo por base a afluência a cada contentor. Por outro lado, é fundamental que a população tenha conhecimento dos dias e das horas em que a recolha é efetuada de modo a depositarem os lixos o mais próximo possível desses dias. Esta atitude torna-se importante, pois a deposição de resíduos no espaço público durante muito tempo pode causar mau cheiro, e conseqüentemente atrair animais.

Os veículos que realizam o processo de recolha por norma são os mesmo que se incubem do transporte dos resíduos até ao destino final. No entanto, quando existe uma estação de transferência os circuitos de recolha são executados por determinados veículos, enquanto o transporte até ao destino final é efetuado por outros. Como referido por vários autores o transporte até à estação de transferência é denominado sistema em baixa, em oposto o transporte da estação até ao destino final é referido como sistema em alta (Monteiro, 2009; Martins, 2015).

² Dec. Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território

O sistema em baixa é responsabilidade dos municípios que estão incumbidos da recolha dos resíduos em todos os locais de deposição. No caso do sistema em alta, este é delegado às entidades de gestão de resíduos urbanos (sistemas municipais e sistemas multimunicipais) (Monteiro, 2009).

2.2.2. Tratamento, Valorização e Eliminação

As operações de tratamento devem decorrer em instalações adequadas com recurso às tecnologias e métodos apropriados para assegurar um nível elevado de proteção do ambiente e da saúde pública, como descrito no *Dec. Lei n.º 73/2011 de 17 de junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*. Estes métodos permitirão retirar benefícios dos resíduos através da sua valorização, ou por outro lado proceder à sua eliminação tendo em vista o menor impacto para o ambiente.

O processo de valorização consiste na transformação dos resíduos com o objetivo de servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados apenas para um fim específico (*Dec. Lei n.º 73/2011 de 17 de junho Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*). Usualmente as formas de valorização mais observadas residem na reciclagem de diferentes matérias, como vidro, plástico, papel entre outros. Também é visível o recurso à valorização orgânica através de substâncias orgânicas e a valorização energética com vista à produção de energia.

Quando não é possível retirar qualquer fim útil aos resíduos, procede-se à eliminação dos mesmos. Para tal recorre-se um leque de operações consignadas no decreto de lei referido anteriormente, entre as quais podemos realçar a deposição no solo à superfície ou em profundidade (aterros) e a inceneração.

No caso da gestão de resíduos municipais, os indivíduos estão interessados principalmente na remoção dos resíduos produzidos por estes, mas a forma como são posteriormente tratados e eliminados é uma preocupação de interesse geral. Revela-se extremamente importante a consciencialização dessa particularidade, uma vez que a avaliação de modelos de gestão alternativos não deve apenas considerar a eficiência, mas acima de tudo a capacidade de atender aos requisitos impostos em prol da sustentabilidade ambiental (Massarutto, 2007).

3. Sistemas de Informação Geográfica

3.1. Importância dos SIG

Na década de 60 são verificadas as primeiras tentativas de aplicar sistemas de computação para manipular e processar informações geográficas. Mas, só no final da década de 70, se assiste à convergência entre a computação e a informação geográfica. Mais tarde, nos anos 80 surge a primeira indústria dedicada à criação e comercialização de software SIG, dando início à era dos SIG (Goodchild, 1992).

A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos, como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos (Câmara, 2005).

Os dados geográficos diferenciam-se dos outros tipos de dados pelas suas características. Apresentando, deste modo 4 particularidades, ou seja, posição, atributos descritivos, relações espaciais e temporalidade. Todos estes aspetos no seu conjunto permitem a representação de fenómenos reais.

No entanto, não existe uma definição consensual e genérica para explicar o conceito de SIG. Alguns autores os caracterizam por ser uma tecnologia que armazena, gere, manipula e visualiza informação georreferenciada.

Hoje é justo dizer que os principais produtos de software SIG são capazes de executar virtualmente qualquer operação concebível em qualquer tipo reconhecido de informação geográfica. Foram adicionadas funções para dar resposta às necessidades de diversas disciplinas específicas e de áreas problemáticas, para integrar dados que foram preparados usando uma ampla gama de padrões e para suportar um grande número de formas de análise, modelagem e visualização (Goodchild, 1992).

Na figura 6 estão expostas as 5 componentes essenciais dos sistemas de informação geográfica.

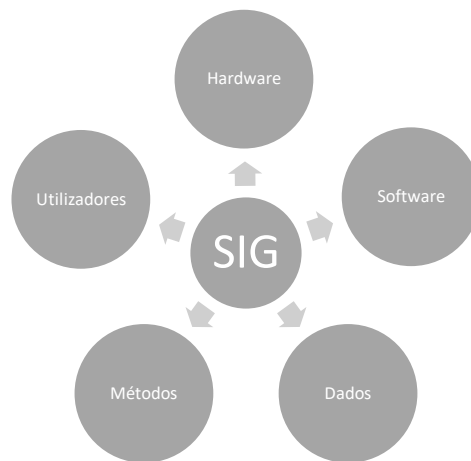


Figura 6 - Componentes essenciais dos sistemas de informação geográfica

A perfeita utilização dos SIG passa pela confluência destas componentes. Segundo González (2012), o avanço das capacidades do hardware veio possibilitar o armazenamento de um número mais vasto de dados, e por sua vez, a leitura destes vai permitir o desenvolvimento dos SIG. Conjuntamente, o software corresponde às ferramentas necessárias para a construção, gestão, manutenção e exploração da base de dados geográfica. Já os dados são um dos componentes fundamentais dos SIG, estes representam a realidade geográfica tendo associadas características específicas que permitam a sua correta aplicabilidade. De seguida, os métodos permitem a funcionalidade adequada do sistema, através de objetivos claros, processos de planificação, coordenação. Por fim, os utilizadores dos SIG são a componente mais heterogénea, estes apresentam conhecimentos diferentes utilizando o sistema de acordo com as suas capacidades e área de especialização.

3.2. Modelos Matricial e Vetorial

Os dados apresentam duas componentes distintas, uma de cariz alfanumérico e outra cartográfico. Segundo Galati (citado por Morais, 2013), com os modelos de dados espaciais podemos proceder à simplificação e generalização do mundo real de duas formas, através do modelo de dados vetorial e do modelo *raster* ou matricial (figura 7).

Estes modelos são considerados por Frank e Goodchild (citados por Ramos, 2000) como duas criações distintas do espaço, ou seja, uma sustentada por entidades e outra por campos.

Camada	Modelo Vetorial	Modelo <i>Raster</i>
Ponto		
Linha		
Linha Poligonal		
Polígono		

Figura 7 - Modelos de dados espaciais: Modelo Vetorial e Modelo *Raster* (Morais, 2013)

A informação cartográfica, através do modelo dados vetorial, permite um maior rigor e exatidão na representação dos dados através de elementos gráficos (pontos, linhas ou polígonos). Exemplos de alguns dados que podem ser reproduzidos através destes elementos consistem em redes viárias, edificado, cadastro contentores. Uma das vantagens deste modelo é a possibilidade de atribuir vários atributos a um determinado objeto, ou seja, um objeto pode ter várias características associadas (Morais, 2013).

O modelo de dados vetorial reparte-se entre aqueles que apresentam uma estrutura não topológica e topológica. No primeiro caso, a estrutura apenas apresenta coordenadas cartesianas (x, y) dos pontos, linhas e polígonos, sem identificação de relações de vizinhança ou de regras topológicas. Esta estrutura também designada de *spaghetti*, tem como desvantagem o facto de possuir muita informação redundante, visto que a informação relativa às coordenadas dos pontos e dos arcos dos polígonos são inúmeras vezes armazenadas (Ramos, 2000).

Em relação às estruturas topológicas estas vão conservar as relações topológicas, isto é, a informação armazenada vai ter em conta as relações entre os objetos, apresentando características como conectividade e contiguidade dos objetos, linhas, pontos, polígonos. Assim, as estruturas topológicas podem ser uma estrutura de dados do tipo arco-nó ou uma rede irregular de triângulos (Ramos, 2000).

O modelo de dados *raster* expõe informação alfanumérica permitindo a representação de fenómenos cujos atributos contêm valores de natureza espacial contínua, como por exemplo, valores de temperatura, índices de ruído. Por norma, os fenómenos que se expressam através de dados contínuos apresentam um determinado valor associado a um fenómeno geográfico em cada ponto da área de estudo. Sendo o espaço representado a partir de uma matriz composta por colunas e linhas, que definem uma unidade mínima que se denominam por células ou, de forma comum, pixels (Morais, 2013).

As representações *raster* são caracterizadas por seis noções fundamentais, ou seja, a resolução, orientação, valor, localização, zona e classe.

A resolução sendo um elemento de destaque, vai determinar a dimensão que cada célula vai representar. Por sua vez, quanto maior for a resolução, maior vai ser o nível de detalhe, o que se traduz na necessidade de mais tempo para a sua leitura e de espaço para o seu armazenamento (Ramos, 2000).

A orientação torna-se mais relevante no caso de imagens de satélite, pois é fundamental para a compreensão da orientação da malha face ao ponto cardinal Norte. Enquanto, que o valor expressa a informação existente sobre cada célula relativamente à aquela área no mundo real (Ramos, 2000).

A localização permite a identificação de cada uma das células tendo por base um par de coordenadas (linha e coluna). A partir da localização relativa das células é possível realizar relações topológicas de contiguidade, de proximidade e de orientação relativa. (Ramos, 2000).

Por fim, as noções zona e classe se encontram interligadas visto que a zona é constituída por células de atributo igual, logo apresentam uma mesma classe de valores de um atributo (Ramos, 2000).

Este tipo de modelo de dados caracteriza-se por ser espacialmente abrangente e por permitir a uniformização do território.

3.3. Aplicabilidade dos SIG nos Sistemas de Gestão de RSU

Os SIG dispõem de um vasto leque de ferramentas para análise espacial, no caso específico aplicam-se as funções de análise de conectividade e de interligação. Estas funções estão associadas a estruturas de dados sobre redes, utilizando os princípios da análise de grafos, indicadas para o cálculo de percursos ótimos e estimativas de localizações. (Julião, 2001)

Para um sistema de gestão RSU eficiente é fundamental adotar um modelo em rede, que por sua vez tenha associado uma base de dados que apresente toda a informação relativa ao sistema. Segundo Matos (citado por Campos, 2014), *“os Sistemas de Base de Dados (SBD) constituem uma ferramenta indispensável quando se pretende uma organização eficiente de toda a informação: representam uma forma de apresentar toda a informação sempre atualizada.”*

Esta informação encontra-se disposta em tabelas que possuem várias colunas, correspondendo cada uma delas a diferentes atributos dos dados. As tabelas podem ser compostas tanto por campos de texto como numéricos. Por outro lado, é possível a conexão das tabelas recorrendo a atributos equivalentes.

Atualmente, a tecnologia SIG tem sido reconhecida como uma das abordagens mais promissoras para automatizar o processo de planeamento e gestão de resíduos. Estima-se que do total de dinheiro gasto em recolha, transporte e tratamento de RSU, aproximadamente 60 a 80% são gastos na fase de recolha. Portanto, por menor que seja a melhoria realizada na operação de recolha, esta originará sempre uma melhoria significativa em termos de custo total (Karadimas *et al.*, 2007).

A aplicação mais aprofundada da modelagem apoiada por SIG na gestão de resíduos, está nas áreas de localização dos aterros sanitários, e na otimização da recolha e transporte dos resíduos (Chalkias e Lasaridi, 2011).

4. Otimização de Rotas

O principal objetivo é obter um percurso onde o veículo percorra todos pontos de recolha na área em estudo, tendo em conta a redução do tempo de viagem, distância, consumo de combustível e emissões de poluentes. É importante ter em consideração que cada ponto só poderá ser servido uma vez. Por outro lado, a soma das procuras, em cada rota não deverá ultrapassar a capacidade disponibilizada pelo veículo.

Os algoritmos de gestão de rotas utilizam como padrão de medida a métrica (ou seja, o comprimento do caminho) para determinar a rota ou caminho ideal para um determinado destino. As rotas ótimas são determinadas pela comparação de métricas, estas podem alterar dependendo do design do algoritmo de otimização de rotas aplicado. É um problema de elevada complexidade devido à quantidade de alternativas que devem ser consideradas (Karadimas *et al.*, 2007).

4.1. Teoria dos Grafos

“Os problemas relacionados com rotas, usualmente representados por grafos, refletem a necessidade de definir um “caminho” que percorre todos ou parte dos nós e/ou ligações que formam esse mesmo grafo” (Ferreira e Rodrigues, 2013).

Os primeiros estudos acerca da Teoria dos Grafos remetem-nos para 1736, através dos quais Euler mostrou ser impossível atravessar cada uma das sete pontes de Königsberg, uma e somente uma vez, durante uma caminhada pela cidade (Bondy e Murty, 1976). Na figura 8 (a) é visível um plano das pontes, já a figura 8 (b) mostra a representação gráfica de Euler.

Para a resolução do problema Euler criou um grafo onde as arestas correspondem às pontes e os nós representam as áreas de terra separadas pelo rio, figura 8 (b). Posto isto, Euler expôs que a questão era equivalente a encontrar um caminho que contenha cada extremo do grafo.

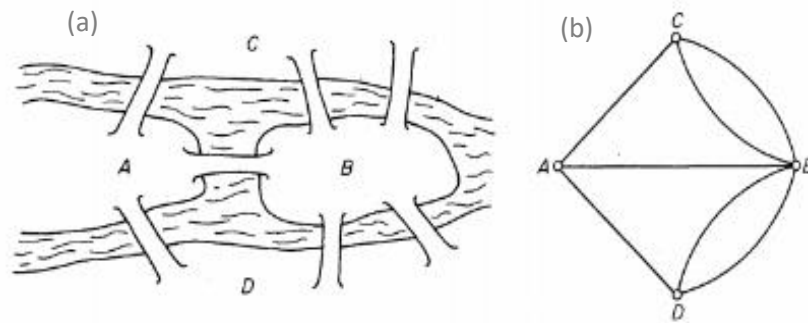


Figura 8 – (a) Mapa das pontes de Königsberg. (b) Representação gráfica de Euler (Bondy e Murty, 1976)

Deste modo, os grafos consistem num par ordenado $G = (V, E)$, onde V é um conjunto de vértices e E um conjunto de arestas. Estes são denominados desta forma porque permitem a sua representação graficamente. Cada vértice é exposto através de um ponto, e cada aresta por uma linha que faz a união desses mesmos pontos.

4.2. Problemas de Rotas

Os problemas mais gerais de rotas (*General Routing Problem - GRP*) envolvem situações em que é necessário servir um determinado número de nós e/ou ligações, entre esses mesmos nós. O objetivo passa, por cumprir essas necessidades com o menor custo. Este grupo de problemas pode subdividir-se em dois grupos mais específicos, o problema de rotas em nós e o problema de rotas em arcos (Ferreira e Rodrigues, 2013). No entanto, ambos os problemas não têm em conta restrições de capacidade dos veículos.

4.2.1. Problemas de Rotas em Nós - Problema do Caixeiro Viajante

Como referido anteriormente, um dos problemas mais comuns na otimização de percursos, está relacionado com os nós, ponto de intersecção das linhas. Este tipo de problemas insere-se no grupo dos Problemas de Rotas em Nós (*Node Routing Problem - NRP*).

Nestas situações o principal local de interesse são os nós, sendo os arcos apenas considerados como elementos do caminho que conecta esses mesmos nós. Posto isto,

toda a rede subjacente à área que se pretende traçar no percurso, apenas importa na medida que faculta os caminhos mais curtos entre os pares de nós que requerem serviço (Assad e Golden, 1995).

Um exemplo prático desta problemática é o Problema do Caixeiro Viajante. Este consiste num caixeiro viajante, que partindo de uma determinada cidade C deverá visitar, com o menor custo, um determinado número n de cidades (C_1, C_2, \dots, C_n), regressando no final, à cidade C (Ferreira e Rodrigues, 2013). Para solucionar esta questão recorre-se à teoria dos grafos, exposta no ponto 4.1.

Este problema foi desenvolvido no século XVII por William Rowan Hamilton (matemático irlandês) e por Thomas Penyngton Kirkman (britânico), como refere Matai (citado por Campos, 2014).

4.2.2. Problemas de Rotas em Arestas ou Arcos - Problema do Carteiro Chinês

Por outro lado, existem os problemas de rotas em arestas ou arcos (*Arc Routing Problem – ARP*). Estes estão diretamente relacionados com a determinação do conjunto (ou subconjunto) de arestas que apresentam menor custo de passagem (Ferreira e Rodrigues, 2013).

Em 1962, Meigu Guan, matemático chinês expõe o problema do Carteiro Chinês. Este consistia em encontrar um ciclo Euler que apresentasse o menor custo para realizar o percurso uma única vez, percorrendo todos os arcos. Posto isto, Guan percebeu que a forma do carteiro percorrer a menor distância a pé, era adicionar um conjunto de arcos ao grafo de modo a garantir um grau uniforme a cada nó desse mesmo grafo (Assad e Golden, 1995).

4.3. Método para Otimização de Rotas

A otimização das rotas de recolha e transporte de resíduos, recorrendo às novas ferramentas disponibilizadas pelas técnicas de modelagem espacial e SIG, podem fornecer vantagens significativas em termos económicos e ambientais (Chalkias e

Lasaridi, 2011). Visto que os modelos de rotas recorrem extensivamente a dados espaciais, deste modo é possível aproveitar as novas tecnologias, como os SIG, pois possibilitam o tratamento, manipulação e exibição eficaz de informação geográfica e espacial (Tavares *et al.*, 2009).

Um importante desenvolvimento nos sistemas de rotas, consistiu na integração da informação detalhada relativa à rede viária numa base de dados geográficos. Estas são de extrema relevância no momento de traçar um percurso otimizado. Em primeiro lugar porque a veracidade dos dados é fundamental para a criação de percursos viáveis. Em segundo lugar, a representação das rotas num conjunto de ruas realmente existentes permitirá a visualização do percurso e, por conseguinte, a perceção e aceitação por parte dos usuários (Assad e Golden, 1995).

Os modelos em rede apresentam uma capacidade de resolução em questões de georreferenciação, como o caso de gestão de redes de saneamento, de recolha de resíduos (Câmara, 2005).

4.3.1. Modelo em Rede

O modelo em redes concebe o espaço geográfico como um conjunto de pontos no espaço (chamados de nós), conectados por linhas (chamados arcos), onde tanto os nós quanto os arcos possuem atributos. Os fenómenos modelados por redes incluem fluxo de pessoas ou materiais, conexões de influência, linhas de comunicação e acessibilidade (Câmara, 2005).

Nos dados vetoriais um ponto é considerado um par ordenado de coordenadas espaciais (x,y). Por sua vez, uma linha representa um conjunto de pontos interligados. As linhas encontram-se associadas a uma topologia arco-nó. Por norma, os polígonos são utilizados para expor diferentes unidades espaciais, como por exemplo distritos, municípios, área de classificação diferentes (Câmara, 2005).

4.3.2. SIG na Otimização de Rotas – ArcGIS, Network Analyst

Como referido anteriormente os SIG são fundamentais para a gestão do território, permitindo a integração e o cruzamento da informação geográfica. A análise espacial é uma das capacidades associada aos SIG, possibilitando o mapeamento de determinados fenómenos e a relação entre eles.

4.3.2.1. ArcGIS for Desktop

Uma das empresas líder no mercado dos SIG é ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que comercializa o *ArcGIS for Desktop*, do qual já existem inúmeras versões e está em constante atualização.

O *ArcGIS for Desktop* disponibiliza um conjunto de produtos que permite a realização de várias tarefas de acordo com as necessidades do seu utilizador. Dispõe de 3 versões de software, ou seja, o *ArcView*, *ArcEditor* e *ArcInfo*. O primeiro é essencialmente para a visualização de dados geográficos, a produção de mapas, e ainda disponibiliza ferramentas básicas de edição e geoprocessamento. Seguidamente, o *ArcEditor* adiciona às funções anteriores a capacidade de edição avançadas. O *ArcInfo* é o mais composto ao possibilitar o geoprocessamento avançado.

Por outro lado, o *ArcGIS* é complementado por três aplicações fundamentais para a constituição de um SIG. Sendo elas o *ArcMap*, *ArcCatalog* e o *ArcToolBox*. Considerada a principal aplicação, o *ArcMap* (figura 9) é utilizado para apresentar, editar, criar e analisar dados, tal é possível devido ao vasto leque de ferramentas que apresenta. Já o *ArcCatalog* oferece aos usuários a possibilidade de organizar e gerir os vários tipos de dados, ainda concilia ferramentas para criar *shapefiles* de vários tipos, *geodatabases*, aceder a ferramentas de geoprocessamento, explorar, pesquisar informação e visualizar metadados. Por fim, o *ArcToolBox* inclui todas as ferramentas necessárias à gestão e conversão de dados (ESRI).

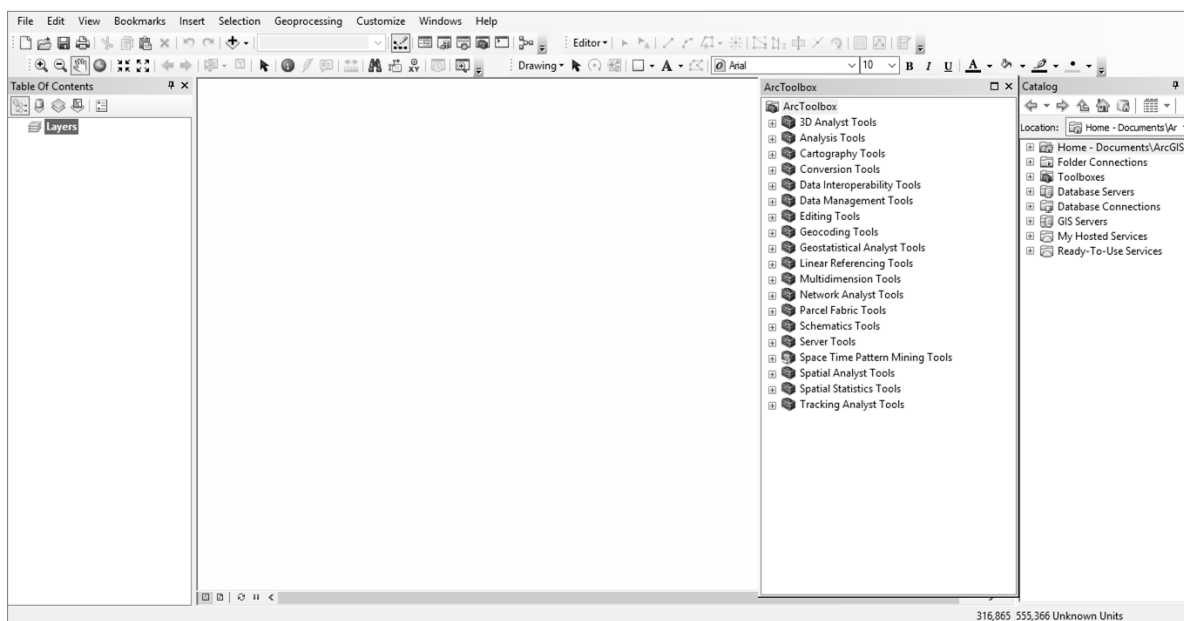


Figura 9 - Ambiente de trabalho das três aplicações (ArcMap, ArcToolBox e ArcCatalog)

Contudo, o *ArcGIS* ainda disponibiliza uma série de extensões que permitem adicionar novas funcionalidades ao ambiente SIG, realizar tarefas como geoprocessamento de imagens *raster*, visualizações em 3D e ainda análises geoestatísticas. Um exemplo é a extensão *Network Analyst*, elemento crucial neste projeto.

4.3.2.2. Network Analyst

O *Network Analyst* ajuda na tomada de decisão estratégicas, permitindo a análise espacial em rede, contendo rotas, direções de troços, destino mais próximo e análise da área a servir. Deste modo, os seus usuários dispõem de ferramentas para modelar dinamicamente situações reais da rede, como por exemplo, restrições de velocidade, altura dos veículos e as diversas condições de tráfego no decorrer do dia.

Este modelo está assente num algoritmo que apresente o caminho mais curto tendo por base um conjunto de imposições definidas inicialmente e visando sempre o baixo custo. Este algoritmo foi desenvolvido por *Edgar Dijkstra*, e é considerado o mais simples no que diz respeito a localização de percursos (*Karadimas et al., 2007*). Designado como

algoritmo de *Dijkstra*, este pretende apresentar o percurso que seja mais idêntico ao caminho ideal, sendo a sua gestão possível pelo computador. O elemento chave para a eficácia do modelo consiste na constituição de uma matriz de custos, contendo os custos entre as origens e destinos (Karadimas *et al.*, 2007).

Na figura 10 é expressa a aplicabilidade do algoritmo de *Dijkstra*. O exemplo é composto por seis nós interligados por linhas direcionais, com um custo associado. O nó 1 é considerado a origem, a partir dos antecessores dos restantes nós (setas a negrito) é descoberto o caminho mais curto para os restantes, e atribuído um custo ao caminho que é anotado em cima de cada nó. Assim, cada nó é processado somente uma vez, iniciando-se o processo pelo nó de origem, ou seja, o nó 1 (Karadimas *et al.*, 2007).

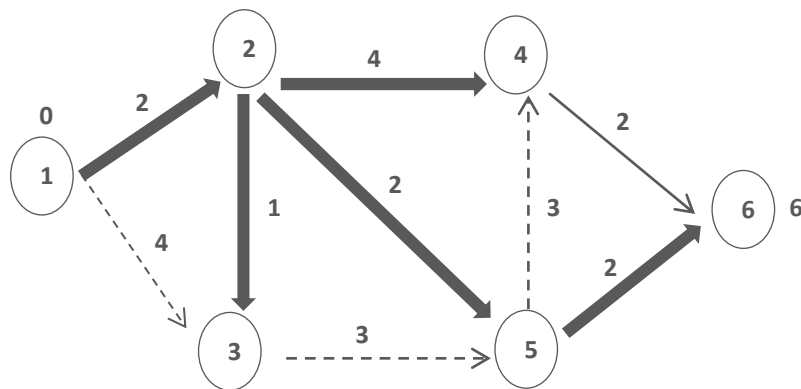


Figura 10 - Exemplo do Algoritmo de Dijkstra (Adaptado Karadimas *et al.*, 2007)

No método de cálculo do percurso, são apenas considerados os nós que é necessário visitar e a respetiva ordem. A lógica associada a este processo consiste em visitar um nó, e que o seguinte seja selecionado por aplicação de uma sequência de iterações comparativas, em que os nós passíveis de serem selecionados são comparados em termos de custo. Com este método será constituído um registo dos nós processados que se designa *Queue* (tabela 1) (Karadimas *et al.*, 2007).

Tabela 1 – Queue, registros dos nós processados referentes ao grafo (Karadimas et al., 2007)

		<i>Distance</i>						<i>Predecessors</i>				
<i>Queue</i>	<i>Next node</i>	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
1	2	-	2	4	∞	∞	∞					
1,2	3	-	-	3	6	4	∞		2	2	2	
1,2,3	5	-	-	-	6	4	∞					
1,2,3,5	4	-	-	-	6	-	6					5
1,2,3,5,4	6	-	-	-	-	-	6					
1,2,3,5,4,6	-	-	-	-	-	-	-					

Em termos práticos, quando o primeiro nó é processado a tarefa seguinte consiste em verificar se o trajeto até ao próximo nó pode ser melhorado, atualizando os dados referentes à distância e custos. Posto isto, o próximo nó a ser processado, será aquele que representar o caminho mais curto e os menores custos associados, tendo em consideração todos os nós que ainda podem ser processados. A seguinte tabela exemplifica um conjunto de nós processados e as respetivas distâncias.

Quando aplicado o algoritmo no *Network Analysts* este divide a rede em três elementos, que vão constituir o *network dataset*. Sendo eles as arestas (*edges*), os nós (*junctions*) e as curvas (*turns*). Os nós consistem no local onde as linhas se cruzam, no caso de uma rede viária é o cruzamento de ruas. Já as arestas correspondem a essas mesmas ruas que podem ser direcionais, são a base sobre a qual os agentes viajam, e às quais está associado o custo de percorrer cada uma delas até ao nó. Por fim, as curvas armazenam a informação que pode afetar o movimento entre duas ou mais arestas. Os dois primeiros elementos expostos são fundamentais na estrutura básica de qualquer rede.

Em resumo podemos destacar seis funcionalidades essenciais do *Network Analyst* aquando da sua aplicação (figura 11).

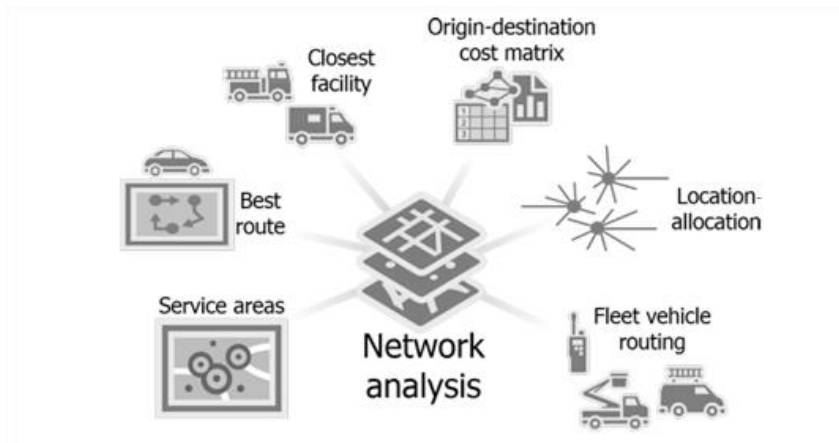


Figura 11 - Elementos chave do Network Analyst (Esri)

Service Areas

O *Network Analyst* permite delinear áreas de serviço em qualquer parte da rede. Uma área de serviço consiste numa zona delimitada que engloba todas as ruas acessíveis, por estarem incluídas num determinado valor de impedância.

Um elemento ponderado nas áreas de serviço é a acessibilidade, ou seja, o quão fácil é ir a determinado local. Deste modo, o *Network Analyst* mede a acessibilidade em termos de tempo, distância ou outra impedância da rede. Por exemplo, um usuário pode utilizar este método para identificar uma empresa, concorrente da sua, que se localize a 5 minutos de viagem.

As áreas de serviço aquando da sua execução são constituídas pelas classes de análise presentes na tabela 2.

Tabela 2 - Classes de análise da funcionalidade *Service Areas*

<u>Classes de Análise</u> <u>(Service Areas)</u>	<u>Descrição</u>
<i>Facilities</i>	Classe que armazena os locais da rede que são usados como instalações de análise das áreas de serviço
<i>Polygons</i>	Classe que armazena os polígonos resultantes da área de serviço
<i>Lines</i>	Classe que armazena as áreas de serviço resultantes, em elemento do tipo lineares, estes representam as arestas da rede que podem ser alcançadas quando especificada uma determinada impedância.
<i>Point, line, and polygon barriers</i>	As barreiras servem para restringir temporariamente uma condição, ou adicionar elementos de impedância em partes da rede.

Best Route

A funcionalidade *Route* consiste em encontrar a melhor rota entre dois ou mais locais. Para tal é decidido um elemento de impedância, como o tempo, custo, distância em função do qual será traçado o melhor percurso. O utilizador apenas pode escolher um destes atributos para determinar a sua rota. Assim, se a impedância for o atributo tempo, o melhor percurso a propor será aquele que for mais rápido.

Esta funcionalidade é composta por cinco classes de análise da rota, apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Classe de análise da funcionalidade *Route*

<u>Classes de Análise (Route)</u>	<u>Descrição</u>
<i>Stops</i>	Classe que armazena os locais considerados de paragem, no decorrer da rota
<i>Route</i>	Classe que armazena a(s) rota(s) obtidas (considerada uma classe somente de saída)
<i>Point, line, and polygon barriers</i>	As barreiras servem para restringir temporariamente uma condição, ou adicionar elementos de impedância em partes da rede

Closest Facility

A funcionalidade *Closest Facility* permite encontrar a instalação mais próxima e qual a melhor rota até esse local. Um exemplo específico da sua aplicabilidade, é quando ocorre um acidente e é necessário saber os hospitais que se encontram mais próximos. Se configurarmos que se pretende os hospitais a 15 minutos do local do acidente, apenas esses irão aparecer nos resultados finais, todos aqueles que se encontrem a mais de 15 minutos não serão exibidos.

Para além das melhores rotas até às instalações mais próximas, este método apresenta todos os custos associados à deslocação. Na tabela 4 são descritas as seis classes de análise da aplicação *Closest Facility*.

Tabela 4 - Classes de análise da funcionalidade *Closest Facility*

<u>Classes de Análise</u> <u>(Closest Facility)</u>	<u>Descrição</u>
<i>Facilities</i>	Classe que armazena os locais da rede considerados como instalações, no momento da análise das instalações mais próximas
<i>Incidents</i>	Classe que armazena os locais da rede considerados como incidentes, no momento da análise das instalações mais próximas
<i>Route</i>	Classe que armazena a(s) rota(s) obtidas (considerada uma classe somente de saída)
<i>Point, line, and polygon barriers</i>	As barreiras servem para restringir temporariamente uma condição, ou adicionar elementos de impedância em partes da rede

Origin-Destination Cost Matrix

O *Network Analyst* dispõe de uma funcionalidade que permite criar matrizes de custo de origem-destino. A matriz consiste numa tabela que contem as múltiplas origens para os múltiplos destinos, tendo em conta a impedância da rede. Deste modo, os destinos são dispostos por ordem crescente de acordo com o nível de impedância para viajar de uma determinada origem para cada destino. Posto isto, é encontrado o melhor percurso para cada par origem-destino, e o respetivo custo armazenado numa tabela de atributos.

As *Origin-destination Cost Matrix* aquando da sua execução são constituídas pelas classes de análise presentes na tabela 5.

Tabela 5 - Classes de análise da funcionalidade *Origin-Destination Cost Matrix*

<u>Classes de Análise (<i>Origin-Destination Cost Matrix</i>)</u>	<u>Descrição</u>
<i>Orings</i>	Classe que armazena os locais da rede considerados como pontos de partida para gerar os caminhos para os destinos
<i>Destinations</i>	Classe que armazena os locais da rede considerados como pontos de destino, depois de criado o caminho a partir da origem
<i>Line</i>	Classe que armazena as informações referentes ao(s) caminho(s) encontrados desde a(s) origem(s) até ao(s) destino(s)
<i>Point, line, and polygon barriers</i>	As barreiras servem para restringir temporariamente uma condição, ou adicionar elementos de impedância em partes da rede

Location-allocation

O objetivo da *Location-allocation* (tabela 6) consiste em localizar as instalações de modo a que satisfaça de forma eficiente os pontos de demanda. Esta aplicação pode ser vantajosa, tanto para o setor privado como para o público. No caso do setor privado, uma boa localização pode contribuir para estabilidade dos custos, e para boas acessibilidades. Já para o setor público, uma boa localização reflete-se na prestação de serviços de qualidade à população.

Porém, como o próprio termo indica, *locação-alocação*, é um problema duplo, visto que localiza instalações e aloca pontos de demanda para estas. Contudo, é importante ter em conta que o melhor local não é o mesmo para todos os tipos de instalações.

Tabela 6 - Classes de análise da funcionalidade *Location-allocation*

<u>Classes de Análise</u> <u>(Location-allocation)</u>	<u>Descrição</u>
Facilities	Classe que representa o local pretendido ou candidato para a instalação
Demands Points	Classe que armazena os pontos de demanda para determinada instalação
Lines	Classe constituída pelos dados de saída, logo contém o(s) percurso(s) obtido(s)
Point, line, and polygon barriers	As barreiras servem para restringir temporariamente uma condição, ou adicionar elementos de impedância em partes da rede

Fleet Vehicle Routing

O *Network Analyst* fornece as ferramentas necessária à resolução dos problemas de roteamento de veículos (VRP), atendendo às diferentes demandas.

O objetivo principal passa por efetuar os pedidos da melhor forma, mas com custos gerais de operação e investimento sejam relativamente baixos. No entanto, é importante considerar as restrições que na maioria dos casos consistem em completar as rotas com os veículos disponíveis, cumprindo os limites de tempo impostos pelos turnos de trabalho dos motoristas, obedecer aos limites de velocidade e aos compromissos com os clientes.

Deste modo, enquanto a funcionalidade *route* estabelece a melhor rota para um único veículo que pretender efetuar várias paragens, a aplicação *VRP* encontra as melhores rotas para uma frota de veículos que cumpre diversas regras. Assim, é possível combinar a capacidade do veículo com as quantidades a recolher, inserir tempos de pausa para os motoristas, locais prioritários a visitar, entre outros elementos.

A aplicação VRP é composta por treze classes de análise de rede, que se encontram expressas na tabela 7.

Tabela 7 -Classes de análise da funcionalidade VRP

<u>Classes de Análise (VRP)</u>	<u>Descrição</u>
<i>Orders</i>	Classe que armazena o locais a visitar ao longo da rede (exemplo: contentores de resíduos sólidos urbanos)
<i>Depots</i>	Classe que armazena os locais de partida e chegada do veículo, e possíveis pontos de paragem intermédios para descarga
<i>Routes</i>	Classe que armazena a(s) rota(s) obtidas
<i>Depot Visit</i>	Classe que regista os pontos de início, recomeço (após descarga ou carga) e chegada na rede, e as respetivas informações
<i>Breaks</i>	Classe que armazena os períodos de descanso/pausa no decorrer da rota
<i>Route Zone</i>	Classe que armazena polígonos relativos aos limites de áreas de prioridade
<i>Route Seed Points</i>	Classe idêntica à anterior, mas neste caso armazena pontos de relevância
<i>Route Renewals</i>	Classe que armazena pontos intermédios para carga ou descarga dos veículos
<i>Specialties</i>	Classe que armazena uma lista de elementos especiais que podem ser solicitados para a execução da rota. Por exemplo, um motorística com determinada aptidão ou um veículo com determinada característica
<i>Order Pairs</i>	Tabela de dados registados antecipadamente, relativos a pedidos em que recolha e a distribuição estão emparelhadas
<i>Point, line and polygon barriers</i>	Classe que armazena restrições à circulação dos veículos

5. Caso de Estudo: Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Santarém

5.1. Enquadramento da área de estudo

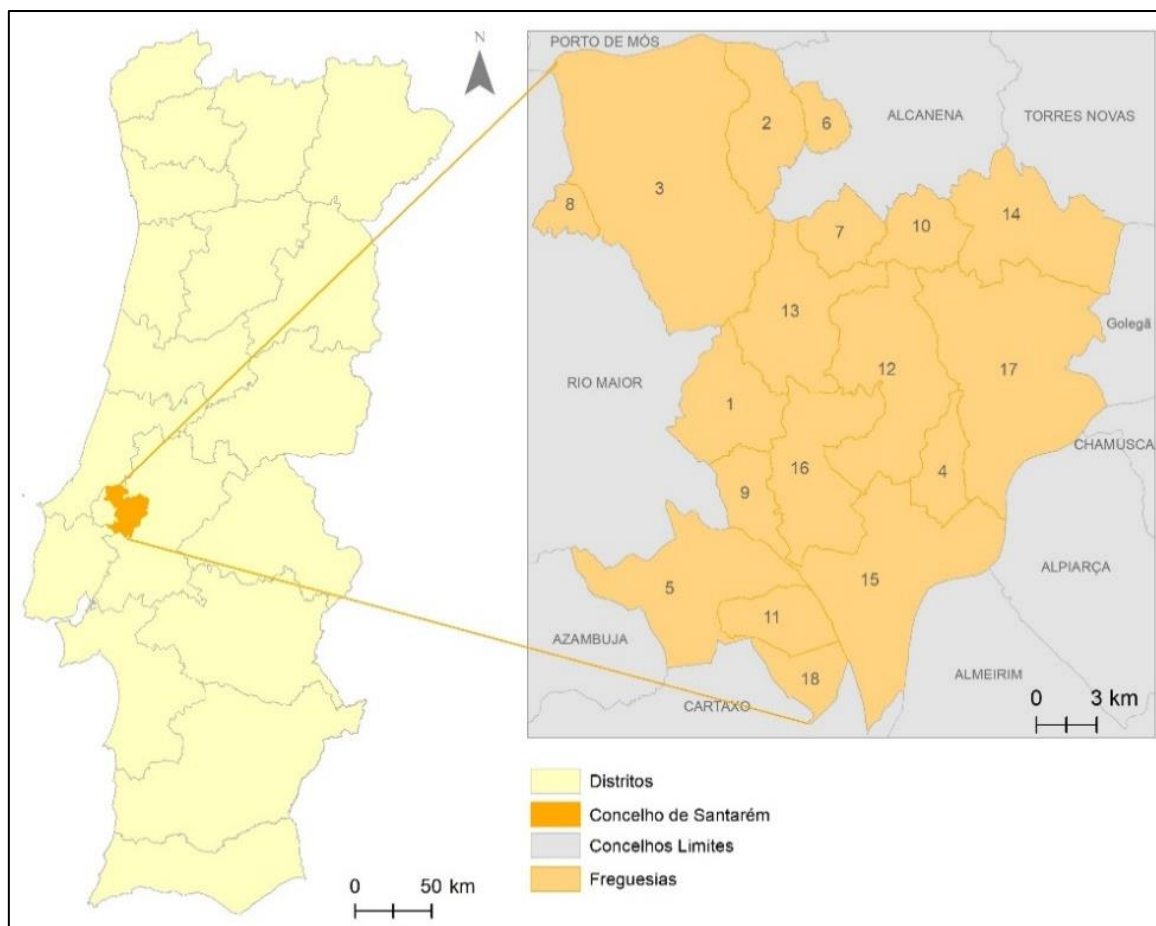
O presente estudo tem como enfoque a gestão de resíduos sólidos urbanos indiferenciados no concelho de Santarém, onde o principal objetivo consiste na otimização das atuais rotas de recolha. Para tal é fundamental compreender toda a logística do método executado até à data.

O concelho de Santarém encontra-se incluído na NUTIII da Lezíria do Tejo, por sua vez integrada na região estatística (NUTII) do Alentejo. Santarém localizada na zona centro de Portugal continental, designada como sede de distrito, apresenta uma extensão de 552,5 km², possuindo 62200 habitantes em 2011. É composto atualmente por 18 freguesias, uma de cariz urbano (União de Freguesias da Cidade de Santarém), e as restantes de natureza rural (figura 12).

Analisando a dimensão demográfica do concelho de Santarém, recorrendo às duas últimas publicações censitárias verifica-se que no ano de 2001 residiam 63563 habitantes no concelho, após 10 anos (2011) este valor desceu para 62200³. É de salientar um decréscimo na ordem dos 2,14 valores percentuais. De acordo com as estimativas anuais do INE calcula-se que no ano de 2018 residiam 57611 pessoas no concelho, valor bastante diminuto face aos dados dos censos de 2011, sendo visível uma quebra de 7 pontos percentuais.

Em parte este decréscimo é explicado pela que reorganização administrativa das freguesias ocorrida no ano de 2013, na qual foi desanexada a freguesia do Pombalinho ao concelho de Santarém, passando esta a integrar o município da Golegã.

³ Dados dos Censos 2011, inclui os 448 habitantes da freguesia do Pombalinho (INE)



- | | |
|----------------------------------|--|
| 1) Abitureiras | 10) Pernes |
| 2) Abrã | 11) Póvoa da Isenta |
| 3) Alcanede | 12) U.F. Achete, Azoia de Baixo e Póvoa de Santarém |
| 4) Alcanhões | 13) U.F. Azoia de Cima e Tremês |
| 5) Almoester | 14) U.F. Casével e Vaqueiros |
| 6) Amiais de Baixo | 15) U.F. Cidade de Santarém |
| 7) Arneiro das Milhariças | 16) U.F. Romeira e Várzea |
| 8) Gançaria | 17) U.F. São Vicente do Paúl e Vale Figueira |
| 9) Moçarria | 18) Vale de Santarém |

Figura 12 - Enquadramento geográfico do município de Santarém, identificação das respetivas freguesias

5.2. Gestão e Produção de RSU no Município

5.2.1. Gestão da Câmara Municipal e RRI

Atualmente o concelho está dividido em duas áreas de recolha (figura 13), devido à extensão territorial que detém. De forma genérica, a zona sul do concelho é responsabilidade da Câmara Municipal, em oposto a zona norte do mesmo está ao encargo de uma empresa privada, designada de Recolha de Resíduos Industriais (RRI). Cada entidade procede à recolha dos resíduos em determinadas freguesias, no caso da RRI esta é responsável por 11 freguesias, que correspondem a um total de 343,26 km² do município. Nesta área estão incluídas as duas freguesias mais extensas do concelho, ou seja, Alcanede e U.F. de São Vicente do Paúl e Vale de Figueira, que apresentam uma área de 105,83 km² e 71,82 km², respetivamente. Enquanto a CMS está incumbida de 7 freguesias, que totalizam a área de 209,26 km².

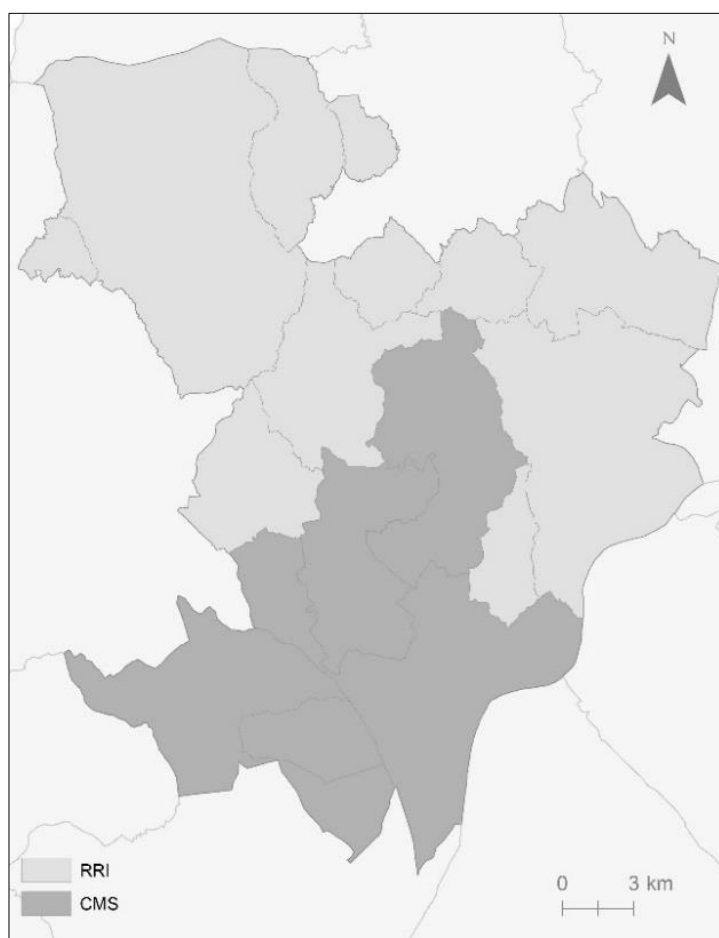


Figura 13 - Área sob a alçada de cada entidade, RRI e CMS

No entanto, o número de habitantes na área sob a alçada da CMS é muito superior ao da área à responsabilidade da RRI, como é observável na tabela 8. Individualmente, a U.F. da Cidade de Santarém agrega cerca de 50% da população a residir no concelho, enquanto os outros 50% estão repartidos pelas restantes freguesias. Assim, em termos de densidade populacional a freguesia urbana apresenta um rácio de 539 habitantes por km². Em oposto a maioria das restantes não chega a registar 100 habitantes por km².

Tabela 8 - Dados referentes aos habitantes, área e entidade responsável pela recolha dos RSU em cada freguesia do município de Santarém (INE, 2011 e CMS, 2019)

Freguesias do Concelho	Habitantes (2011)	Área (Km ²)	Densidade Populacional	Entidade responsável pela recolha dos resíduos
Abitureiras	972	23,69	41,03	RRI
Abrã	1122	22,44	50	RRI
Alcanede	4547	105,83	42,97	RRI
Alcanhões	1469	11,45	128,25	RRI
Almoster	1818	40,82	44,54	CMS
Amiais de Baixo	1851	6,30	293,70	RRI
Arneiro das Milhariças	835	12,02	69,46	RRI
Gançaria	514	5,59	91,96	RRI
Moçarria	1136	12,12	93,73	CMS
Pernes	1446	14,06	102,85	RRI
Póvoa da Isenta	1127	13,90	81,06	CMS
Vale de Santarém	2920	10,20	286,41	CMS
U.F. Achete, Azoia de Baixo e Póvoa de Santarém	2923	44,26	66,04	CMS
U.F. Azoia de Cima e Tremês	2477	33,29	74,40	RRI
U.F. Casével e Vaqueiros	1149	36,78	31,24	RRI
U.F. Cidade de Santarém	29929	55,51	539,15	CMS
U.F. Romeira e Várzea	2600	32,45	80,13	CMS
U.F. São Vicente do Paul e Vale de Figueira	2917	71,82	40,61	RRI

No caso da Câmara Municipal, é a Divisão de Ambiente e Espaços Públicos (DEPA), chefiada pelo Engenheiro João Dias, que se encontra responsável por todo o processo associado à recolha e transporte de resíduos. Já o posterior processo de tratamento dos mesmos é responsabilidade da RESITEJO.

Um dos principais objetivos da DEPA, visa *“promover e proceder à gestão operacional dos resíduos sólidos urbanos, limpeza urbana e controlo de infestantes em espaço público”* (CMS, 2018).

Por sua vez, a RRI consiste numa empresa privada que é contratada por outra entidade para execução de tarefas associadas à gestão de resíduos. No presente caso, esta empresa vem auxiliar a CMS no processo de recolha de resíduos, de forma a segurar a prestação deste serviço nas localidades ao seu encargo.

5.2.2. Recolha e Transporte

5.2.2.1. Equipamentos de deposição de resíduos

De acordo com as necessidades da população e as características territoriais existem diferentes tipologias de equipamentos de deposição de resíduos. Estes equipamentos são vulgarmente designados de contentores quando se destinam a lixo indiferenciado, por outro lado existem os ecopontos para resíduos diferenciados (cartão, papel, vidro).

No caso específico, o enfoque são os contentores de superfície e subterrâneos, estes por sua vez, apresentam diferentes tipos de capacidade de carga. Em relação aos contentores de superfície estes podem variar entre os 90, 120, 800, 1000 litros (figura 14). Por norma, os de menor capacidade localizam-se junto ao acesso a habitações e destinam-se ao usufruto dos seus habitantes. Enquanto, que os contentores de elevada capacidade se encontram em locais centrais ou de maior afluência tendo um raio de ação maior, permitindo servir um elevado número de pessoas.



Figura 15 - Contentores de superfície existentes no município de Santarém

Em relação aos equipamentos subterrâneos, estes apresentam uma capacidade bastante superior aos anteriores, podendo variar entre os 3000 e 5000 litros. Devido à sua dimensão o processo de descarga apenas é possível por veículos de recolha que possuam caixa aberta e uma grua. O espaço que ocupam vertical e horizontalmente condiciona a sua localização. No entanto, o facto de estes estarem enterrados ou parcialmente enterrados é uma vantagem para a via pública, diminuindo o impacto negativo decorrente da concentração de contentores. Os equipamentos subterrâneos integram-se de uma forma positiva no meio urbano (figura 15) (Martins, 2015).



Figura 16 - Contentores de subterrâneos existentes no município de Santarém

A presente área em estudo dispõe das duas tipologias de contentores, os de superfície e os subterrâneos. Porém, a primeira existe em superior quantidade face à segunda. Isto deve-se ao facto da maioria do concelho de Santarém ser composto por freguesias rurais, nas quais somente existem contentores de superfície, que variam entre os 90, 120, 800 e 1000 litros. Pois, os equipamentos subterrâneos são um elemento característico dos meios urbanos, havendo apenas na U.F. Cidade de Santarém, a única freguesia do concelho de cariz urbano. A maioria destes equipamentos possuem capacidade para 3000 litros, e encontram-se distribuídos dois por cada local.

Por sua vez, a tabela 9 regista o número de contentores por freguesia. Destas destacam-se 4 freguesias com mais de 200 contentores dentro dos seus limites territoriais, ou seja, Alcanede, U.F. Achete, Azoia de Baixo e Póvoa de Santarém, U.F da Cidade de Santarém e U.F. São Vicente do Paul e Vale de Figueira. O expressivo número de equipamentos de deposição pode ser justificado pela elevada quantidade de habitantes nestas freguesias. Principalmente, no caso da U.F. da Cidade de Santarém que concentra mais de metade da população do concelho. Pois, a distribuição dos contentores deve sempre dar resposta às necessidades da população.

O somatório dos contentores por freguesia origina 3257 equipamentos de deposição, repartidos ao longo de 552,5 km² e servindo 57661 habitantes.

Um procedimento fundamental associado ao sistema de gestão de resíduos, reside na lavagem dos contentores. Pois com a sucessiva acumulação de resíduos, estes podem começar a afixar-se no fundo dos contentores originando mau odor. Assim, segundo a CMS, a limpeza dos contentores é realizada com uma periodicidade trimestral.

Um elemento diferenciador entre as freguesias rurais e urbanas, é o raio de influência dos contentores. De acordo, com o Dec. Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto “o serviço de gestão de resíduos urbanos considera-se disponível desde que o equipamento de recolha indiferenciada se encontre instalado a distância inferior a 100 m do limite do prédio (...) aumentado até 200 m em áreas predominantemente rurais.”

Tabela 9 - Número de equipamentos de deposição por freguesia

Freguesias do Concelho	Equipamentos de Deposição
Abitureiras	117
Abrã	96
Alcanede	416
Alcanhões	75
Almoster	137
Amiais de Baixo	56
Arneiro das Milhariças	36
Gançaria	42
Moçarria	105
Pernes	97
Póvoa da Isenta	68
Vale de Santarém	109
U.F. Achete, Azoia de Baixo e Póvoa de Santarém	271
U.F. Azoia de Cima e Tremês	162
U.F. Casével e Vaqueiros	150
U.F. Cidade de Santarém	869
U.F. Romeira e Várzea	199
U.F. São Vicente do Paul e Vale de Figueira	251

5.2.2.2. Circuitos de Recolha

A Câmara Municipal, assegura a recolha dos resíduos sólidos urbanos indiferenciados, em 7 freguesias do município. Para tal, dispõe de meios humanos e técnicos que permitam a execução completa dos circuitos existentes, efetuando a recolha de resíduos em todos os pontos onde esteja colocado um contentor de lixo indiferenciado.

Os circuitos de recolha podem ser de cariz urbano, quando efetuado na União de Freguesias da Cidade de Santarém, ou de natureza rural quando realizados nas restantes freguesias. Atualmente existem 4 circuitos urbanos em execução, e 7 circuitos rurais, a tabela referente a estes circuitos encontra-se no anexo 1. Esta refere todos os

aglomerados percorridos em cada circuito, e os respetivos horários de execução. De acordo com estes dados os 4 circuitos urbanos (C1, C2, C3 e C4) são realizados de segunda-feira a sábado no horário da manhã (06h às 12h), à exceção do C4 que não se efetua à quinta-feira, e na quarta-feira é executado no horário da tarde (14h às 20h). Por sua vez, os circuitos rurais (R1, R2, R3, R4, R5, R6 e R6.1) são por norma realizados no horário da tarde, e efetuados 2 vezes por semana, excetuando os circuitos prioritários (R1 e R2) que podem ser realizados 3 ou 4 vezes durante a semana. Segundo a CMS existe a necessidade de realizar o circuito R2 4 vezes por semana, pelo facto de se registar uma elevada produção de RSU indiferenciados na Freguesia do Vale de Santarém. Sendo esta considerada a freguesia rural que mais resíduos gera face às restantes freguesias do município.

No caso dos circuitos urbanos, é possível sempre que necessário realizar uma descarga a meio do percurso e desta forma completá-lo com eficácia. Esta descarga a meio do percurso só é exequível nestes circuitos, porque a estação de transferência onde os resíduos são depositados (posterior encaminhamento para a sede da Resitejo), se localiza na zona industrial subjacente ao centro urbano.

A RRI encontra-se encarregue da recolha dos RSU indiferenciados em 11 freguesias rurais. Deste modo, é composta por duas equipas incumbidas pela recolha dos resíduos nestas freguesias, sendo cada equipa responsável pelas rotas em determinados aglomerados da área à sua responsabilidade.

Para melhor compreensão de quais os locais atribuídos a cada equipa da RRI, no anexo 2 estão dispostas as tabelas referentes aos atuais circuitos. Em termos de periodicidade da recolha, somente nos locais com maior produção de resíduos, é que estes são recolhidos 3 vezes por semana, exemplo disso, são as localidades de Alcanhões, Amiais de Baixo, Pernes, Vale de Figueira e São Vicente do Paúl. Nos restantes locais, a recolha apenas é realizada 1 a 2 vez por semana. Estes percursos são executados de segunda-feira a sábado, nos quais o horário aos dias uteis é das 06h às 13h, e aos sábados das 05h às 10h.

Contudo, o circuito realizado pela equipa 1 à segunda-feira é impossível ser concretizado apenas de uma vez, como observável na tabela no anexo2, portanto foi repartido por duas fases. Isto acontece porque o veículo de recolha não possui a

capacidade de carga necessária para recolha de todos os resíduos existentes ao longo do percurso.

Excecionalmente, as entidades poderão realizar a recolha ao domingo, quando se verifique um acontecimento que aumente circunstancialmente a produção de resíduos. Um exemplo disso são as festividades que se realizam ao longo do ano pelas diferentes localidades. Por outro lado, se necessário também se faz o reforço dos contentores nesses locais durante o período necessário.

5.2.2.3. Viaturas de recolha e transporte

Em termo de frota, a CMS dispõe de 6 veículos (tabela 10) de recolha com diferentes capacidades de carga. Desses veículos os que permitem recolher uma elevada quantidade de resíduos também dispõem de uma grua (figura 16), para a recolha dos contentores subterrâneos existentes nos circuitos urbanos.

Tabela 10 - Veículos de recolha de resíduos da CMS, respetiva capacidade de carga (CMS)

CMS	
Nº veículos de recolha	Capacidade (m³)
1	10 m ³
1	12 m ³
1	15 m ³
3	16 m ³



Figura 17 - Veículo de recolha de resíduos com grua da CMS

Já a RRI dispõe apenas de 2 veículos com igual capacidade de carga (tabela 11), visto que o método de recolha é organizado de forma diferente do executado pela CMS. Por outro lado, os veículos não necessitam de uma grua, pois na sua área de recolha não existe qualquer tipo de equipamento subterrâneo.

Tabela 11 - Veículos de recolha de resíduos da RRI, e respetiva capacidade de carga (RRI)

RRI	
Nº veículos de recolha	Capacidade (m ³ /Litros)
2	15 ³ / 15000 L

Todos estes veículos realizam o designado transporte de sistema em baixa, estando apenas incumbidos de recolher os resíduos em todos os locais de deposição, e os transportar até à estação de transferência. O posterior transporte até ao local onde serão tratados já não é executado por estes veículos. Assim, o transporte de sistema em alta é responsabilidade da Resitejo, que está incumbida de efetuar o transporte dos resíduos depositados na estação de transferência, localizada na zona industrial de

Santarém até ao Eco Parque do Relvão, local onde se procede ao tratamento e eliminação dos resíduos. A distância entre estas duas infraestruturas é cerca de 45 km.

5.2.3. Tratamento, Valorização e Eliminação – RESITEJO

A Resitejo, Associação de Gestão e Tratamento de Lixos do Médio Tejo, constitui um sistema de gestão de resíduos, criado em 9 de agosto de 1996. Hoje em dia é responsável pela gestão e tratamento de resíduos em 10 municípios, entre os quais Santarém.

Em 2009, a Resitejo em conjunto com 11 entidades intermunicipais consagram um projeto designado de ESGRA – Associação para a Gestão de Resíduos. Esta visa promover os interesses dos seus associados no âmbito da gestão e tratamento de resíduos, e por outro lado potenciar o desenvolvimento socioeconómico e ambiental a nível nacional. Atualmente a EGSRA é representante de 16 entidades, das quais 14 SGRSU, totalizando 44% do território nacional.

Posto isto, todo processo de tratamento dos resíduos urbanos recolhidos no município de Santarém são responsabilidade da Resitejo. Para tal, esta dispõe de um conjunto de infraestruturas que permitem a realização de todos os métodos de valorização e eliminação dos resíduos.

Essas infraestruturas comportam uma estação de triagem, um ecocentro, uma Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (UTMB) e um aterro sanitário. Todos esses elementos se localizam na sua sede, onde por sua vez, se situam as instalações administrativas da Resitejo. O local onde estão inseridas todas essas infraestruturas, se designa Eco Parque do Relvão (Concelho da Chamusca) e ocupa uma área total de 31,7ha (figura 17). Com intuito de reforçar o papel deste local foi criada a Associação do Eco Parque do Relvão (AEPR), a qual reúne todas as entidades envolvidas na sua atividade. Esta visa promover e defender os interesses dos seus associados, e por outro lado, procura ter conhecimento de todo o tipo de programas de financiamento oriundos da União Europeia, que potenciem o desenvolvimento do Eco Parque ou dos seus associados.



Figura 18 - Viste aérea do Eco Parque do Relvão (AEPR, 2018)

Para além deste Eco Parque, os diversos municípios integrantes da Resitejo dispõem dentro dos seus limites administrativos de uma estação/centro de transferência e um ecocentro. A localização destas infraestruturas encontra-se expressa na figura 18.

Cada uma destas infraestruturas desempenha funções distintas no processo de tratamento dos resíduos, e em diferentes fases do mesmo. Após recolha dos resíduos pelas entidades responsáveis em cada município, estes são descarregados nas diferentes estações ou centros de transferência distribuído por cada município. Nestes locais os resíduos são posteriormente, transportados para a UTMB.

No entanto, no caso das estações de transferência ainda se procede à compactação dos resíduos antes destes serem transportados. Estes locais são importantes na medida que reduzem os percursos efetuados pelos veículos aquando da recolha, assim as estações/centros de transferência surgem quando a distância entre o ponto que representa o centro das recolhas e os aterros é elevada (Rodrigues e Ferreira, 2013).

Os ecocentros são outro tipo de infraestruturas que se encontra em todos os municípios sob a alçada da Resitejo, estes assumem a função de receber certos tipos de resíduos que pelas suas características não podem ser colocados em ecopontos, nem recolhido através do método normal. Exemplo disso são: resíduos verdes, papel, cartão, vidro, plásticos, materiais ferrosos, móveis velhos/restos de madeiras velhas, eletrodomésticos velhos e colchões.

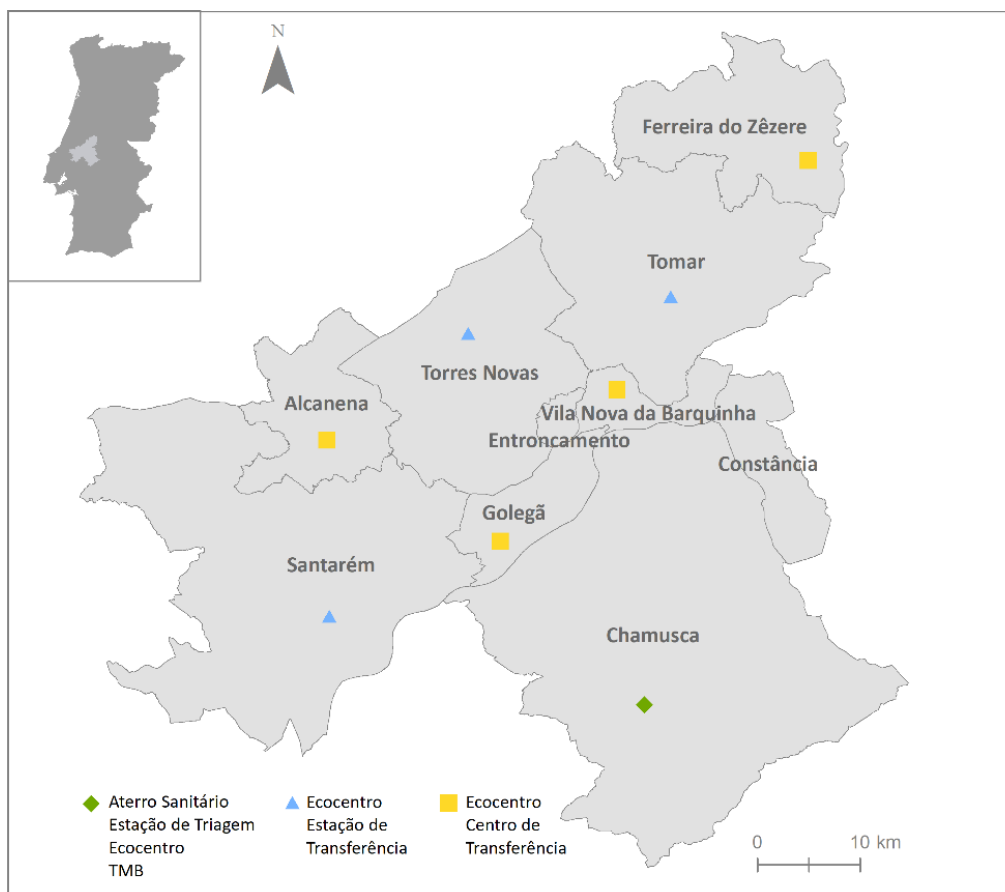


Figura 19 - Localização das infraestruturas (Adaptado Resitejo, 2015)

No momento que as instalações do Eco Parque do Relvão recebem os resíduos da recolha indiferenciada, estes são direcionados para a UTMB. Esta unidade tem como objetivo efetuar a separação dos vários componentes dos resíduos indiferenciados, apresentando uma capacidade de 35t/h. Após esta separação os materiais são encaminhados para a indústria recicladora (plásticos mistos, polímeros, metais) ou para o aterro (aqueles que pelas suas propriedades não permitem a sua reciclagem).

No caso dos resíduos diferenciados, estes são encaminhados para a estação de triagem, que permite a receção de 43,6t/d, e é composta pelos seguintes setores:

- a) Área de receção de resíduos;
- b) Linha de triagem;
- c) Linha de enfardamento;
- d) Zona de armazenamento dos fardos;

e) Zona de triagem de pilhas e acumuladores;

f) Parque das sucatas;

No fim de todos estes processos, e quando os materiais não permitem qualquer tipo de aproveitamento, o seu destino é o aterro sanitário. Na presente situação, o aterro localiza-se no mesmo local que as duas infraestruturas expostas anteriormente, encontrando-se em funcionamento desde Maio de 1999. No entanto, a sua construção é composta por duas fases, uma primeira com capacidade para 880 000 toneladas, com um horizonte temporal de 10 anos. E uma segunda que se iniciou após a conclusão da anterior, e que prevê uma capacidade de 903 000 toneladas, com um período vital mais alargado, na ordem dos 20 anos.

Porém, a deposição de resíduos no aterro diminuiu drasticamente com a inauguração da UTMB em 2013, momento a partir do qual se iniciou a separação dos resíduos indiferenciados possibilitando o aproveitamento em grande escala. Posto isto, hoje em dia somente a fração de refugo se destina ao aterro, o que aumenta significativamente o seu horizonte temporal.

5.2.4. Produção de RSU

A quantidade de resíduos urbanos de recolha indiferenciada produzidos no concelho de Santarém, sofreu diversas oscilações no período entre 1995 a 2017 (figura 19). Sendo 1997 o ano que regista uma maior produção de resíduos com valores na ordem das 30000 toneladas. No entanto, em 1999 é visível um decréscimo na produção, em virtude das políticas aplicadas relativas ao PERSU. Também é observável, outro período de acentuado decréscimo, entre 2009 e 2015, registando-se uma quebra na ordem dos 25%, ou seja, de 28776 toneladas produzidas em 2009 passou-se para um total de 21401 toneladas registadas em 2015.

A principal justificação prende-se com a resseção económica que Portugal atravessou nesse período tendo repercussões a nível nacional, alterando os padrões de consumo, e por sua vez, a produção de resíduos. A partir de 2015 a recolha indiferenciada de resíduos urbanos manteve linear, registando em 2017 um total de

21265 toneladas recolhidas. No entanto, são inúmeros os apelos à diminuição da produção de resíduos urbanos.

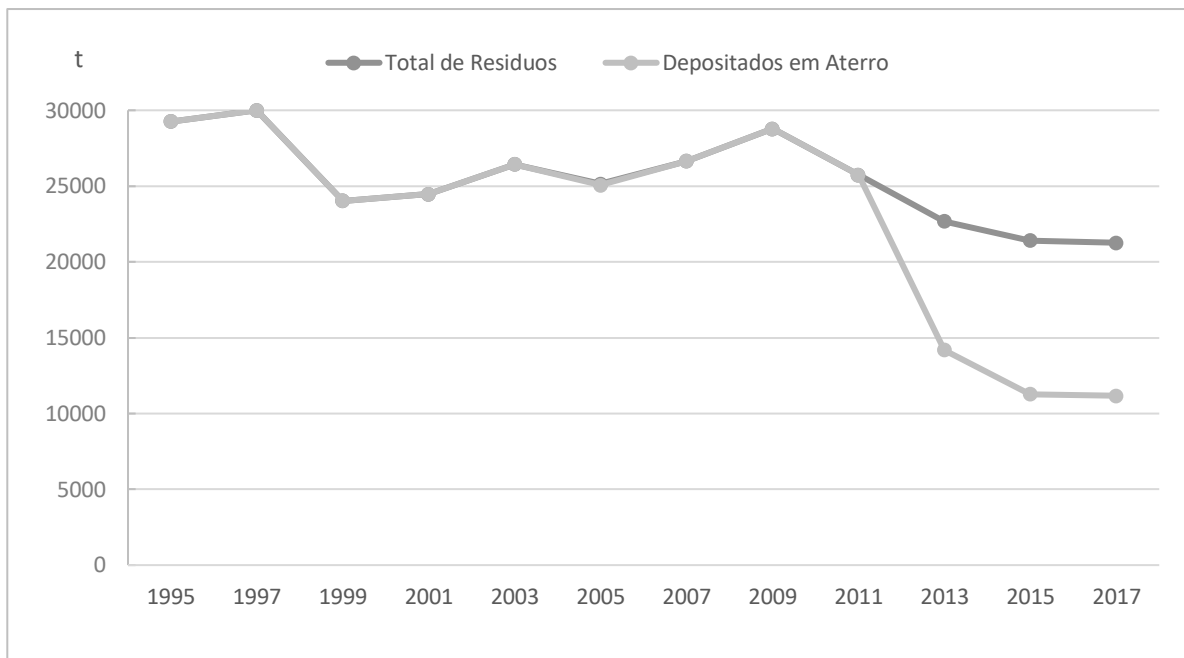


Figura 20 - Total de resíduos urbanos indiferenciados recolhidos, e total de resíduos depositados em aterro no município de Santarém, entre 1995 e 2017 (INE)

Por outro lado, é expresso na figura anterior a quantidade de resíduos urbanos que têm como destino final o aterro sanitário. Assim, até 2011 a totalidade dos resíduos recolhidos eram depositados no aterro sanitário. Em 2013 a Resitejo, entidade responsável pela gestão dos resíduos do município, inaugura uma UTMB permitindo outros métodos de tratamento de resíduos, e a diminuição da quantidade destes depositados em aterros.

De acordo com a metas estabelecidas pelo PERSU20, estima-se que até 2030 erradicar a deposição direta em aterros. Em 2017 no Município de Santarém, cerca 50% dos resíduos urbanos ainda eram depositados no aterro, situação que deveria ser acautelada.

Em termos individuais, estimou-se que cada habitante do município de Santarém produziu em média 471 kg no ano de 2017, de acordo com os dados do INE. Em igual período Portugal continental registou uma média de 484 kg/hab. Comparando estes valores, verifica-se que Santarém apresenta uma produção de resíduos por habitante abaixo da média nacional, um elemento favorável para o município.

Analisando, de modo mais detalhado os resíduos recolhidos por cada entidade, em cada um dos seus percursos realizados (figuras 21 e 22), é notável uma produção muito superior no sul do concelho face ao norte do mesmo. Por outro lado, os circuitos que expressam um maior volume de resíduos produzidos são os de natureza urbana (C1, C2, C3 e C4), ou seja, é na U.F. da Cidade de Santarém que se produz mais RSU. Estes originam cerca de 259 toneladas semanais, enquanto os restantes percursos realizados pela CMS nas freguesias rurais geram cerca de 142 toneladas semanais.

Individualmente, é no C1 que diariamente se recolhe mais resíduos, na ordem das 13 toneladas, pois este inclui a recolha dos contentores subterrâneos que permitem a deposição de elevadas quantidades de resíduos. Com valores semelhantes está o C4, apresentando cerca 11 toneladas diárias recolhidas. Os circuitos nas freguesias rurais variam entre as 6 e as 10 toneladas recolhidas diariamente, no entanto a em média os percursos apresentam valores na ordem das 8 toneladas.

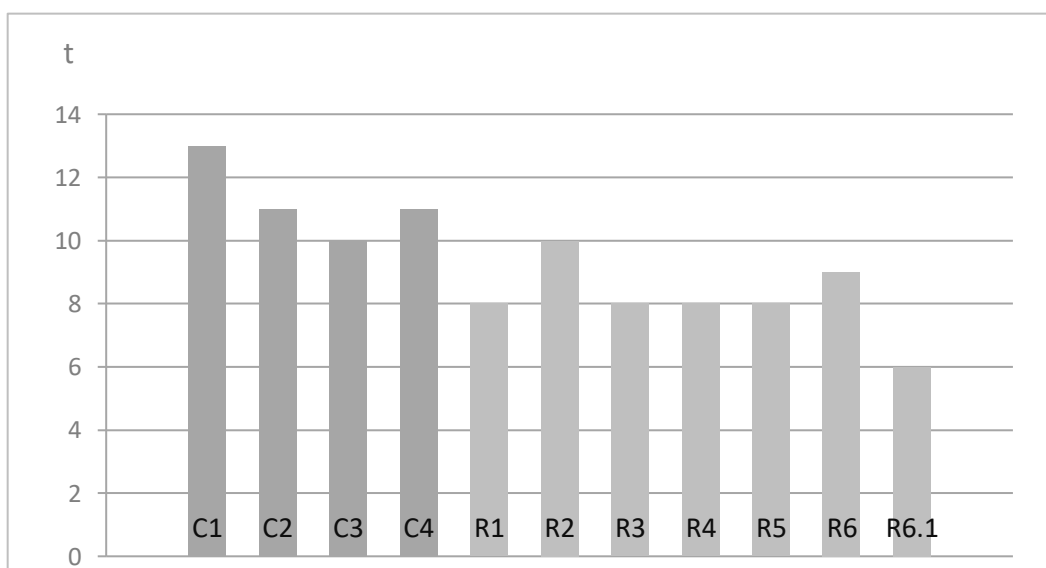


Figura 21 - Média diária em toneladas de resíduos indiferenciados recolhidos em cada circuito da CMS (dados referentes a 2019) (DEPA/CMS)

No caso da RRI, que dispõe de duas equipas a realizar a recolha dos resíduos nas restantes freguesias rurais, a equipa 1 recolhe cerca de 50 toneladas semanais, e a equipa 2 na ordem das 60 toneladas semanais. Em termos diários, a primeira regista valores de 10 toneladas diárias, e a segunda na ordem das 8 toneladas.

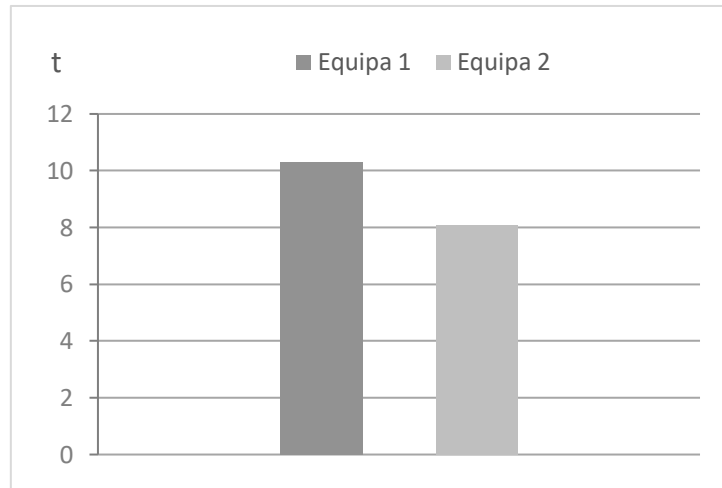


Figura 22 - Média diária em toneladas de resíduos indiferenciados recolhidos em cada circuito da RRI (dados referentes a 2019), (DEPA/CMS)

São visíveis as diferenças entre as quantidades recolhidas por cada entidade. Como observável anteriormente na tabela 2 (no ponto 5.2.1.), os resíduos recolhidos pela CMS são correspondentes a 42453 habitantes do concelho, em comparação com 19299 habitantes da área atribuída à RRI. Outro fator que contribui para estas discrepâncias, reside nos estilos de vidas vivenciados nos centros urbanos face aos meios rurais. Por norma, são bastante heterogéneos os padrões de consumo entre estes dois meios, sendo centros urbanos grandes produtores de resíduos.

6. Dados e Metodologia

6.1. Objetivo

Com o exposto no capítulo anterior, é possível compreender a necessidade de diversos meios humanos e físicos para efetuar o processo de recolha de RSU no concelho de Santarém. Posto isto, é fundamental equacionar novas formas de otimizar as rotas existentes, não só em termos dos percursos realizados, mas também analisar novos locais de partida dos veículos e de descarga dos mesmos. Visto que o principal problema no processo de recolha dos RSU reside na localização da estação de transferência de Santarém e do estaleiro dos veículos de recolha, ambos no extremo sul do concelho. Ou seja, destes locais até a alguns aglomerados localizados no norte do município são mais de 30km de distância.

Deste modo, a RRI que se encontra responsável pela zona norte do concelho instalou um estaleiro, na freguesia de Pernes, mais precisamente no aglomerado da Moita, para os veículos pertencentes à empresa. No entanto, estes apesar de iniciarem o seu percurso na parte norte do concelho, a descarga é realizada na estação de transferência de Santarém.

Uma forma de diminuir os gastos associados à deslocação até à única estação de transferência existente no concelho, consiste em equacionar a presença de outras estações/centros de transferência, associadas à Resitejo. Ao observar a distribuição geográfica das diferentes infraestruturas, é possível verificar que algumas das freguesias a norte se localizam mais próximas do centro de transferência de Alcanena face à infraestrutura de Santarém.

Em suma, no processo metodológico o centro de transferência de Alcanena será considerado como uma possível solução, e a existência de um estaleiro no mesmo local do atual da RRI.

6.2. Base de Dados

Os dados referentes ao modelo de recolha de resíduos no município de Santarém (tabela 12), foram disponibilizados pela Divisão de Ambiente e Espaços Públicos e pelo sector SIG da CMS. Seguidamente, integrados numa base de dados, com o intuito de se proceder à sua análise e atualização.

É importante salientar que toda a informação geográfica aqui apresentada se encontra no sistema de coordenadas *Hayford-Gauss Datum73*, que embora ultrapassado para Portugal Continental, é o utilizado no sector de SIG da CMS. Atualmente, este sistema de coordenadas é considerado obsoleto e foi substituído pelo *European Terrestrial Reference System - ETRS89*, passando a ser o sistema global de referência recomendado pela EUREF (*European Reference Frame*, subcomissão da IAG - Associação Internacional de Geodesia) (DGT, 2018).

A conceção de uma base de dados é fundamental na gestão de uma elevada quantidade de informação. Esta é armazenada em tabelas que permitem a edição e atualização de novos atributos. Por outro lado, é possível associar as tabelas através de campos comuns.

Como já referido, a informação referente ao atual sistema de gestão RSU foi inserida numa base de dados espacial (*File Geodatabase*). Esta, por sua vez, foi repartida em três tipologias de dados: polígonos, linhas e pontos. Ou seja, foram constituídas três *features datasets*, uma primeira que inclui os limites das freguesias do Concelho (*CAOP_2017_FREG*) no formato de polígonos. A segunda, armazena todos os pontos relativos ao cadastro dos contentores em duas *features classes*, um referente aos contentores no centro urbano (*CONT_URBANO*) e outra relativa às freguesias rurais (*CONT_RURALS*). A última *feature dataset* (RedeViária) é composta pelos dados referentes aos eixos de via no formato de linhas (*FC_EixosVia*).

Todas as *layers* são constituídas por uma tabela de atributos na qual apresentam o campo *DICOFRE*, este corresponde a um código identificativo, com a seguinte interpretação:

- DI= Identifica o Distrito
- CO = Identifica o Concelho
- FRE = Identifica a Freguesia

Tabela 12 - Informação referente aos dados

Dados	Tipo de dados	Sistema de Coordenadas	Fonte
Limite das Freguesias do Concelho de Santarém	Polígonos	Hayford-Gauss Datum73	CAOP
Cadastro dos Contentores	Pontos	Hayford-Gauss Datum73	(DEPA) CMS
Eixos de Via	Linhas	Hayford-Gauss Datum73	(DEPA) CMS

6.2.1. Limites administrativos das freguesias

Os limites administrativos das freguesias são um elemento fundamental, para a analisar a distribuição dos pontos de recolha de resíduos. Por outro lado, permitem compreender a extensão do município, e a dimensão de cada freguesia.

6.2.1.1. Atributos

A *layer* dos limites administrativos é composta por diversos atributos (figura 22), como a área em hectares (*AREA_T_Ha*) e km² (*KM2*), os habitantes à data dos últimos censos (*HABITANTES_2011*), todos eles referentes a cada freguesia. Com base nesses elementos, adicionou-se uma nova coluna (*Hab_Km2*) com o cálculo da densidade populacional, recorrendo à seguinte fórmula:

$$Densidade\ Populacional = \frac{Habitantes}{Área\ (km^2)}$$

Shape	Dicofre	Distrito	Concelho	Freguesia	Des_SimpII	TAA	AREA_T_Ha	Km2	HABITANTES_2011	Hab_Km2	Shape Length	Shape Area
Polygon	141625	SANTARÉM	SANTARÉM	Vale de Santarém	Vale de Santarém	ÁREA PRINCIPAL	1019.53	10.1953	2920	286.406481	15663.444001	10195295.116299
Polygon	141634	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias de São Vicente do Paul e Vale	U.F. São Vicente do Paul e Vale de Figueira	ÁREA PRINCIPAL	7182.23	71.8223	2917	40.814127	49559.615116	71822272.597916
Polygon	141632	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias de Romeira e Várzes	U.F. Romeira e Várzes	ÁREA PRINCIPAL	3244.57	32.4457	2600	80.133885	38979.697924	32445689.12229
Polygon	141633	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias da Cidade de Santarém	U.F. da Cidade de Santarém	ÁREA PRINCIPAL	5551.11	55.5111	29929	639.153431	45031.903262	55511075.413627
Polygon	141631	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias de Casével e Vaqueiros	U.F. Casével e Vaqueiros	ÁREA PRINCIPAL	3678.2	36.782	1149	31.238108	36761.313453	36781950.298478
Polygon	141630	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias de Azoia de Cima e Tremês	U.F. Azoia de Cima e Tremês	ÁREA PRINCIPAL	3329.09	33.2909	2477	74.404717	37649.72878	33290886.284708
Polygon	141629	SANTARÉM	SANTARÉM	União das freguesias de Achete, Azoia de Baixo e P	U.F. Achete, Azoia de Baixo e Póvoa de Santa	ÁREA PRINCIPAL	4426.05	44.2605	2923	66.040826	44143.782319	44260475.1533
Polygon	141616	SANTARÉM	SANTARÉM	Póvoa da Isenta	Póvoa da Isenta	ÁREA PRINCIPAL	1390.36	13.9036	1127	81.058143	16306.666297	13903582.508801
Polygon	141614	SANTARÉM	SANTARÉM	Pernes	Pernes	ÁREA PRINCIPAL	1405.96	14.0596	1446	102.847876	19609.942247	14059591.014092
Polygon	141613	SANTARÉM	SANTARÉM	Mocárria	Mocárria	ÁREA PRINCIPAL	1211.98	12.1198	1136	93.73092	19634.927008	12119832.365959
Polygon	141628	SANTARÉM	SANTARÉM	Gançaria	Gançaria	ÁREA PRINCIPAL	558.91	5.5891	514	91.964717	13712.090822	5589141.138592
Polygon	141608	SANTARÉM	SANTARÉM	Arneiro das Miharicas	Arneiro das Miharicas	ÁREA PRINCIPAL	1202.17	12.0217	835	69.457731	16315.376082	12021684.071095
Polygon	141607	SANTARÉM	SANTARÉM	Amiais de Baixo	Amiais de Baixo	ÁREA PRINCIPAL	630.24	6.3024	1851	293.697639	13114.523618	6302432.389831
Polygon	141606	SANTARÉM	SANTARÉM	Almoster	Almoster	ÁREA PRINCIPAL	4082.04	40.8204	1818	44.536555	40972.882335	40820393.987794
Polygon	141605	SANTARÉM	SANTARÉM	Alcanhões	Alcanhões	ÁREA PRINCIPAL	1145.38	11.4538	1469	128.254378	18392.826266	11453803.975325
Polygon	141604	SANTARÉM	SANTARÉM	Alcanede	Alcanede	ÁREA PRINCIPAL	10582.99	105.8299	4547	42.965173	51921.622562	105829937.913603
Polygon	141602	SANTARÉM	SANTARÉM	Abrã	Abrã	ÁREA PRINCIPAL	2243.88	22.4388	1122	50.002674	26246.527551	22438813.303358
Polygon	141601	SANTARÉM	SANTARÉM	Abtureiras	Abtureiras	ÁREA PRINCIPAL	2368.9	23.689	972	41.031702	25348.999917	23688990.258712

Figura 23 – Tabela de atributos da *layer* correspondente aos limites administrativos das freguesias

6.2.2. Cadastro dos Contentores

No processo de recolha de RSU, é essencial saber a localização dos equipamentos de deposição. Esta informação foi recolhida ao longo dos anos e agregada num ficheiro com as respetivas coordenadas, e outras informações relativas a cada equipamento. Este ficheiro de leitura em *Autocad*, foi convertido em *shapefile* de modo a permitir o tratamento dos dados na aplicação *ArcMap*.

No entanto, o levantamento de dados relativos aos contentores no concelho foi realizado há alguns anos, e não foi sendo atualizado com o decorrer do tempo. Posto isto, os dados encontravam-se desatualizados e com diversas lacunas. De modo a reverter esta situação, e a utilizar informação fidedigna para não comprometer a veracidade dos resultados, foi necessário verificar se nas localizações registadas estavam corretas, e se as respetivas informações de capacidade e morada correspondiam à realidade.

Um elemento que demonstrou a desatualização dos dados foi o atributo referente à identificação das freguesias, este ainda era relativo ao período anterior à reorganização administrativa ocorrida em 2013.

Por outro lado, foi necessário um trabalho muito minucioso e demorado de atualização da informação referente à localização e características dos diversos contentores. Para tal, recorreu-se ao *Google Maps* e aos ortofotomapas do concelho referentes ao ano de 2015, disponibilizados pelo sector de SIG da CMS. Porque devido à extensão do concelho e ao elevado número de contentores, era incomportável verificar todas as localizações no terreno.

Para a ser mais fácil o manuseamento da informação, esta foi dividida em duas *layers*. Uma composta pelo cadastro dos contentores urbanos, ou seja, aqueles que se localizam no perímetro urbano do concelho. E outra com os contentores localizados no perímetro rural.

6.2.2.1. Atributos

Para a posterior inserção dos dados na extensão *Network Analyst* foi necessário inserir alguns campos à tabela de atributos (tabela 13), que permitissem a execução do algoritmo. A informação adicionada era referente ao período de tempo em que se podia efetuar a recolha, tempo de descarga e a quantidade a recolher em cada contentor.

Tabela 13 - Atributos dos Contentores

Atributos	Descrição
Freg_Atual	Freguesia do município em que se localiza
Aglomerado	Aglomerado do município em que se localiza
Morada	Arruamento em que se localiza
Cod_Rua	Código referente à rua em que se localiza
Pont_Ref	Elemento(s) que identifique(m) mais facilmente a localização
Coord_X	Coordenadas geográficas (XX) da localização
Coord_Y	Coordenadas geográficas (YY) da localização
Tipologia	Tipologia do equipamento de deposição <ul style="list-style-type: none">• Categorias - Balde / Contentor / Contentor Subterrâneo
Capacidade	Capacidade de carga dos equipamentos de deposição <ul style="list-style-type: none">• Categorias - 90 / 120 / 800 / 1000 / 1100 / 3000 Litros
Freq_Semanal	Frequência com que é realizada a recolha dos resíduos
Time_Service	Tempo que demora a descarga do equipamento de deposição
TimeStart1	Hora a partir da qual se pode iniciar o processo de recolha daquele equipamento de deposição
TimeEnd1	Hora até à qual se pode realizar o processo de recolha daquele equipamento de deposição
KG_CONT	Quantidade de resíduos (kg) a recolher em cada local

No caso do tempo de descarga, este foi fixado no valor de 30 segundos (0,5 minutos), tem por base a observação em campo deste processo. No entanto, outros autores também referem durações semelhantes, Carvalho (2013) menciona 20 e 35 segundos para contentores individuais e coletivos, respetivamente. Enquanto, Campos (2014) faz referência a 30 segundos para a descarga de contentores de 800 litros.

Para o cálculo dos quilos a recolher em cada contentor considerou-se que em média a recolha ocorre quando os contentores se encontram a 70% da sua capacidade máxima, no caso das freguesias rurais. Já no centro urbano, visto que a recolha de resíduos se realiza regularmente, na maioria dos casos todos os dias, exceto ao domingo, considerou-se que os contentores no momento da recolha estavam com 60% da sua carga máxima. Por outro lado, a grande disponibilidade de ecopontos no centro urbano face às freguesias rurais, permite aos habitantes fazer a separação dos resíduos tendo em vista a reciclagem, depositando nos contentores indiferenciados apenas os resíduos que não podem se reciclados.

Posto isto, considerou-se como densidade mássica dos resíduos indiferenciados, o valor de 123kg/m³, referida por Gomes *et al.* (2013). No entanto, a capacidade dos contentores é expressa em litros, enquanto a densidade mássica é em quilos, logo foi necessário torná-las comparáveis.

Seguidamente procedeu-se aos seguintes cálculos de modo a saber a quantidade de quilos a recolher em cada local (tabela14).

Tabela 14 - Informação referente à capacidade mássica dos contentores

Balde/ Contentor	Capacidade Mássica (kg)	70% da Capacidade Mássica (kg)	60% da Capacidade Mássica (kg)
90 L (0,09m ³)	11	7,7	6,6
120 L (0,12m ³)	14,7	10,2	8,8
800 L (0,8m ³)	98,4	68,8	59
1000 L (1m ³)	123	86,1	73,8

6.2.3. Eixos de Via

A rede viária é crucial na análise de redes, constituída por arestas que fazem a ligação entres os diversos nós. No entanto, é necessário um conjunto de atributos que a caracterizem todo o processo de circulação ao longo desta. Assim, quando analisada a *layer Eixos de Via* concluiu-se que esta se encontrava bastante incompleta a nível de atributos, com inúmeras lacunas em termos estruturais. Muitos dos campos

encontravam-se sem qualquer informação, outros a informação era referente apenas a algumas vias.

Porém, como o próprio nome sugere, esta *layer* é composta por todos os eixos de vias existentes no concelho, e não apenas pela rede viária. Logo, foi necessário a seleção daqueles que somente permitiam a circulação pedonal e proceder à sua eliminação.

Como referido anteriormente, o principal problema do concelho de Santarém reside na localização da única estação de transferência existente em todo município. Face a esta situação, foi ponderada como alternativa a descarga no centro de transferência localizado no município de Alcanena. Esta seria uma excelente opção para os percursos de recolha realizados na parte norte do concelho.

Visto que a CMS apenas possuía os eixos de via referentes ao seu município, foi necessário obter a rede viária de Alcanena através de outra fonte. Neste caso, recorreu-se a um servidor online (Geofabrik, 2018) no qual se obteve a rede viária para todo o território nacional, e se fez a extração das vias necessárias. Após, estas seleção procedeu-se à configuração do sistema de coordenadas, para *Hayford-Gauss Datum73*, como os restantes dados. Seguidamente, foi analisada a tabela de atributos, e formatada de modo a ser possível a união das duas redes, apresentando iguais atributos. Para a união das redes recorreu-se à ferramenta *Union*.

Posto isto, rede passaria a ser composta apenas por vias que possibilitassem a circulação rodoviária tanto no concelho de Santarém, como em parte do concelho de Alcanena. Contudo, para que fosse possível traçar uma rota, esta não poderia conter falha, ou seja, troços incompletos, sobrepostos ou sem qualquer acesso. Recorrendo ao *ArcCatalog* criou-se uma Topologia com o objetivo de aplicar um conjunto de regras à *feature class*, que permitissem analisar o quão exata era a sua representação da realidade.

Regras aplicadas:

- 1) *Must Not Overlap* – Regra para identificar as linhas da mesma classe sobrepostas. No caso da rede viária, as linhas que correspondem aos arruamentos podem se cruzar, ou atravessar uma sobre outra, mas nunca se sobreporem no mesmo segmento (figura23).



Figura 24 – Identificação do Erro, quando aplicada a regra *Must Not Overlap* (ESRI)

- 2) *Must No Have Dangles* – Regra para identificar se todos as linhas estão conectadas, ou seja, quando termina um segmento de linha deve-se iniciar outro junto do seu final. Porém, podem se aplicar exceções, no caso da rede viária que por norma existem becos sem saída (figura 24).

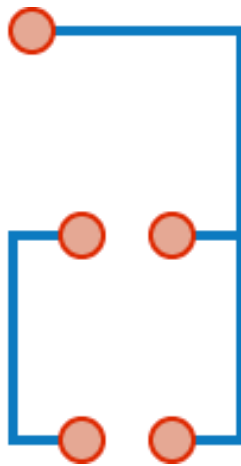


Figura 25 – Identificação do Erro, quando aplicada a regra *Must No Have Dangles* (ESRI)

Após a identificação de inúmeras falhas, o método de correção foi meticuloso e demorado. Neste processo foi fundamental os ortofotomapas, referentes a toda a área do concelho no ano de 2015. Estes serviram de base, para a compreensão da estrutura dos troços, que foram corrigidos com recurso às ferramentas disponibilizadas na barra *Editor*.

6.2.3.1. Atributos

A rede é composta por um conjunto de atributos, que permitem por um lado, a identificação geográfica dos diferentes troços, e por outro, a caracterização da circulação rodoviária.

A informação apresentada nos diferentes campos foi registada de modo a corresponder às especificações do *Network Analyst*, possibilitando a elaboração de diferentes percursos. Assim alguns campos encontram-se preenchidos com códigos/numeração que permitam a leitura no momento da aplicação do algoritmo.

Tabela 15 - Atributos da Rede Viária

Atributo	Descrição
DISTRITO	Distrito onde se localiza o troço
CONCELHO	Concelho onde se localiza o troço
L_FREGUESIA	Freguesia existente no lado esquerdo
R_FREGUESIA	Freguesia existente no lado direito do troço
AGLOMERADO	Aglomerado onde se localiza o troço
MORADA	Rua onde se localiza o troço
COD_RUA	Código que identifica a rua, atribuído pela CMS
CLASSE	Tipo de piso que o troço apresenta
SENTIDO	Número de sentidos do troço
ONEWAY	Identificação do sentido do troço
VELOCIDADE_KM_H	Velocidade a que o veículo de recolha circula naquele troço
Shape_Length	Comprimento em metros de cada troço
TEMPO_MIN	Tempo necessária para percorrer aquele troço (minutos)
F_ZLEV	Classificação do ponto inicial do troço face à sua altitude
T_ZLEV	Classificação do ponto final do troço face à sua altitude

Destes atributos destacam-se 4, como elementos fundamentais para a correta execução do modelo:

ONEWAY

Inúmeros troços não apresentavam o sentido das vias correto, e aqueles tinham não descreviam qual era o sentido. Face a isto foi criado o atributo ONEWAY, que classifica os troços com três códigos diferentes.

No caso das vias de 2 sentidos foi a atribuída a codificação de Both (B). Enquanto nas vias onde apenas é possível circular num sentido, foram divididas de acordo com o sentido da circulação. Ou seja, quando este correspondia ao sentido da digitalização o código atribuído era FT, no caso de ser no sentido oposto da digitalização era TF.

TEMPO_MIN

Este atributo corresponde ao tempo que cada veículo demora a percorrer um determinado troço. Parra tal, foi estipulada a velocidade de acordo com a função desempenha pelo veiculo no momento em que circula naquele troço.

Deste modo, foram definidas três velocidades, correspondendo a três momentos diferentes, tendo em conta as características da rede viária e a distribuição dos contentores. Assim quando o veiculo vai em processo de recolha, estipulou-se a velocidade 12km/h. No caso, de ir a percorrer uma longa distância entre os pontos de recolha a velocidade passa para 40 km/h. Por fim, quando se dirige dos diferentes aglomerados onde efetuou a recolha para o local de descarga assume uma velocidade de 50 km/h.

No entanto, para o cálculo do tempo gasto a percorrer cada troço, é necessário o atributo referente ao comprimento de cada segmento de linha.

Posto isto, aplicou-se o seguinte cálculo:

$$"TEMPO_MIN" = \frac{(60 * "Shape_Lenght")}{("Velocidade_KM_H" * 1000)}$$

F_ZLEV/T_ZLEV

A conectividade de uma *feature class* do tipo linha pode ser definida nas extremidades ou noutra vértice de cada arco, desde que se verifique a sobreposição de vértices (Campos, 2014). Logo, através da atribuição do valor 0 ou 1 nos vértices sobrepostos, é possível assinalar uma passagem de nível superior ou inferior.

Assim, foram adicionados dois atributos à *feature class*, um referente ao vértice de início de cada segmento de linha (F_ZLEV) e outro relativo ao vértice final (T_ZLEV), e cada campo é preenchido com o valor 0 ou 1. Como visível na figura 25, quando estamos perante uma passagem inferior os vértices de início e fim apresentam o valor 0. No caso de ser uma passagem superior o vértice que se sobrepõe ao vértice da passagem inferior regista o valor 1.

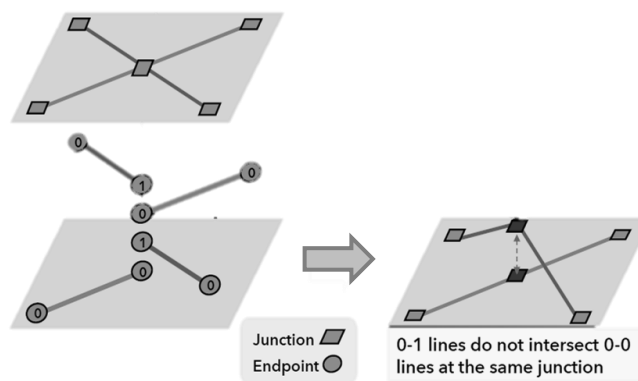


Figura 26 - Intersecção de passagens de diferentes níveis (ESRI)

6.3. Metodologia – ArcGIS (Network Analyst)

6.3.1. Network Dataset

Com todos os elementos da *feature class RedeViaria* configurados e definidos, era essencial criar uma rede que permitisse a modelação dos percursos de recolha de RSU, ou seja, uma *network dataset*. Para tal, recorreu-se ao *ArcCatalog*, este expõe todos os dados que integram a *Geodatabase* criada inicialmente. Como o caso da *feature dataset*

RedeViaria que serviu de base para a criação da *network dataset* (figura 27), pois continha a *feature class* com a informação relativa à conectividade da rede.

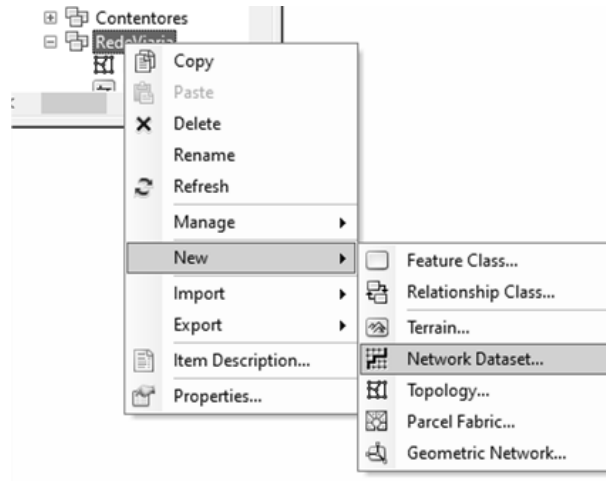


Figura 27 - Procedimentos para a criação da *Network Dataset*

No processo de elaboração da *network dataset* foram definidos os atributos que a iriam caracterizar a navegação ao longo da rede. Como o caso das restrições de circulação, do comprimento de cada trecho, e dos respetivos tempos de percurso. Finalizado este processo, surgem associados à rede dois ficheiros. Um primeiro (*ND_Junctions*) que representa todas as intersecções presentes na rede viária. Enquanto o segundo (*ND*) expressa a conectividade que garante a circulação na rede.

Por outro lado, fica disponível uma barra de ferramentas que permite a execução de um conjunto de funções do *Network Analyst*. Entre as quais, *Vehicle Routing Problem*, funcionalidade escolhida para aplicar no presente caso. Esta é composta pelos elementos descritos nos tópicos seguintes.

6.3.2. Vehicle Routing Problem – Network Locations

6.3.2.1. Orders (Locais de Recolha)

Os *orders* correspondem aos locais de recolha de resíduos, ou seja, onde estão localizados os contentores. É com base nesses pontos que são estabelecidos os circuitos de recolha, pois o circuito só está completo quando visitados todos os contentores e recolhidos os respetivos resíduos.

O município de Santarém apresenta um total de 3254 contentores das mais diversas tipologias. No entanto, consoante a zona onde estão localizados e a quantidade de pessoas a servir a sua recolha pode ser mais ou menos frequente. Assim, existem contentores que são recolhidos apenas uma vez ao longo da semana, e outros que é necessário recolher 2, 3, 4, 5 ou mesmo 6 vezes no decorrer da semana.

Com base nas atuais rotas realizadas, foi possível identificar a frequência de recolha dos diversos contentores, e por sua vez, agrega-los consoante essa categoria. Este procedimento foi realizado com o objetivo de facilitar a elaboração de novos circuitos.

Por outro lado, considerou-se a presente necessidade do sistema de recolha ser efetuados por duas entidades, visto que a CMS não dispõe de meios humanos e físicos suficientes para ficar responsável por todo a concelho.

Como referido anteriormente, os contentores foram divididos por frequência de recolha, mas tendo em conta a entidade responsável pela área da sua localização.

Seguidamente, ao adicionar os dados à classe *orders* foi necessário definir algumas propriedades (figura 27) referentes a esta categoria, tendo por base os atributos associados a cada *feature class*. Deste modo, foram adicionados os atributos referentes ao tempo de descarga de cada equipamento (*TIMESERVICE_MIN*), ao intervalo de tempo para a recolha dos contentores (*TimeStart1*, *TimeEnd1*), e por fim, as quantidades a recolher em cada ponto (*Kg_CONT*). Nas restantes propriedades nenhum elemento foi alterado, à exceção do campo *MaxViolationTime1*, que foi preenchido com o valor 0, isto significa que o horário estipulado não pode ser excedido. Finalizado este processo encontram-se inseridos os contentores na classe *orders*.

Location Analysis Properties		
Property	Field	Default Value
Name		
Description		
ServiceTime	TIMESERVICE_MIN	
TimeWindowStart1	TimeStart1	
TimeWindowEnd1	TimeEnd1	
TimeWindowStart2		
TimeWindowEnd2		
MaxViolationTime1		0
MaxViolationTime2		
InboundArriveTime		
OutboundDepartTime		
DeliveryQuantities		
PickupQuantities	ka CONT	
Revenue		
SpecialtyNames		
AssignmentRule		Override
RouteName		
Sequence		
CurbApproach		Either side of vehicle

Figura 28 - Propriedades da classe *Orders*

6.3.2.2. Depots (Local de partida/Locais de descarga dos veículos)

Os *depots* corresponde à classe que armazena os locais de partida e chegada, e as informações associadas a cada local.

No presente caso, foram adicionados dois locais de partida e outros dois de chegada. Visto que foram considerados os dois estaleiros, o da RRI localizado no aglomerado da Moita (parte norte do concelho) e o da CMS situado na zona industrial subjacente ao centro urbano (extremo sul do concelho).

Como já referido, um dos objetivos consistia em encontrar uma solução para o tempo despendido entre as freguesias do norte do concelho e a estação de transferência. Logo, foi equacionado como opção de descarga o centro de transferência de Alcanena. Assim, estes dois locais de descarga foram adicionados a esta camada, com os respetivos horários de funcionamento.

6.3.2.3. Routes

Esta classe apresenta uma dupla função, pois por um lado permite a adição de todas as especificidades referentes aos veículos que efetuem o processo de recolha, e por outro expõe todas as informações referentes aos percursos obtidos como resultado.

Deste modo, as suas propriedades (figura 28) solicitam elementos referentes aos locais de partida e chegada, o período temporal para efetuar a recolha. E por outro lado, a capacidade máxima de carga do veículo e quantos contentores pretendemos que ele no máximo recolha.

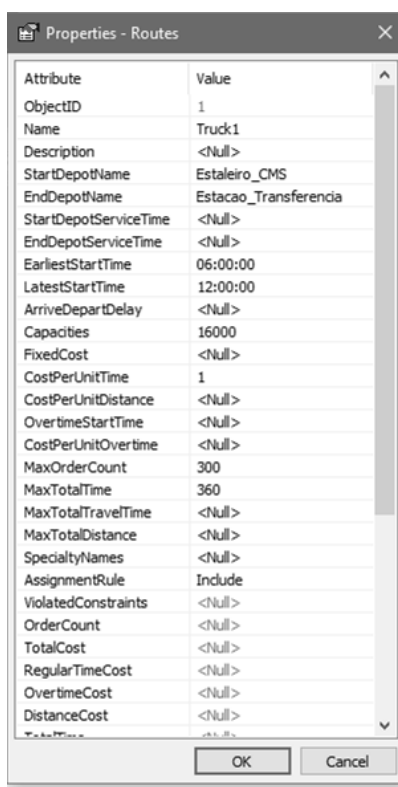


Figura 29 - Propriedades da classe *Routes*

Neste caso foram utilizadas as informações referentes à frota utilizada pela CMS e pela RRI. Em termos de horários de recolha, também foram considerados os realizados atualmente, por parte das duas entidades. Ou seja, a CMS realiza circuitos de 6 horas (360 minutos) tanto no período da manhã como à tarde. Enquanto a RRI efetua circuitos de 7 horas (420 minutos) apenas no período da manhã.

6.3.2.4. Route Renewals

Em alguns circuitos a capacidade de carga do veículo de recolha não é suficiente para recolher todos os contentores. Nesses casos, a classe *route renewals* armazena possíveis locais de descarga intermédios, e os respetivos tempos de despejo.

Contudo, esta classe só foi preenchida no caso dos percursos em que o somatório dos quilos de resíduos a recolher era superior à capacidade de carga do(s) veículo(s). Como pontos de descarga intermédios foram considerados os mesmos locais onde se realiza a descarga final, ou seja, a estação de transferência de Santarém e o centro de transferência de Alcanena. Em termos de tempo necessário para o processo de descarga foram considerados 15 minutos, como referido por Campos (2014).

7. Resultados e Discussão

7.1. Circuitos otimizados

Após a adição de todos os dados nas classes referidas anteriormente, é possível proceder à elaboração dos novos circuitos.

Como mencionado no capítulo antecedente a este, os contentores foram agregados numa nova *feature class* de acordo com a periodicidade com que deveriam ser recolhidos e meio onde estavam inseridos, ou seja, urbano ou rural, e a partir de cada grupo foram gerados os percursos. Por exemplo, todos os contentores que deveriam ser recolhidos quatro vezes por semana pela CMS foram inseridos numa *feature class*, e depois constituído o circuito, e assim sucessivamente.

É importante salientar que em cada rota proposta foram considerados os tempos de descarga no final do percurso. E, por outro lado, os respetivos tempos de viagem entre os locais da descarga final e os estaleiros. Assim o tempo despendido no despejo do veículo após concluída a rota foi considerado 15 minutos.

Por sua vez, para o cálculo do tempo despendido entre o ponto de chegada e o estaleiro assumiu-se que no trajeto entre os locais os veículos circulam a cerca de 50km/h, e efetuam o percurso mais curto. Posto isto, conclui-se que no caso dos veículos que realizam a descarga na estação de transferência em Santarém, gastam 1 minuto a percorrer o trajeto até ao estaleiro da CMS. Enquanto os veículos que têm como destino o estaleiro na Moita despendem cerca de 26 minutos neste trajeto. Por sua vez, se a descarga for executada no centro de transferência em Alcanena o percurso até ao estaleiro da Moita demora em média 9 minutos.

Antes de executar o comando “*solve*”, que tem como objetivo gerar os percursos, é necessário definir um conjunto de propriedades referentes à aplicação a *Vehicle Routing Problem*. Como visível na figura 29, as propriedades solicitam os atributos relativos ao tempo e à distância, e a respetiva unidade de medida. Já a categoria *U-turns at junctions* é relacionada com circulação na rede, ou seja, permite definir em que locais os veículos podem realizar inversão de marcha. No presente caso ao definir a possibilidade *allowed*, significa que este pode inverter o sentido da marcha em qualquer local. Por outro lado, existe uma opção que aciona ou não a consideração de restrições ao longo da rede.

Em suma, com todos os elementos das propriedades definidos é possível passar para o último passo, ou seja, executar o comando solve, e deste modo obter novas rotas.

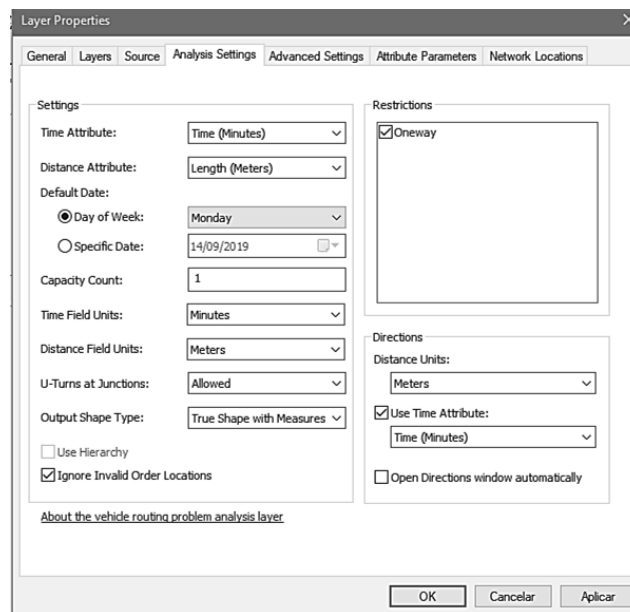


Figura 30 - Propriedades da layer Vehicle Routing Problem

7.1.1. Circuitos Urbanos

As primeiras propostas de rotas elaboradas foram referentes U.F. da cidade de Santarém. Pois, ao longo do seu território estão distribuídos 869 contentores de diferentes tipologias, ou seja, 13 subterrâneos e os restantes de superfície. Contudo, são necessários diversos circuitos efetuados por vários veículos, de modo a assegurarem a recolha dos RSU em toda a área.

Com o objetivo rentabilizar os circuitos ao máximo foi considerada a possibilidade de descargas intermédias, que permitam aos veículos a recolha do máximo de contentores possíveis. Esta possibilidade é exequível devido à proximidade da estação de transferência.

Seguidamente serão propostos 9 circuitos, dos quais 5 terão como base os circuitos principais, aos quais adicionam contentores em que a periodicidade de recolha é menor.

- **Proposta dos circuitos urbanos 1 e 1.1**

- 250 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 06h e as 12h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de descarga intermédia: Estação de Transferência Santarém
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículos de recolha capacitado para 16000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

O circuito urbano 1 (figura 30) percorre diferentes tipologias de áreas, umas destinadas maioritariamente à habitação e outras ao comércio e serviços. Este considera equipamentos em que o despejo é necessário realizar todos os dias, exceto ao domingo.

Por sua vez, o circuito 1.1 (figura 30) consiste numa extensão do primeiro, englobando os mesmos locais e ainda insere mais 6, nos quais a recolha só se realiza uma vez por semana.

Comparando os dados referentes aos dois circuitos (tabela 16), verifica-se que são poucas as discrepâncias, apenas diferem no tempo gasto visto que o circuito 1.1 recolhe mais 6 contentores. Assim, no CU1 são percorridos 49 km em 5h13, enquanto no CU1.1 o tempo aumenta para 5h47 e distância percorrida mantem-se idêntica, tal deve-se ao facto do segundo efetuar mais paragens ao longo do percurso.

Nenhum dos circuitos atinge a duração máxima do turno, mas ambos incluem uma descarga intermédia, pois o veículo apenas permite a recolha de 16000kg de resíduos, e nos dois casos a totalidade recolhida ultrapassa os 17000 kg.

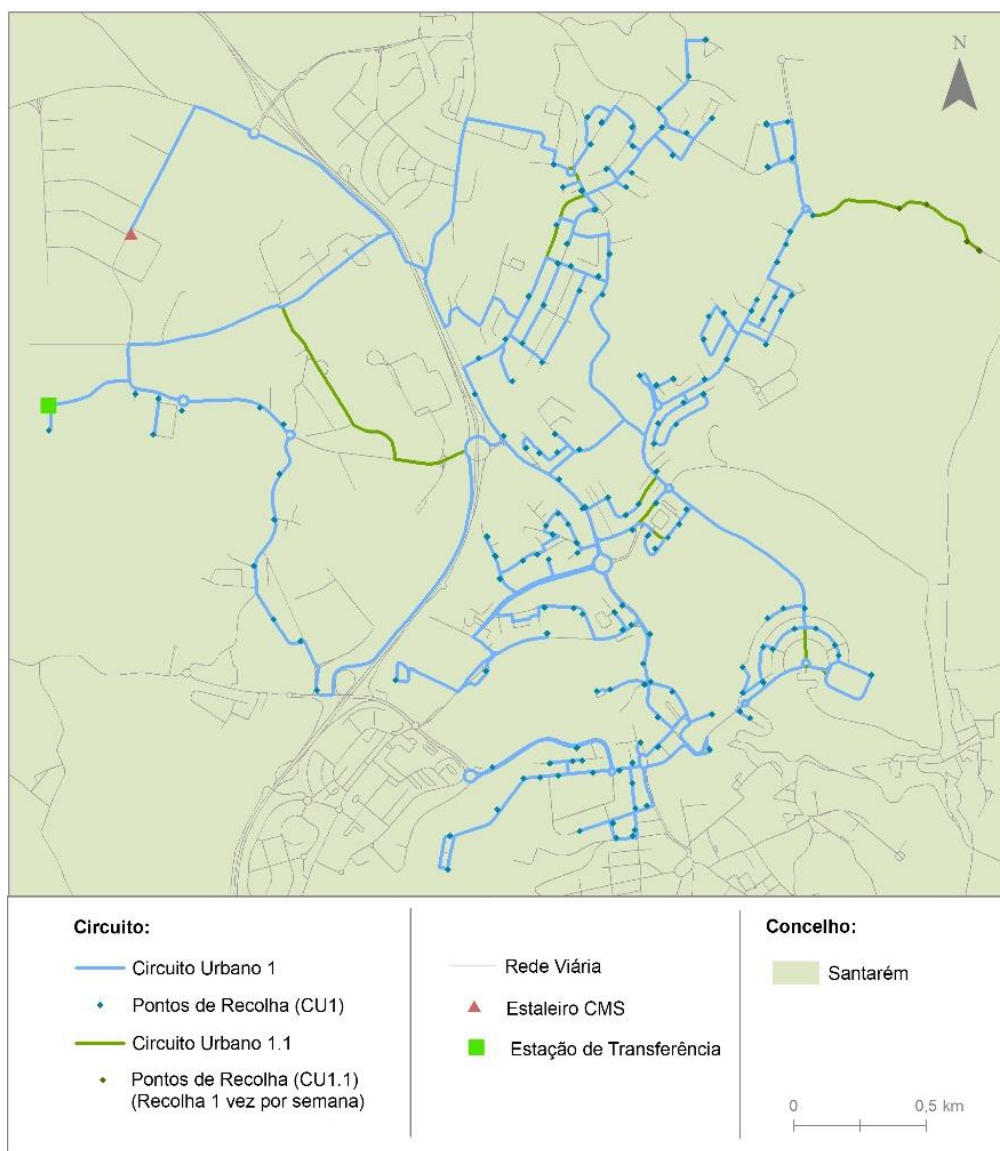


Figura 31 - Proposta dos circuitos urbanos 1 e 1.1

Tabela 16 - Características dos circuitos urbanos 1 e 1.1

Circuitos Urbanos	Início	Fim	Tempo de Percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº Contentores	Total de Resíduos Recolhidos (Kg)
1	06h	11h13	5h13	49 (48735 m)	5h37	244	17 493,6
1.1	06h	11h27	5h27	48 (47904 m)	5h51	250	17 742,8

- **Proposta dos circuitos urbanos 2, 2.1 e 2.2**

- 238 equipamentos de deposição (7 contentores subterrâneos e 231 contentores de superfície)
- Período de recolha entre as 06h e as 12h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- Ponto de descarga intermédia: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículos de recolha capacitado para 16000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

A maioria do percurso do circuito urbano 2 (figura 31, tabela 17) abrange áreas residenciais, como é o caso dos aglomerados urbanos de São Domingos e do Sacapeito.

Por sua vez, o circuito 2.1 consiste na extensão do anterior, incluindo diversos contentores localizados nos postos de combustíveis existentes ao longo da circular urbana D. Luís I, mais conhecida pela designação de “Rua O”. Este também percorre parte da N3 no sentido Vale de Santarém. Todos os equipamentos adicionados neste circuito quando comparado CU2, apenas necessitam de uma recolha semanal.

Por fim, o circuito 2.2, tal como o anterior é constituído pelos mesmos pontos de recolha que o CU2, aos quais foram adicionados os contentores subterrâneos. Este circuito deve ser realizado somente 3 vezes ao longo da semana.

Posto isto, estes 3 circuitos nunca se realizam no mesmo dia visto que quando realizado o circuito 2.1 ou 2.2, automaticamente o CU2 está inserido.

Em termos de durabilidade é o CU2.2 que necessita de mais tempo para a sua execução, visto que o processo de recolha dos contentores subterrâneos despence mais tempo em comparação com os contentores de superfície. Em oposto, quando realizado sem alterações o CU2, são recolhidos 217 contentores num período inferior a 5h, sem necessidade de qualquer descarga intermédia.

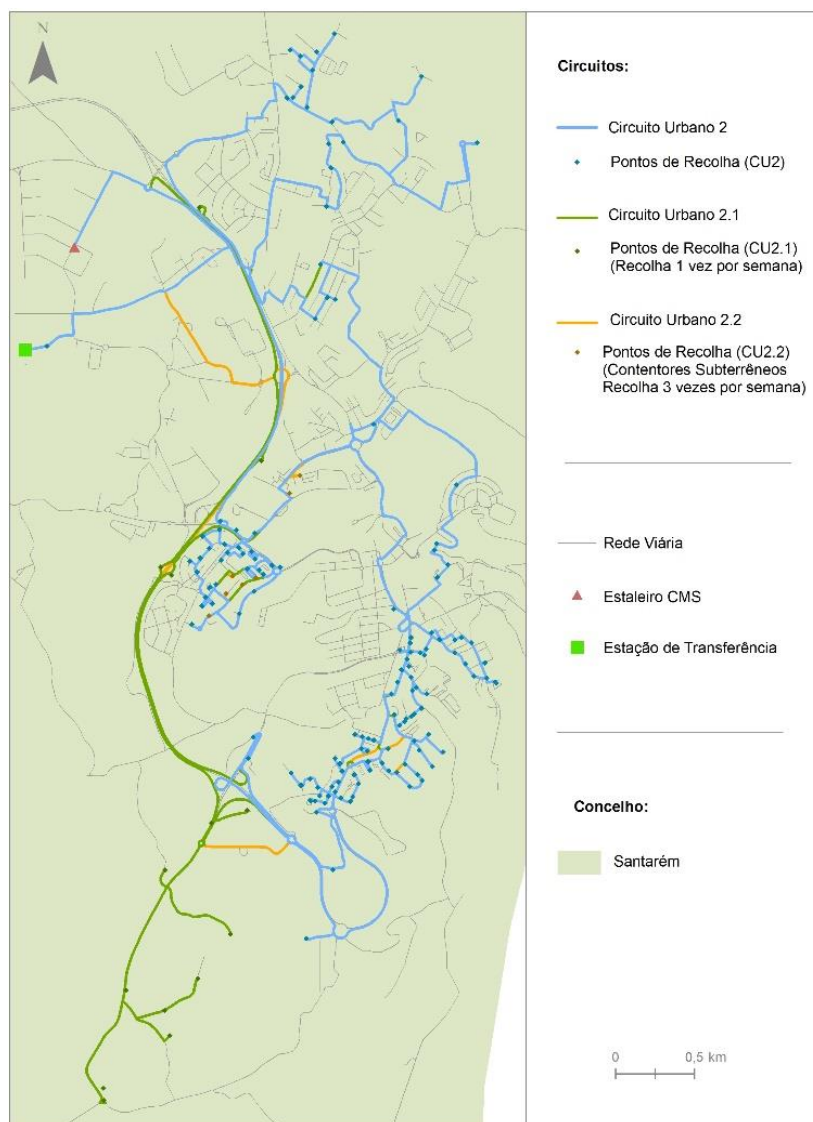


Figura 32 - Proposta dos circuitos urbanos 2, 2.1 e 2.2

Tabela 17 - Características dos circuitos urbanos 2, 2.1 e 2.2

Circuitos Urbanos	Início	Fim	Tempo de Percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº Contentores	Total de Resíduos Recolhidos (Kg)
2	06h	10h25	4h25	44 (43697 m)	4h41	217	15 568,2
2.1	06h	11h22	5h22	62 (61493 m)	5h36	231	16 392,2
2.2	06h	11h35	5h35	58 (57157)	5h51	224	18 667,8

Já os outros dois circuitos requerem que o veículo realize uma descarga durante o processo de recolha. No caso do CU2.1 no decurso de 62 km são visitados 231 pontos de recolha, e reunidos cerca de 16392,2 kg de resíduos. Enquanto, no CU2.2 a distância percorrida diminui para 58 km e o número de contentores para 224, mas como estão incluídos os contentores subterrâneos a quantidade de resíduos recolhidos ultrapassa os 18000 Kg.

- **Proposta dos circuitos urbanos 3, 3.1 e 3.2**

- 201 equipamentos de deposição (7 contentores subterrâneos e 194 contentores de superfície)
- Período de recolha entre as 06h e as 12h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículos de recolha capacitados para 16000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

Os presentes circuitos expressam a mesma situação que a proposta anterior, ou seja, os circuitos 3.1 e 3.2 são uma extensão do CU3, e não foram elaborados para serem executados em simultâneo. Assim, apenas os pontos de recolha inseridos no CU3 são visitados todos os dias da semana, exceto ao domingo. Os restantes são recolhidos de acordo a periodicidade referida no mapa (figura 32).

Deste modo, o CU3 assegura a recolha principalmente nas zonas do Bairro dos Combatentes, do Centro Histórico e da Ribeira de Santarém.

Enquanto, o CU3.1 acrescenta ao CU3 o despejo de vários equipamentos de deposição dispersos pela a união de freguesias. Estes locais na sua maioria correspondem a quintas de exploração agrícola.

Por último, o CU3.2 assume a recolha dos restantes contentores subterrâneos não incluídos na proposta anterior.

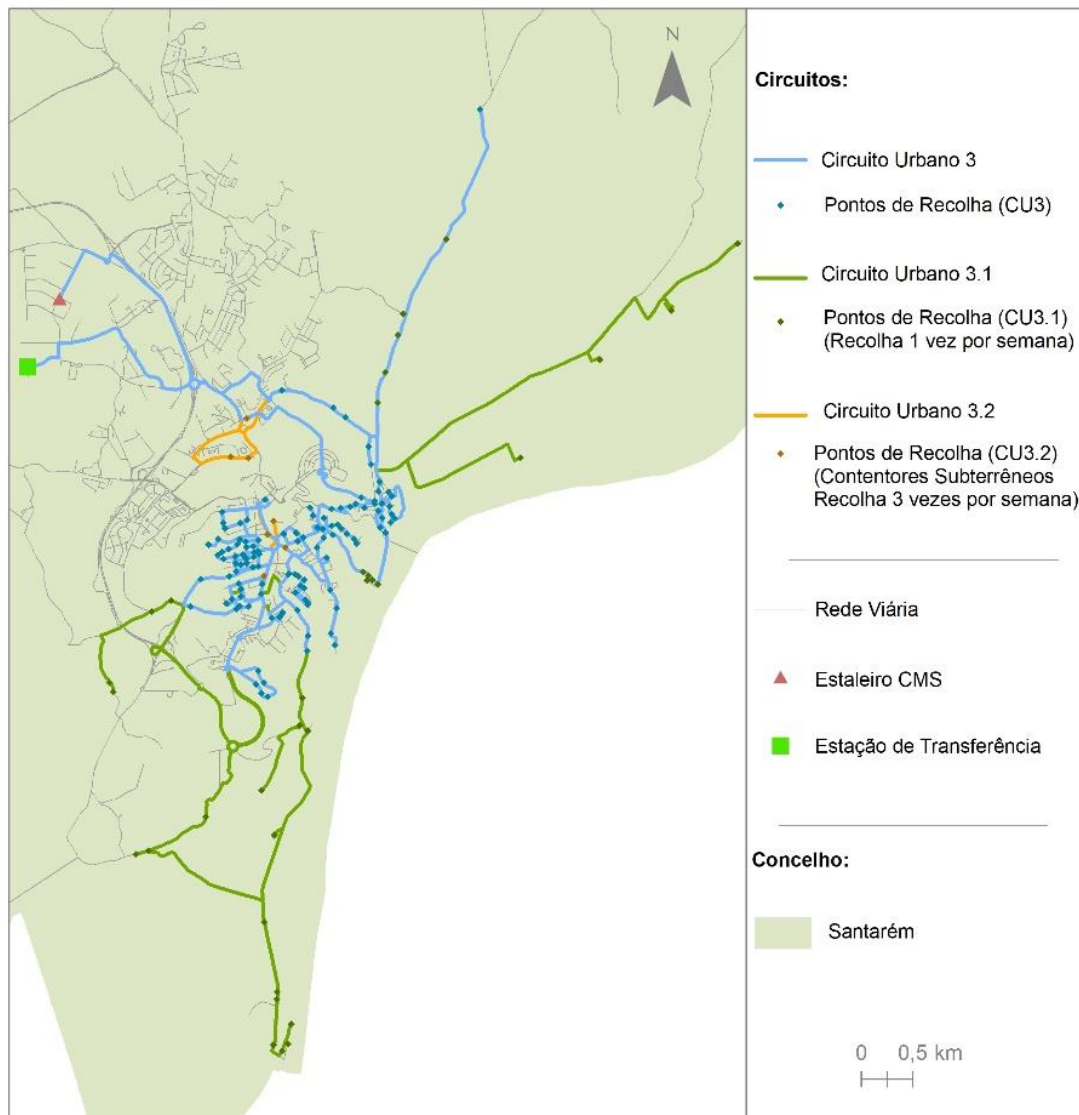


Figura 33 - Proposta dos circuitos urbanos 3, 3.1 e 3.2

De acordo com a informação presente na tabela 18, o principal circuito (CU3) é composto por um trajeto de 45 km percorrido em 4h15, e totalizando a descarga de 155 contentores.

Quando adicionado os 49 equipamentos de recolha que apenas necessita de uma recolha semanal, o tempo e os km percorridos aumentam notavelmente. Veja-se o caso do CU3.1 ao qual foram acrescentados esses equipamentos, apresentado uma extensão de 75km e uma durabilidade de 5h44, tempo limite para depois se efetuar a descarga e o trajeto de regresso ao estaleiro.

Por fim, o CU3.2 a nível de tempo e km percorridos pouco difere do CU3, visto que este já incluía no seu percurso a passagem pela maioria dos locais adicionados ao CU3.2.

Tabela 18 - Características dos circuitos urbanos 3, 3.1 e 3.2

Circuitos Urbanos	Início	Fim	Tempo de Percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº Contentores	Total de Resíduos Recolhidos (Kg)
3	06h	10h15	4h15	45 (44980 m)	4h31	155	10 772,4
3.1	06h	11h44	5h44	75 (74112 m)	6h	194	13 197,1
3.2	06h	10h36	4h36	42 (41193 m)	5h52	161	14 061,5

- **Proposta do circuito urbano 4**

Para a elaboração do circuito abaixo apresentado foram considerados os seguintes elementos:

- 181 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 06h e as 12h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículos de recolha capacitados para 15000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

O circuito urbano 4 (figura 33) contem todos locais cujo a recolha deve ser efetuada 5 vezes por semana. Estes pontos correspondem na sua generalidade às zonas do Graíño, Fontainhas, São Pedro, Portela das Padeiras. Na sua maioria são áreas residenciais desenvolvidas na periferia do centro urbano.



Figura 34 - Proposta do circuito urbano 4

Analisando a tabela 19 o CU4 inclui a despejo de 181 contentores, que originam um total de 12637 kg recolhidos, como o valor é inferior à capacidade máxima do veículo de recolha não é necessária qualquer descarga intermédia. Posto isto, são percorridos 47 km num intervalo temporal de 5h18.

Tabela 19 - Características do circuito urbano 4

Circuito Urbano	Início	Fim	Tempo de Percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº Contentores	Total de Resíduos Recolhidos (Kg)
4	06h	11h18	5h18	47 (46562 m)	5h34	181	12 637

7.1.2. Circuitos Rurais

7.1.2.1. CMS

No caso da CMS considerou-se as freguesias rurais onde atualmente se realiza o processo de recolha, ou seja, Almoester, Moçarria, Póvoa da Isenta, Vale de Santarém, U.F. de Achete, Azoia de Baixo e Povoia de Santarém e a U.F. de Romeira e Várzea.

No entanto, devido à proximidade e à reduzida extensão territorial da freguesia de Alcanhões, esta foi inserida neste grupo, aumentando desta forma a área à responsabilidade da CMS.

Nos circuitos apresentados não é considerada a possibilidade de efetuar uma descarga intermédia, pois ia ser despendido muito tempo no trajeto entre a estação de transferência e os pontos de recolha.

Posto isto, serão propostos 5 circuitos para as freguesias rurais, dos quais 1 se realizaria 4 vezes por semana, outro 3 vezes e os restantes apenas 2 vezes por semana.

• **Proposta do Circuito 1**

Para a elaboração do circuito abaixo apresentado foram considerados os seguintes elementos:

- 181 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 14h e as 20h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículos de recolha capacitados para 15000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

O presente circuito (figura 34) engloba todos os equipamentos de deposição que requerem 4 recolhas por semana. Esta necessidade é visível em toda a freguesia do Vale de Santarém, visto que é considera a maior produtora de resíduos em todo o município. Neste circuito ainda se encontra incluída grande parte dos contentores existentes na freguesia da Póvoa de Isenta. Por outro lado, estão englobados os contentores existentes

na zona industrial de Santarém, como próprio nome indica é zona que agrega um conjunto de empresas e indústrias produzindo consideráveis quantidades de resíduos.

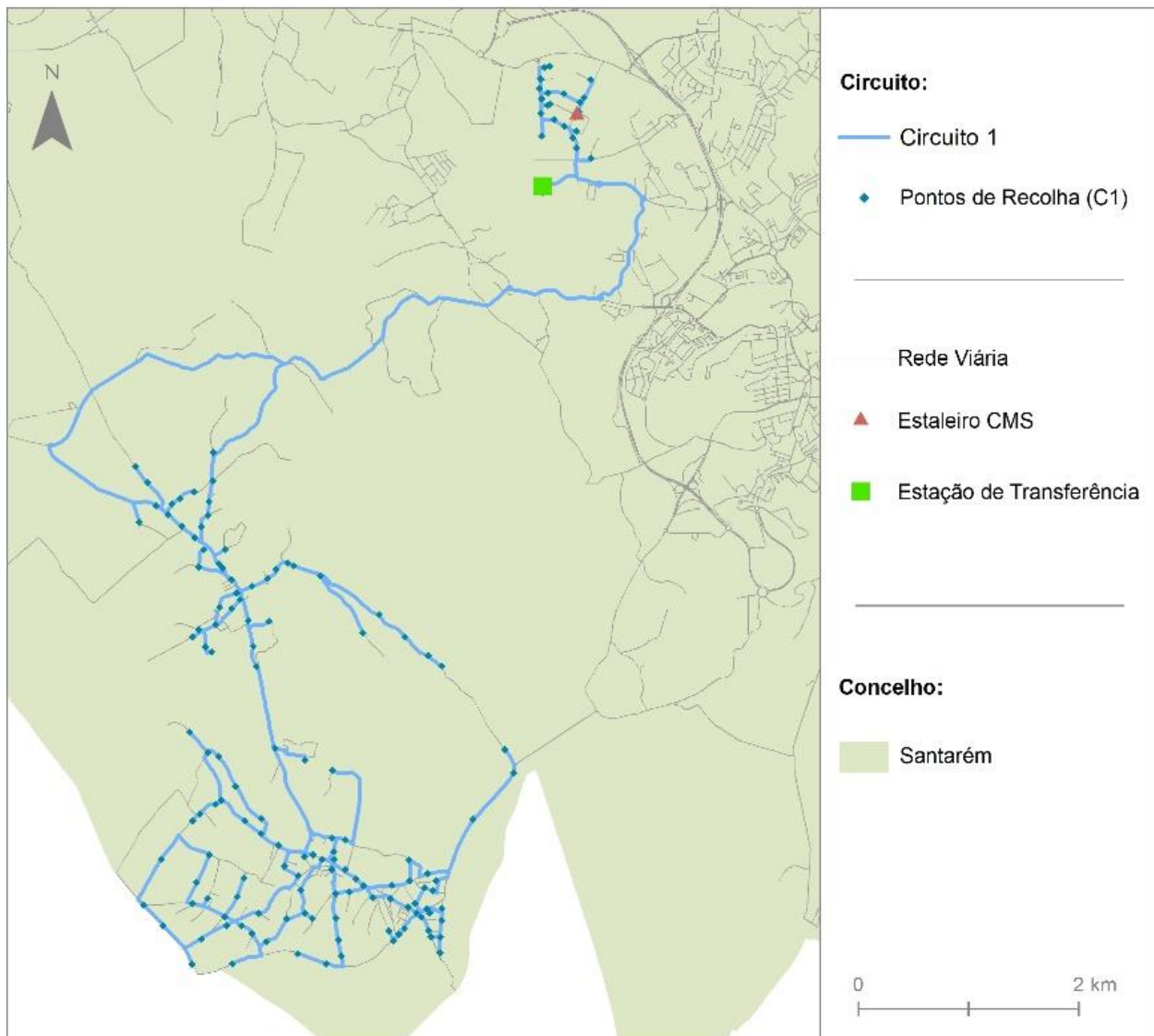


Figura 35 - Proposta do circuito 1

Analisando mais detalhadamente as especificidades do percurso presentes na tabela 20, verifica-se que tem uma duração de quase 6 horas, ou seja, a totalidade da duração do turno. Por outro lado, assume a recolha de 181 contentores, correspondendo a 12749 kg de resíduos recolhidos.

Tabela 20 - Características do circuito rural 1

Circuito	Início	Fim	Tempo de percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº contentores	Total de Resíduos Recolhidos (kg)
1	14h	19h41	5h41	64 km (63023 m)	5h57	181	12 749

• **Proposta do circuito 2**

Para a elaboração do circuito abaixo apresentado foram considerados os seguintes elementos:

- 205 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 14h e as 20h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 1 veículo de recolha capacitados para 16000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

Considerando todos os contentores em que a recolha deve ser efetuada em média 3 vezes por semana, foi elaborado o circuito abaixo exposto. Os pontos de recolha assinalados são referentes na sua maioria à U.F. de Achete, Azóia de Baixo e Póvoa de Santarém (figura 35).

No entanto, este circuito também assume a recolha em toda a zona referente à freguesia de Alcanhões, que atualmente se insere na área sob a alçada da RRI. Visto que uma das alterações a propor neste projeto, consiste na atribuição da freguesia de Alcanhões à CMS, ficando esta encarregue da recolha dos seus RSU.

Esta possível alteração pode ser justificada pela proximidade de Alcanhões às restantes freguesias sob a alçada da CMS, visto que se localiza na parte sul do concelho. Por outro lado, a sua reduzida dimensão permite despender somente parte de um circuito para efetuar a recolha dos RSU.

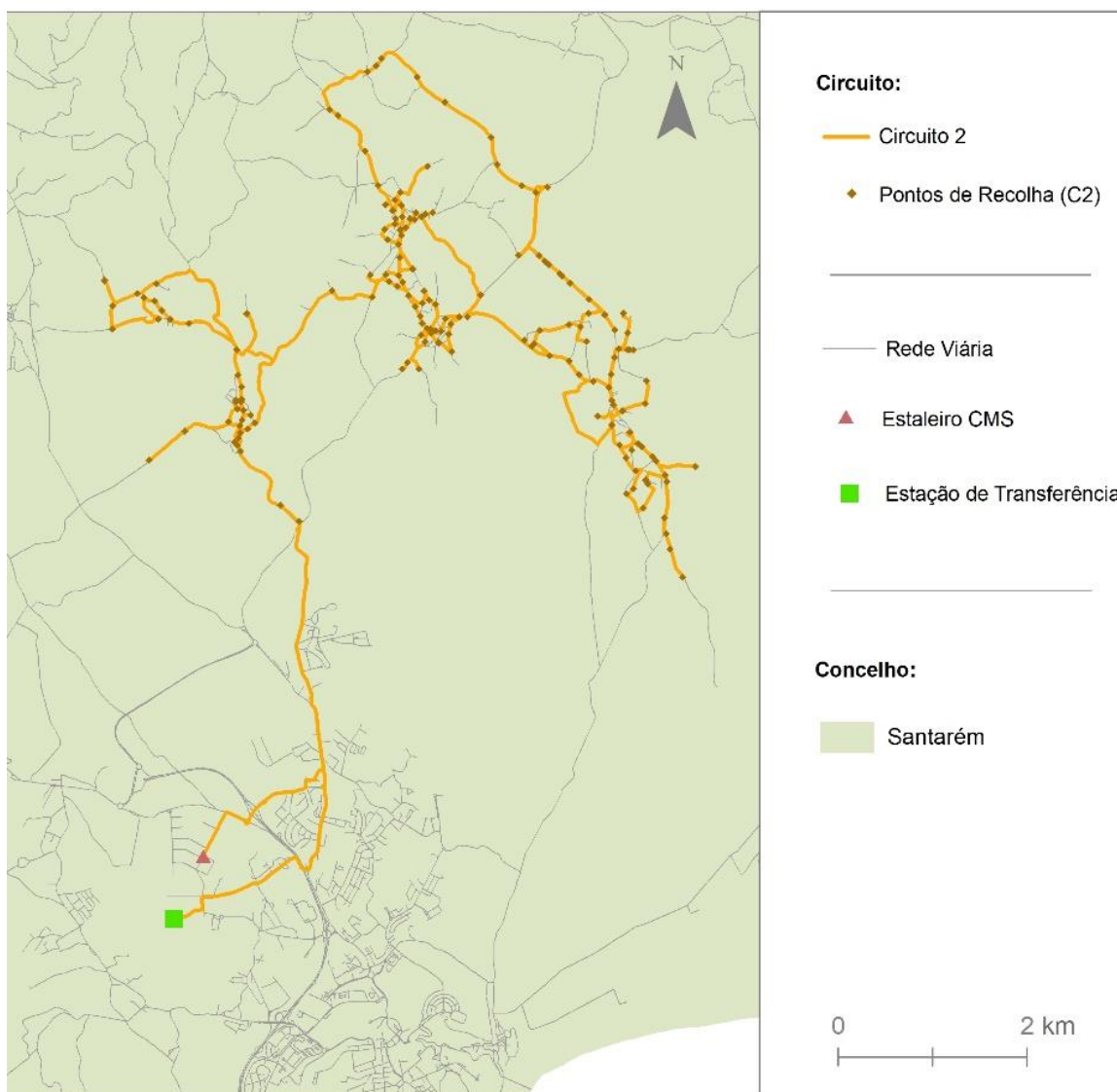


Figura 36 - Proposta do circuito 2

As características relativas a esta rota apresentadas na tabela 21, demonstram que o circuito se realiza em 6h percorrendo cerca de 62 km. Em termos de resíduos, recolhe 13 926 kg provenientes de 205 equipamento de deposição.

Tabela 21 - Características do circuito rural 2

Circuito	Início	Fim	Tempo de percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº contentores	Total de Resíduos Recolhidos (kg)
2	14h	19h44	5h44	62 km (61336m)	6h	205	13 926

- **Proposta dos circuitos 3, 4 e 5**

Para a elaboração dos circuitos abaixo apresentados foram considerados os seguintes elementos:

- 500 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 14h e as 20h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém
- 2 veículo de recolha capacitados para 16000 kg e 1 para 12000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 344 minutos (+ 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro)
- Tempo de descarga: 15 minutos

Os circuitos apresentados na figura 36 têm como objetivo cobrir toda a área em que a recolha se realiza 2 vezes por semana. Assim, o total de contentores existentes nas freguesias de Moçarria e Almoster encontram-se incluídos no circuito 3 e 4, respetivamente. Enquanto parte significativa dos contentores da U.F. de Romeira e Várzea estão integrados nos circuitos 3 e 5. É visível pela dispersão dos pontos de recolha que os aglomerados percorridos pelos os circuitos 4 e 5 apresentação um povoamento mais disperso, face aos aglomerados do circuito 3.

Em relação à duração e às quantidades de resíduos recolhidas em cada circuito estas informações encontram-se registadas na tabela 22. Através do registado é possível confirmar o mencionado anteriormente acerca da dispersão/concentração dos pontos de recolha. Ou seja, o circuito 3 apresenta o maior número de contentores recolhidos faces aos restantes percursos, porém regista o menor número de km percorridos.

No caso do circuito 4, para recolher todos os contentores na zona para a qual o percurso se direcionava, o tempo total de viagem, descarga e regresso ao estaleiro ultrapassou em 3 minutos a duração do turno.

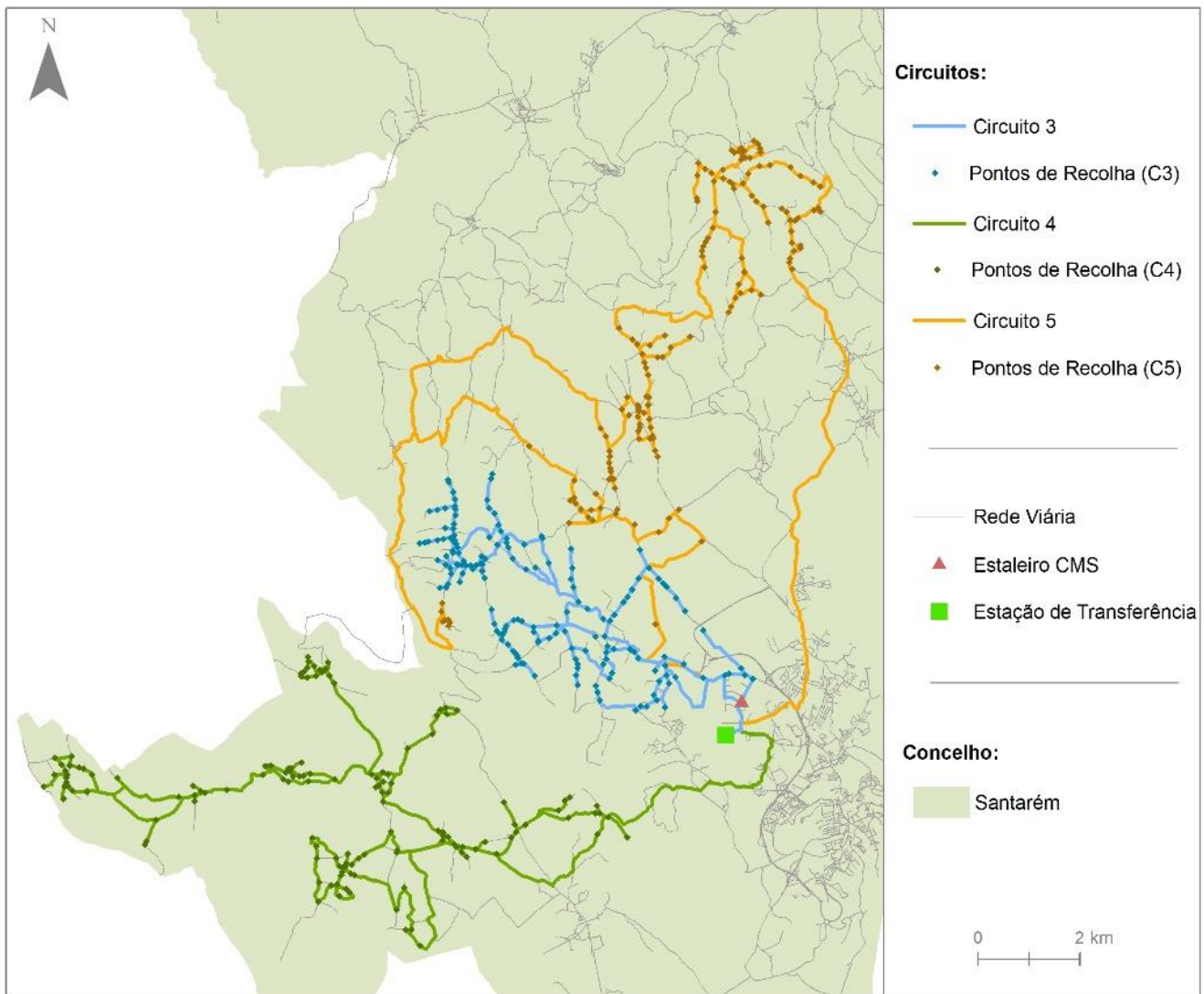


Figura 37 - Proposta dos Circuitos 3, 4 e 5

Tabela 22 - Características dos circuitos rurais 3, 4 e 5

Circuitos	Início	Fim	Tempo de Percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº Contentores	Total de Resíduos Recolhidos (Kg)
3	14h	19h39	5h39	60 (60895 m)	5h55	182	11 379,3
4	14h	19h47	5h47	77 (76814 m)	6h03	158	10 143,3
5	14h	19h43	5h43	88 (87085 m)	5h59	160	10 443,9

7.1.2.2. RRI

A RRI responsável pela recolha dos resíduos na parte norte do concelho, mais precisamente nas freguesias de Alcanede, Abitureiras, Abrã, Alcanhões, Amiais de Baixo, Arneiro das Milhariças, Pernes e Gançaria. No caso das uniões de freguesias encontra-se incumbida da recolha na U.F. de Azoia de Cima e Tremês, U.F. de Casével e Vaqueiros e por fim, na U.F. de São Vicente do Paul e Vale de Figueira.

Com base nos pontos de recolha distribuídos pelos locais referidos anteriormente, foram elaboradas 9 propostas de circuitos, que seguidamente serão descritos.

Contudo, é importante salientar que nestes circuitos foram adicionados dois novos locais de partida e descarga face aos circuitos proposto para a CMS. Sendo eles o estaleiro da Moita (local de partida) e o centro de transferência em Alcanena (local de descarga). Assim, serão considerados 3 veículos de recolha, dos quais 2 iniciam e terminam o seu percurso nas infraestruturas localizadas a norte. Enquanto o outro veículo inicia e termina o seu trajeto nas infraestruturas situadas a sul.

• **Propostas dos circuitos 1, 2 e 3**

Para a elaboração dos circuitos abaixo apresentados foram considerados os seguintes elementos:

- 551 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 06h e as 13h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS/Estaleiro da Moita
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém/Centro de Transferência Alcanena
- 2 veículo de recolha capacitados para 15000 kg e 1 para 10000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 396 minutos:
 - + 24 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro da Moita
 - + 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro CMS
- Tempo de descarga: 15 minutos

A figura 37 expõe 3 possíveis circuito a realizar 3 vezes por semana, visto que é essa a necessidade de recolha dos contentores considerados.

Como área percorrida pelos percursos apresenta alguma extensão são diversas as freguesias incluídas nestes circuitos. Deste modo, as freguesias Arneiro das Milhariças e Pernes encontram a totalidade dos seus contentores inseridos nos circuitos 1 e 2. Por outro lado, o circuito 3 percorre toda a extensão da freguesia de Amiais de Baixo e o aglomerado de Amiais de Cima. Por sua vez, o circuito 2 engloba grande parte dos pontos de recolha na U.F. de São Vicente do Paúl e Vale de Figueira, que em conjunto com o circuito 1 completam esta união de freguesias.

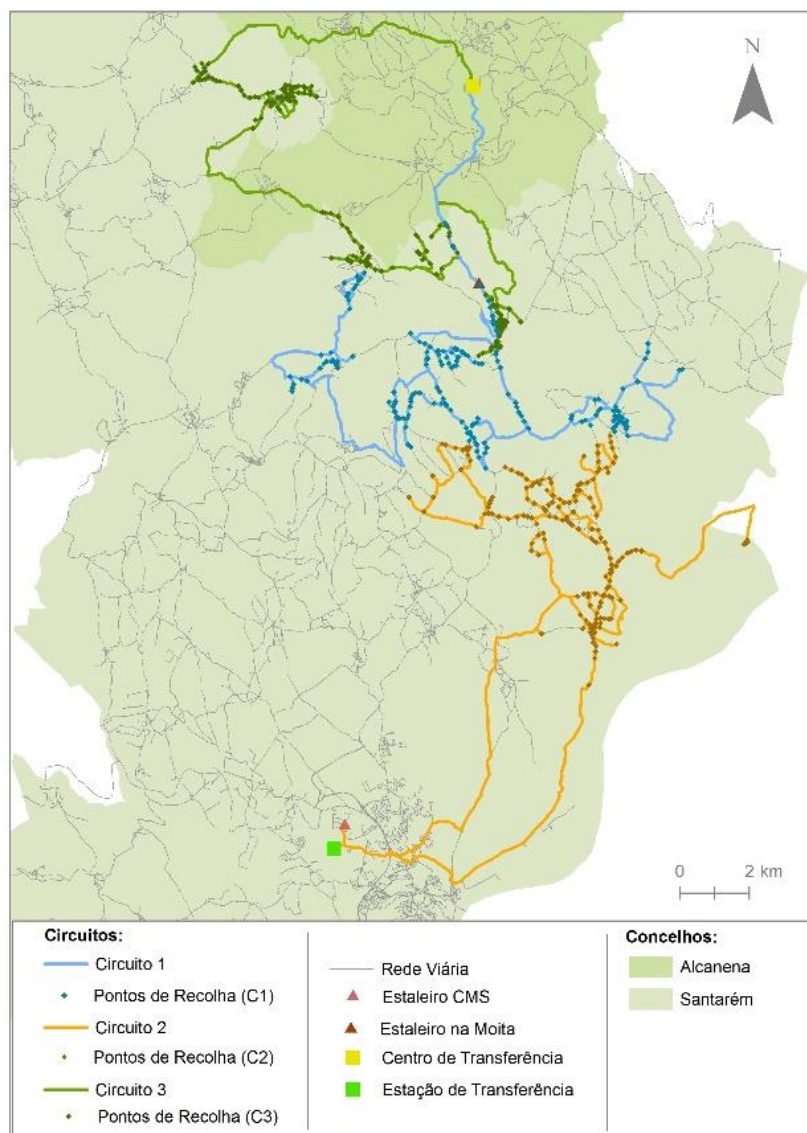


Figura 38 - Proposta dos circuitos 1,2 e 3

De acordo com as informações presentes na tabela 23, é possível analisar as vantagens da localização do estaleiro na parte norte do concelho, e a utilização do centro de transferência em Alcanena para descarga dos resíduos. Pois, os dois circuitos que incluem estes locais apresentam um maior número de contentores despejados no tempo gasto no percurso, em comparação com o circuito 2. Ou seja, o circuito 2 em 05h11 possibilita a recolha de 173 equipamentos de deposição, ao longo de 58 km. Já circuito 1 permite a recolha de 200 contentores num percurso com 89 km, e com a duração de 6h55. Com a mesma duração, o circuito 3 percorre 179 locais de recolha, mas num circuito de 98 km. Assim grande parte dos quilómetros correspondem à deslocação entre locais de partida e descarga e os glomerados onde se pretende efetuar a recolha.

Logo, se fosse considerado apenas um ponto de descarga, a estação de transferência em Santarém, os circuitos teriam uma duração superior, ou mesmo devido ao tempo gasto na deslocação até ao sul do concelho o tempo dos turnos poderia ser excedido.

Tabela 23 - Características dos circuitos 1, 2 e 3

Circuitos	Início	Fim	Tempo de percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº contentores	Total de Resíduos Recolhidos (kg)
1	06h	12h31	6h31	89 (88625 m)	6h55	200	9 822,7
2	06h	10h47	4h47	58 (57036 m)	5h11	173	10 953,1
3	06h	12h31	6h31	98 (97199 m)	6h55	179	9 837,1

- **Proposta do circuito 4, 5 e 6**

Para a elaboração dos circuitos abaixo apresentados foram considerados os seguintes elementos:

- 495 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 06h e as 13h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS/Estaleiro da Moita
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém/Centro de Transferência Alcanena
- 2 veículo de recolha capacitados para 15000 kg e 1 para 10000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 396 minutos:
 - + 24 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro da Moita
 - + 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro CMS
- Tempo de descarga: 15 minutos

Os circuitos expostos na figura 39 abrangem parte significativa dos aglomerados localizados na parte noroeste do concelho.

Deste modo, todos os equipamentos de deposição localizados na freguesia de Abitureiras são incluídos no circuito 6. Para além desses locais, o esse circuito em conjunto com o 4 englobam grande parte dos contentores existentes na U.F. de Azoia de Cima e Tremês. Por outro lado, os percursos 4 e 5 são responsáveis pela recolha de um elevado numero de contentores na freguesia de Alcanede.

A tabela 24 expressa que dos circuitos propostos, o circuito 4 é aquele que contem mais pontos de recolha (176), e como estes se encontram muito dispersos geograficamente são necessário 105 km para efetuar o despejo de todos.

Por sua vez, o circuito 5 engloba 150 contentores num percurso de 82 km, realizado em 4h52. Enquanto, o circuito 6 numa distância idêntica recolhe 169. As diferenças entre estes dois circuitos devem-se em parte ao facto dos aglomerados inseridos no circuito 5 encontram-se mais disperso face aos do circuito 6.

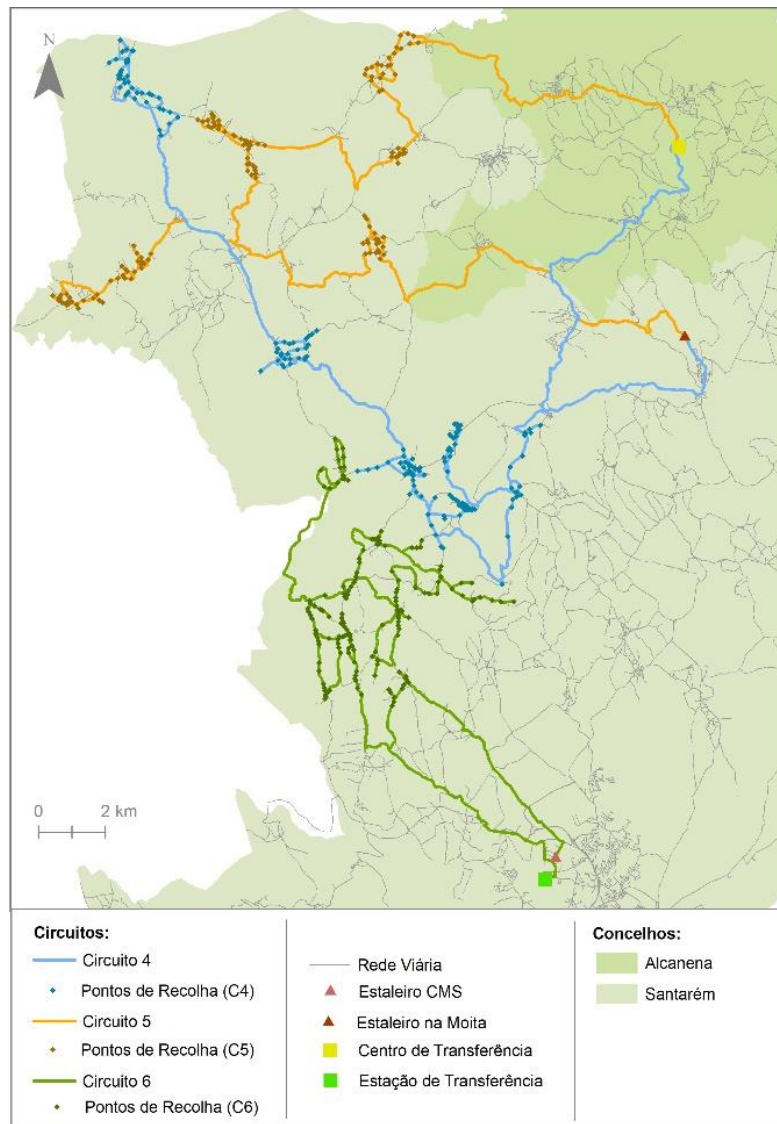


Figura 39 - Proposta dos circuitos 4, 5 e 6

Tabela 24 - Características dos circuitos 4, 5 e 6

Circuitos	Início	Fim	Tempo de percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº contentores	Total de Resíduos Recolhidos (kg)
4	06h17	12h30	6h13	105 (104873 m)	6h37	176	11 510,8
5	06h	10h52	4h52	82 (81074 m)	5h16	150	10 227,5
6	06h	12h08	6h08	86 (85075 m)	6h32	169	9 802,5

- **Proposta do circuito 7, 8 e 9**

Para a elaboração dos circuitos abaixo apresentados foram considerados os seguintes elementos:

- 448 equipamentos de deposição
- Período de recolha entre as 06h e as 13h
- Ponto de partida: Estaleiro CMS/Estaleiro da Moita
- Ponto de chegada/descarga: Estação de Transferência Santarém/Centro de Transferência Alcanena
- 2 veículo de recolha capacitados para 15000 kg e 1 para 10000 kg
- Tempo para realizar o circuito: 396 minutos:
 - + 24 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro da Moita
 - + 16 minutos para a descarga e regresso ao estaleiro CMS
- Tempo de descarga: 15 minutos

Os circuitos expostos na figura 40 reúnem todos os locais onde a recolha se realiza apenas uma vez por semana.

Assim o circuito 7 engloba toda a área correspondente à U.F. de Casével e Vaqueiros.

Por outro lado, os circuitos 8 e 9 repartem-se pelas freguesias de Alcanede, Gançaria e Abrã. Destas a recolha é mais expressiva em Alcanede abrangendo 264 pontos de recolha, pois esta é freguesia com maior extensão territorial em todo o município.

Analisando mais detalhadamente os circuitos (tabela 25), podemos verificar que o circuito 7 se inicia 13 minutos depois da hora de início de turno, isto deve-se ao facto do centro de transferência em Alcanena ter uma pausa do 12h ao 12h30, e o fim do circuito iria coincidir com essa pausa. Posto isto, o método aplicado propôs como solução iniciar o percurso às 6h13 e deste modo ele terminaria ao 12h30, hora em que se inicia o funcionamento do centro de transferência. Em resumo, este circuito percorre 82 km, em 6h17 recolhendo 138 contentores.

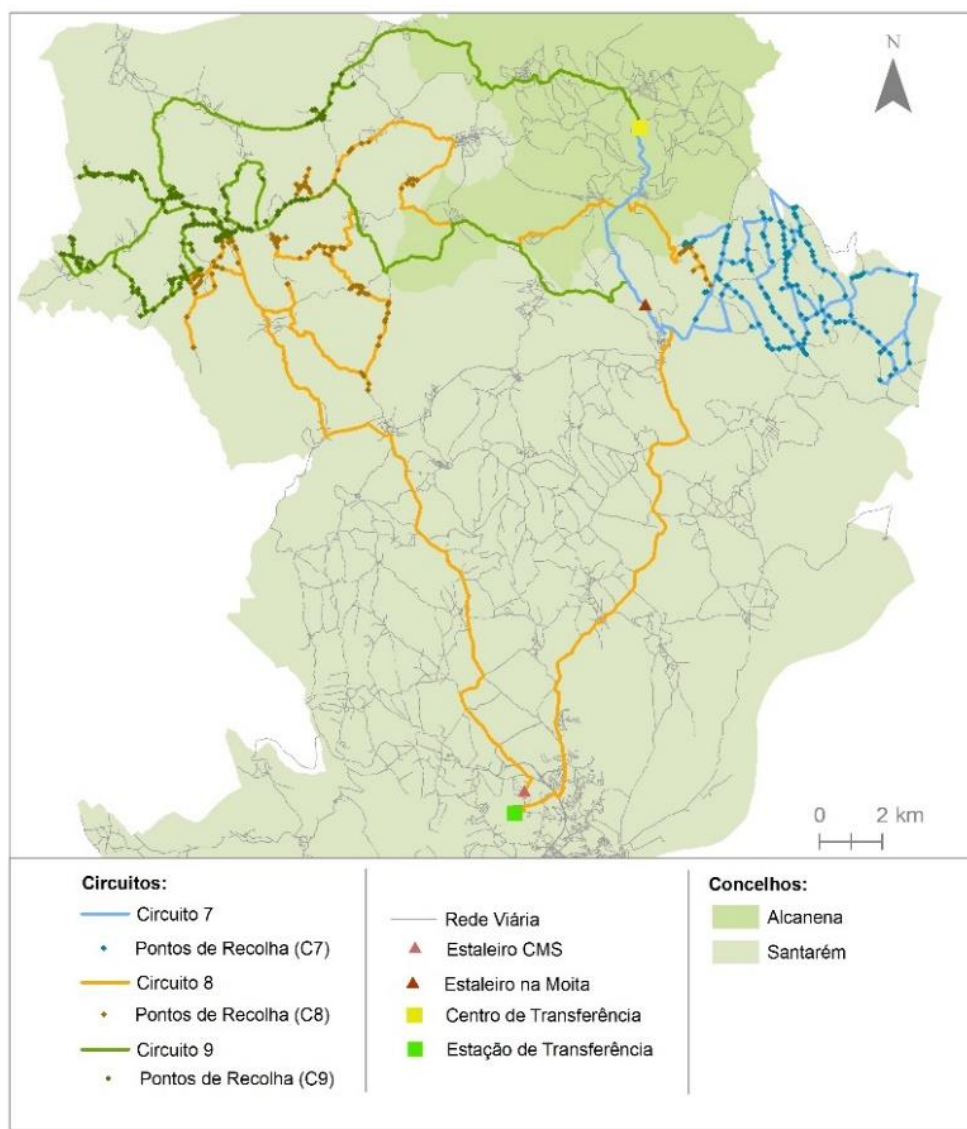


Figura 40 - Proposta dos circuitos 7, 8 e 9

Tabela 25 - Características dos circuitos 7, 8 e 9

Circuitos	Início	Fim	Tempo de percurso	Km Percorridos	Total de Tempo	Nº contentores	Total de Resíduos Recolhidos (kg)
7	06h13	12h30	6h17	82 (81413 m)	6h41	138	6 832,1
8	06h	11h52	5h52	114 (113393 m)	6h16	137	7 849,7
9	06h	12h36	6h36	97 (96924 m)	7h	173	10 729,3

Por sua vez, o circuito 8 é o que apresenta o número mais elevado de km percorridos, ou seja, 114 km. Isto deve-se ao facto deste se iniciar no estaleiro da CMS, e terminar na Estação de Transferência em Santarém. Estes locais situam-se no extremo sul do concelho, e os pontos de recolha na parte norte do mesmo, logo é necessário percorrer uma longa distância no início e no fim do circuito. Em suma, este trajeto engloba 137 contentores, recolhidos em 5h52.

Por fim, o circuito 9 contabilizado todo o tempo necessário para recolha e descarga final, completa a totalidade do turno, ou seja, 7h. Neste período temporal, são despejados 173 contentores ao longo de um trajeto de 97 km.

7.2. Discussão dos Resultados

Com base nas propostas acima expostas podem ser constituídos horários para as duas entidades, nos quais se encontram distribuídos os diferentes circuitos pelos vários dias da semana.

No caso da CMS, o horário proposto é o seguinte:

Tabela 26 - Proposta da distribuição diária dos circuitos para a CMS

	CMS					
	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	Sábado
Horário da Manhã (06h - 12h)	CU1	CU1	CU1	CU1.1	CU1	CU1
	CU2.2	CU2	CU2.2	CU2.1	CU2.2	CU2
	CU3.2	CU3	CU3.2	CU3.1	CU3.2	CU3
	CU4	CU4		CU4	CU4	CU4
Horário da Tarde (14h – 20h)	C1	C3	C1	C3	C1	
	C2	C4	C2	C4	C2	
		C5		C5		

De acordo com esta distribuição, no período da manhã a CMS necessitaria de 4 veículos para a realização dos vários circuitos de recolha. Destes, 3 seriam com capacidade para 16000kg, e outro para 15000kg, de modo a dar resposta à quantidade de resíduos a recolher. Por outro lado, existiria a possibilidade de realizar uma descarga

intermédia, nos circuitos em que o veículo não tem capacidade para recolher todos os resíduos numa só carga. A única exceção seria a quarta-feira, em que se realizariam apenas 3 circuitos, visto que o CU4 apenas se efetua 5 vezes por semana.

Por sua vez, o período da tarde incluiria 2 circuitos, na maioria dos dias, e realizar-se-ia com veículos com capacidade para 16000 e 15000 kg. As exceções seriam a terça-feira com 3 circuitos, e a quinta-feira com 4. No entanto, estes percursos englobariam toda a área atualmente à responsabilidade da CMS, e ainda a freguesia de Alcanhões, não considerada nos atuais percursos.

Comparando com o atual modelo executado, os turnos apresentam a mesma durabilidade. Sendo o período da manhã destinado aos circuitos urbanos, ou seja, a toda a extensão da U.F. da Cidade de Santarém. Enquanto, o período da tarde continuaria a ser dedicado às freguesias rurais. Assim, o número circuitos realizados no período da manhã é bastante idêntico. Pois a elevada quantidade de contentores a recolher exige que sejam percorridas a maioria das ruas da união de freguesias. Por sua vez, no período da tarde são visíveis alterações, com a redução do número de circuitos executados por dia, face ao atual modelo, mesmo com a inclusão de uma nova freguesia.

A nível de veículos, estes nunca estariam todos em simultânea utilização, o que é vantajoso, pois em caso de avaria existiria sempre algum veículo para assegurar a recolha.

Considerando que a RRI continuaria e garantir a recolha nas freguesias a norte, a distribuição proposta para cada dia da semana seria a apresentada na tabela 27.

Tabela 27 - Proposta da distribuição diária dos circuitos para a RRI

	RRI					
	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	Sábado
Horário da Manhã (06h - 13h)	C1	C4	C7	C1	C4	C1
	C2	C5	C8	C2	C5	C2
	C3	C6	C9	C3	C6	C3

Considerando o presente horário, todos os dias seriam realizados 3 circuitos de segunda-feira a sábado. Porém, no atual modelo desenvolvido por esta entidade apenas são efetuados 2 circuitos por dia. Mas quando analisados os registos das pesagens, disponíveis no anexo 3, é visível que na maioria dos dias a descarga dos veículos é realizada após o termino do turno. Enquanto nos circuitos propostos, o tempo de descarga e de deslocamento até ao estaleiro estão incluídos.

Por outro lado, atualmente a RRI utiliza dois veículos de 15m³ nos seus dois circuitos diários. Mas quando executada aplicação do *Network Analyst*, com o intuito de otimizar a rotas, se for considerado nos parâmetros apenas esses dois veículos, os resultados apresentam percursos com vários contentores em que o despejo não é possível realizar, mantendo a atual duração dos turnos, que é 7 horas. Deste modo, foi equacionado para cada rota a adição de um veículo de 10m³, e assim seria possível visitar todos os pontos de recolha cumprindo período de tempo de cada turno, e as restrições de velocidade associadas à rede viária. Este veiculo poderia ser disponibilizado pela CMS, pois esta dispõe de uma frota de 6 veiculo, necessitando apenas de 4 no período da manhã. Assim, os dois veículos da RRI iniciariam os percursos no estaleiro da Moita e fariam a descarga final no centro de transferência em Alcanena. Por sua vez, o veículo que seria cedido pela CMS iniciaria o circuito no estaleiro da CMS e faria a despejo na estação de transferência em Santarém. Se a descarga fosse realizada em Alcanena, o trajeto de regresso ao estaleiro da CMS despenderia bastante tempo.

Em suma, não foi possível reduzir o número de circuitos diários, antes pelo contrário. Pois assumindo todas as especificidades da rede viária, o tempo despendido na descarga de cada contentor, e a periodicidade de recolha, o algoritmo aplicado demonstrou não ser possível recolher todos os resíduos da área em questão recorrendo apenas a dois veículos diariamente.

8. Considerações Finais

Os resíduos sólidos urbanos serão uma problemática constante, por mais medidas que se estipule é impossível erradicar a sua produção. Porém, a população deve estar consciencializada para esta questão, e optar por um modo de vida sustentável.

Os processos associados à gestão dos resíduos merecem particular atenção. Assim a recolha e o transporte de resíduos devem ser efetuados tendo em conta questões económicas e ambientais. Ou seja, são essenciais circuitos otimizados que permitam dar resposta às necessidades da população, e ao mesmo tempo rentabilizem todos os meios físicos e humanos disponíveis. Portanto, devem ser encontrados percursos que conciliem o menor tempo de trajeto com o menor custo, e por sua vez, reduzidas implicações para o ambiente. Todo o processo de gestão de resíduos deve assumir como máxima o conceito de desenvolvimento sustentável.

Posto isto, o presente relatório descreveu todos os procedimentos necessários à otimização do sistema de rotas atualmente realizado no concelho de Santarém. Todos os dados utilizados para a realização deste estudo foram facultados pela CMS.

No entanto, quando desenvolvido um sistema de gestão de RSU, este deve de ir ao encontro das necessidades de cada município. Considerando parâmetros geográficos, a tipologia da área (urbana ou rural), ou mesmo as variações sazonais, pois podem existir períodos ao longo do ano em que a produção de resíduos seja superior face a outros.

Os SIG desempenharam um papel preponderante neste processo. Visto que hoje em dia a sua aplicabilidade é extensível a inúmeras áreas, incluindo o sector dos resíduos. Disponibilizando um vasto leque de ferramentas que permitem a análise do território, e compreensão diversos fenómenos.

Porém, uns dos principais entraves iniciais foi a desatualização dos dados base para este estudo. Pois, no caso do cadastro dos contentores, a informação não era atualizada com a devida regularidade de modo a representar a realidade atual. Por outro lado, a estrutura da rede viária não correspondia aos parâmetros necessários à execução da extensão *Network Analyst*, para tal foi trabalhada de modo a colmatar todas as lacunas e a inserir todos os atributos necessários. Todos estes procedimentos foram bastante meticulosos e demorados.

Com a resolução das falhas contidas nos dados, foi possível iniciar todo o processo metodológico. Este foi realizado com recurso ao *ArcMap*, mais precisamente à extensão *Network Analyst*, um instrumento de apoio à decisão no qual o utilizador influencia os resultados finais. Pois, os dados de entrada e os resultados que se pretendem obter são definidos pelo utilizador. Assim o software cria um circuito com base em todos os pontos de recolha inseridos, conjuntamente com os parâmetros relacionados com os veículos, a duração dos turnos e as restrições de circulação na rede viária, definidos inicialmente. Posteriormente, o resultado final é obtido com recurso ao algoritmo de *Dijkstra*, o qual estabelece o trajeto que concilie a menor tempo e a menor distância.

Foi possível obter circuitos para toda a área em estudo, e que englobam toda a rede de contentores existente. Porém, devido à insuficiência de dados relativamente ao atual processo de rotas executado, é impossível uma comparação detalhada entre os circuitos propostos e os realizados até à data. Outro elemento em falta, é a análise custos, devido à escassez de informação relativamente a todos os gastos existentes ao longo do processo de recolha.

Relativamente a cada rota proposta é possível saber a duração, o número de km percorridos e quantidade de contentores despejados. Mas em relação ao atual processo de recolha, apenas se encontram disponíveis o número de contentores a recolher em determinados circuitos, a duração de cada turno, e os aglomerados visitados por circuito. Por outro lado, não é possível afirmar que esteja englobado o tempo da descarga final, e posterior trajeto até ao estaleiro, no total da duração do turno. Algo que foi considerado nas propostas apresentadas.

As duas entidades responsáveis pela recolha dos resíduos no concelho, apresentam diferentes métodos organização dos circuitos. Assim no presente caso, foi considerado o método realizado pela CMS, ou seja, os circuitos foram distribuídos pelos dias da semana de acordo a periodicidade de recolha em cada local. No entanto, cada rota foi elaborada tendo em conta a duração dos turnos de cada entidade, ou seja, no caso da CMS compostos por 6h e na RRI por 7h. Foram constituídas duas tabelas com a distribuição diária dos circuitos propostos, uma destinada a cada entidade, visto que em primeiro lugar devido à extensão do concelho e à falta de meios, o processo de recolha é impossível ser efetuado apenas pela CMS. Em segundo lugar se consideradas as duas

entidades os turnos de recolha apresentam diferentes durações. Assim, a tabela proposta para a recolha na área atualmente sob a alçada da RRI, pode ser sugerida a esta entidade ou a outra quando findado o contrato com esta, e caso não seja renovado.

A grande alteração face ao atual sistema de recolha residiu na inserção de um novo local de descarga. Como já referido por diversas vezes o concelho é bastante extenso, e a única estação de transferência apresenta uma localização descentralizada, o que é prejudicial para os circuitos realizados na parte norte do concelho. Posto isto, foi equacionado como ponto de descarga o centro de transferência em Alcanena, representando uma diminuição do tempo e dos km percorridos no percurso até ao estaleiro da Moita. Esta alteração influencia apenas as rotas atualmente realizadas pela RRI.

Em suma, a CMS deverá manter a base de dados referente aos contentores atualizada, de modo a não existir as lacunas, e facilitando utilização dos dados. E considerar as presentes propostas, de modo a equacionar um sistema de gestão de resíduos mais eficiente. Por outro lado, a RRI deve avaliar a possibilidade de realizar a descarga final de cada rota em Alcanena.

Referências Bibliográficas

AEPR. (2019). Associação Eco Parque do Relvão. Associação – Missão. Disponível em:
<http://aepr.pt/associacao/missao/>

- APA. (2017). Relatório Resíduos Urbanos (RARU 2017). Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>
- APA. (2019a). Gestão de Resíduos Urbanos – Sistemas de Gestão e Infraestruturas. Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=934>
- APA. (2019b). Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU). Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=209>
- Assad, A. A., & Golden, B. L. (1995). Arc routing methods and applications. Handbooks in operations research and management science, 8, (375-483).
- Câmara, G. (2005). Representação computacional de dados geográficos. CASANOVA, MA et al. Banco de dados geográficos. Curitiba: Mundogeo, 11-52.
- Câmara Municipal de Santarém. (2018). Serviços Municipais – Espaços Públicos e Ambiente. Disponível em: <https://www.cm-santarem.pt/servicos-municipais/espacos-publicos-e-ambiente>
- Campos, M. L. T. (2014). Otimização da Recolha de Resíduos Urbanos: Caso de Estudo de Aveiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Carvalho, M. M. V. T. de C. (2008). Otimização de circuitos e indicadores de recolha de resíduos urbanos. Caso de estudo: Município de Almada. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Chalkias, C., & Lasaridi, K. (2011). Benefits from GIS based modelling for municipal solid waste management. INTECH Open Access Publisher, (419-435).
- Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto. Diário da República n.º 161/2009, Série I. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho. Diário da República n.º 116/2011, Série I.
Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

DGT. (2018). Direção-Geral do Território. Geodesia – Sistemas de Referência. Disponível em :
http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/datum_73_obsoleto_substituido_pelo_sistema_pt_tm06_etrs89/

Diretiva 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de abril (1999).

ESGRA. (2019). Disponível em: <http://www.esgra.pt/quem-somos/>

ESRI. (2019). ESRI. Disponível em: www.esri.com

ESRI. (2019a). ESRI. ArcGIS Desktop – ArcMap – Extensions – Network Analyst. Disponível em:
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/types-of-network-analyses.htm>

ESRI. (2019b). ESRI. ArcGIS 10.6 Help Library

Geofabrik. (2018). OpenStreetMap Data Extracts. Disponível em
[://download.geofabrik.de/](http://download.geofabrik.de/)

Gomes, P., Matos, M. A., & Carvalho, J. (2013). Custos de rede de gestão de resíduos urbanos. Ocupação Dispersa: Custos e Benefícios à Escala Local, 172-186.

González, I.B., Freire, C.F., Morente, L.M.F., & Asensio, E.P. (2012) - Los Sistemas De Informacion Geográfica Y La Investigación En Ciencias Humanas Y Sociales. Csic: Confederación Española De Centros De Estudios Locales.

Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. International journal of geographical information systems, 6(1), 31-45.



Goodchild, M. F. (2009). Geographic information systems and science: today and tomorrow. Procedia Earth and Planetary Science, 1, 1037-1043.

- Guimarães, B., Simões, P., & Marques, R. C. (2010). Does performance evaluation help public managers? A Balanced Scorecard approach in urban waste services. *Journal of environmental management*, 91(12), 2632-2638.
- INE. (2011). Resultados definitivos dos Censos 2011. Disponível em: <http://www.ine.pt>
- INE. (2011). Dados Estatísticos - Base de Dados. Disponível em: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine base dados](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_base_dados)
- Julião, R. P. (2001). Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional: contributos metodológicos para a definição de modelos de apoio à decisão em desenvolvimento regional. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Karadimas, N. V, Kolokathi, M., & Loumos, V. (2007). *Municipal Waste Collection of large items optimized with ArcGIS Network Analyst*, 4. ISBN 9780955301827.
- Martins, N. M. R. (2015). *Análise e Optimização da Recolha de Resíduos: Contributos de um SIG para a Área de Gestão Assegurada pela CMPorto*. Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território, Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Massarutto, A. (2007). Municipal waste management as a local utility: Options for competition in an environmentally-regulated industry. *Utilities Policy*, 15(1), 9-19.
- Monteiro, J. F. B. (2009). *Os SIG Aplicados À Gestão Da Recolha De Resíduos Urbanos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- Morais, P. M. B. (2013). *Os SIG no Processo de Criação de Um Instrumento de Apoio à Decisão*. Dissertação de Mestrado em SIG e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- PERSU II, de 12 de fevereiro. Diário da República n.º 30, Série I. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007).

- Pires, A., Martinho, G., & Chang, N. B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*, 92(4), 1033-1050.
- Pordata. (2018). Disponível em: <https://www.pordata.pt/>
- Portaria nº145/2017, de 26 de abril. Diário da República n.º 81/2017, Série I. Administração Interna, Trabalho, Solidariedade e Segurança Social, Saúde, Planeamento e das Infraestruturas e Ambiente.
- Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste management*, 33(4), 785-792.
- Ramos, R. (2000). Localização industrial. Um modelo espacial para o noroeste de Portugal. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga.
- Resitejo. (2018a). PAPERSU – Plano de Ação 2015 – 2020. Disponível em: <https://www.resitejo.pt/resitejo/persu-2020/>
- Resitejo. (2018b). Infraestruturas. Disponível em: <https://www.resitejo.pt/>
- Rodrigues, A. M., & Ferreira, J. S. (2013). Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos-otimização de rotas. In Livro de Atas do XVI Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional (313-322).
- Russo, M (2003). Tratamento de Resíduos Sólidos. Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(3), 1176–1185.
- Wallis, W. D. (1979). *Graph Theory with Applications* (JA Bondy and USR Murty).

ANEXOS

ANEXO 2: Circuitos da RRI (Equipa 1 e 2)



 RRI Gestão de Resíduos	CIRCUITOS S.1120.0011-RECOLHA EM SANTARÉM	
--	---	---

Identificação da Entidade Adjudicante

Nome: **MUNICIPIO DE SANTARÉM**
 Morada: Praça do Município
 2005-245 SANTARÉM
 Contacto: Eng. João Dias
 E-Mail: [Joao.Dias <joao.dias@cm-santarem.pt>](mailto:Joao.Dias<joao.dias@cm-santarem.pt>) Tel.:
 NIFC:

Equipa 1

Dia da Semana	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Localidades	Pernes	Póvoa das Mós	Vaqueiros	Pernes	Póvoa das Mós	Pernes
	Comeiras Baixo	Arn. Milhariças	Casével	Comeiras Baixo	Arn. Milhariças	Vaqueiros
	Torre do Bispo	Santos	Comenda	Torre do Bispo	Santos	Casével - Vila Nova
	S. Vicente Paúl	Atalaia	Casal das Azinheiras	S. Vicente Paúl	Atalaia	Comenda
	Sobral	Azoia de Cima	Charneca Casevel	Sobral	Azoia de Cima	Vale Figueira
	Vale Figueira	Abitureiras	Vila Nova	Reguengo do Alviela	Abitureiras	S.Vicente Paul
	Alcanhões	Bairro D. Constança	Boiças	Vale Figueira	Bairro D. Constança	Alcanhões
		Lamarosa	Alcanhões		Lamarosa	
	Sinterra			Sinterra		

 RRI Gestão de Resíduos	CIRCUITOS S.1120.0011-RECOLHA EM SANTARÉM	
--	---	---



Identificação da Entidade Adjudicante

Nome: **MUNICIPIO DE SANTARÉM**
 Morada: Praça do Município
 2005-245 SANTARÉM
 Contacto: Eng. João Dias Tel.:
 E-Mail: [Joao.Dias <joao.dias@cm-santarem.pt>](mailto:Joao.Dias<joao.dias@cm-santarem.pt>)
 NIFC:

Equipa 2

Dia da Semana	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Localidades	Amiais Baixo	Oleiros	Aldeia de Alem	Amiais Baixo	Oleiros	Amiais Baixo
	Amiais Cima	Murteira	Feiteira	Canal	Murteira	Arneiro Tremes
	Cortiçal	Barreirinhas	Xartinho	Amiais Cima	Barreirinhas	Carvoeira
	Vale Florido	Pé da Pedreira	Mata do Rei	Cortiçal	Pé da Pedreira	Tremes
	Casal do Além	Vale Verde	Casal das Patas	Vale Florido	Vale Verde	Alto dos Fornos
	Vale Trave	Mosteiros	Alqueidão Rei	Vale Trave	Viegas	Casais D Delfina
	Alqueidão Mato	Viegas	Varzea	Alqueidão Mato	Sobreirinho	Matas
	Abrã	Gançaria	Vale do Carro	Abrã	Gançaria	
	Espinheira	Matas	Murtais	Espinheira	Ferraria	
	Vale Soupo	Agua Peneira	Arneiro Tremes	Vale Soupo	Vale Junqueira	
	Aldeia Ribeira	Alto dos Fornos	Tremes	Aldeia Ribeira		
	Prado			Prado		
	Vale Água			Vale Água		
	Casais Charneca			Casais Charneca		

ANEXO 3: Pesagem dos resíduos recolhidos pela RRI (Equipa 1 e 2)

	RELATÓRIO DE PESAGEM RSU'S Nr.: 05-2018/S.1120.0011-RECOLHA EM SANTARÉM	
---	---	---

Identificação da Entidade Adjudicante

Nome: **MUNICÍPIO DE SANTARÉM**
 Morada: **Praça do Município**
 2005-245 SANTAREM
 Contacto: **Eng. João Dias**
 NIFC: **505 941 350**

Tel.: **243 304 400**
 Fax.:
 Tlm.: **911 140 052**
 E-Mail: [Joao Dias <joao.dias@cm-santarem.pt>](mailto:Joao.Dias@cm-santarem.pt)

Identificação do Serviço Prestado

Local da prestação de serviços: **11 freguesias do Concelho de Santarém**

Circuito: **Equipa 1**

Período de Intervenção: **01/01/2019 a 31/01/2019**

DATA	MOTORISTA	HORÁRIO DOS TRABALHOS	Nº TALÃO PESAGEM	HORA DESCARGA	MATRÍCULA CAMIÃO	PESAGEM (Kg)			OBSERVAÇÕES	
						INICIO	FIM	TOTAL		
1	Sexta-feira	Carlos Henriques	06h00-13h00	146 864	12:02:13	44-AH-37	18540	14080	4460	
2	Sábado	Carlos Henriques	05h00-10h00	146 887	11:42:01	44-AH-37	22860	14080	8780	
3										
4	Segunda-feira	Carlos Henriques	06h00-13h00	146 898	10:53:06	44-AH-37	25380	14080	11300	
				146 908	14:31:23	44-AH-37	19420	14080	5340	
5	Terça-feira	Carlos Henriques	06h00-13h00	146 930	12:16:50	44-AH-37	24700	14080	10620	
6	Quarta-feira	Carlos Henriques	06h00-13h00	146 958	15:12:23	20-GF-31	20740	14080	6660	
7	Quinta-feira	Carlos Henriques	06h00-13h00	146 981	14:30:18	20-GF-31	24900	14520	10380	
								0		
9	Sábado	João Henriques	05h00-10h00	147 029	11:47:28	20-GF-31	24420	14520	9900	
10										
11	Segunda-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 058	18:51:29	80-VC-77	22240	12040	10200	
				147 060	20:32:46	80-VC-77	13960	12040	1920	
12	Terça-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 077	13:26:05	20-GF-31	21460	14520	6940	
				147 092	19:15:03	20-GF-31	23200	14520	8680	
13	Quarta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 108	12:08:49	20-GF-31	21220	14520	6700	
14	Quinta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 124	9:29:53	44-AH-37	22300	14080	8220	
				147 137	16:08:47	80-VC-77	15400	12040	3360	
				147 141	18:00:41	44-AH-37	16020	14080	1940	
15	Sexta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 158	11:31:35	44-AH-37	19300	14080	5220	
16	Sábado	João Henriques	05h00-10h00	147 181	11:35:47	44-AH-37	23740	14080	9660	
17										
18	Segunda-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 195	10:49:56	44-AH-37	23140	14080	9060	
				147 206	14:46:37		21420	14080	7340	
19	Terça-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 233	12:24:51	44-AH-37	24220	14080	10140	
20	Quarta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 253	12:13:10	44-AH-37	21380	14080	7300	
21	Quinta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 272	13:10:04	44-AH-37	24900	14080	10820	
22	Sexta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 295	11:50:59	44-AH-37	20200	14080	6120	
23	Sábado	João Henriques	05h00-10h00	147 320	11:37:15	44-AH-37	24540	14080	10460	
24										
25	Segunda-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 339	11:50:41	44-AH-37	25180	14080	11100	
				147 343	14:12:07		18360	14080	4280	

26	Terça-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 365	12:26:56	44-AH-37	24280	14080	10200		
27	Quarta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 389	12:45:16	44-AH-37	22820	14080	8740		
28	Quinta-feira	João Henriques	06h00-13h00	147 415	12:46:52	44-AH-37	25460	14080	11380		
29											
30											
31											
								TOTAL	237 220	0	
									237 220		

	RELATÓRIO DE PESAGEM RSU'S Nr.: 05-2018/S.1120.0011-RECOLHA EM SANTARÉM	
---	---	---

Identificação da Entidade Adjudicante

Nome:	MUNICÍPIO DE SANTARÉM	Tel.:	243 304 400
Morada:	Praça do Município	Fax.:	
2005-245 SANTARÉM		Tlm.:	911 140 052
Contacto:	Eng. João Dias	E-Mail:	Joao Dias <joao.dias@cm-santarem.pt>
NIFC:	505 941 350		

Identificação do Serviço Prestado

Local da prestação de serviços: 11 freguesias do Concelho de Santarém

Circuito: Equipa 2

Período de Intervenção: 01/01/2019 a 31/01/2019

DATA	MOTORISTA	HORÁRIO DOS TRABALHOS	Nº TALÃO PESAGEM	HORA DESCARGA	MATRÍCULA CAMIÃO	PESAGEM (Kg)			OBSERVAÇÕES		
						INÍCIO	FIM	TOTAL			
1	Sexta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	146 863	11:35:37	80-VC-77	17500	12040	5460		
2	Sábado	Nuno Vedor	05h00-10h00	146 878	8:52:14	80-VC-77	17380	12040	5340		
3											
4	Segunda-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	146 904	12:41:27	80-VC-77	22480	12040	10440		
5	Terça-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	146 931	13:27:45	80-VC-77	21540	12040	9500		
6	Quarta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	146 954	12:25:46	80-VC-77	21440	12040	9400		
7	Quinta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	146 985	16:31:57	80-VC-77	23660	12040	11620		
8	Sexta-feira	Joao Henriques	06h00 - 13h00	147 007	14:55:40	20-GF-31	20980	12040	8940		
9	Sábado	Nuno Vedor	05h00-10h00	147 020	9:02:12	80-VC-77	17260	12040	5220	243 304 400	
10											
11	Segunda-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 051	12:51:58	80-VC-77	20540	12040	8500		
12	Terça-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 075	12:28:53	80-VC-77	20360	12040	8320		
13	Quarta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 107	12:06:35	80-VC-77	20560	12040	8520		
14	Quinta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 134	12:28:24	80-VC-77	21780	12040	9740		
15	Sexta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 160	12:09:27	80-VC-77	17820	12040	5780		
16	Sábado	Nuno Vedor	05h00-10h00	147 172	9:11:03	80-VC-77	17760	12040	5720		
17											
18	Segunda-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 201	11:48:34	80-VC-77	22160	12040	10120		
19	Terça-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 229	11:39:24	80-VC-77	19300	12040	7260		
20	Quarta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 252	11:36:52	80-VC-77	20760	12040	8720		
21	Quinta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 273	13:27:38	80-VC-77	21620	12040	9580		
22	Sexta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 296	12:46:57	80-VC-77	18600	12040	6560		
23	Sábado	Nuno Vedor	05h00-10h00	147 312	10:03:59	80-VC-77	17660	12040	5620		
24											
25	Segunda-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 340	12:15:45	80-VC-77	21460	12040	9420		
26	Terça-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 364	11:46:18	80-VC-77	19220	12040	7180		
27	Quarta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 393	13:29:19	80-VC-77	21380	12040	9340		
28	Quinta-feira	Nuno Vedor	06h00 - 13h00	147 418	13:54:26	80-VC-77	20520	12040	8480		
29											
30											
31											
								TOTAL	194 780		
									194 780		