

MESTRADO EM
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS PARA OPERADORES DE
COLETA DA EMEL

POR: TIAGO DA LUZ VICENTE

ORIENTAÇÃO:

PROF.^a DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO
CIDADE MOURÃO

ENG.^o VASCO FERNANDES PIRES DAMAS MÓRA

10-2016

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero começar por agradecer aos Engenheiros Vasco Móra e João Ribeiro, que ao identificarem um problema existente na empresa, ativaram o protocolo entre o ISEG e a EMEL resultando no presente estágio. Todo o seu acompanhamento e disponibilidade foram essenciais no desenvolvimento deste projeto.

À professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão, minha orientadora, agradeço pelo apoio, ajuda e dedicação ao longo deste trabalho.

Ao meu colega Reinaldo Ferreira, que realizou também um estágio na EMEL, com qual estabeleci uma relação de entreajuda e de troca de conhecimento, o que tornou mais fácil a resolução de algumas circunstâncias.

E por fim a todos os meus familiares que me ajudaram no meu percurso académico.

Resumo

Através da parceria entre o ISEG e a EMEL – Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa, foi realizado um estágio profissional, tendo como objetivo otimizar as rotas dos operadores de coleta da EMEL.

A empresa não tem a capacidade para coletar todos os parquímetros todos os dias, deixando assim montantes variáveis de dinheiro nos cofres dos parquímetros (na rua), com todos os riscos que esta situação acarreta. Neste estágio pretende aliar-se o conhecimento académico às necessidades da empresa de modo a criar uma ferramenta (software) que sugira rotas de coleta mais eficientes. Foi assim definido o objetivo de identificar, de forma automática, rotas que permitam coletar mais dinheiro no fim de cada turno, reduzindo e homogeneizando os montantes de dinheiro que ficam na rua e, por consequência, o risco de roubo.

O problema enquadrado no *Vehicle Routing Problem with Profits*, identifica rotas que, partindo e regressando de/a um ponto fixo (a base), visitam um certo conjunto de nodos (parquímetros), compatíveis com a capacidade do veículo e com a duração dos turnos dos operadores de coleta. Não se exige que todos os nodos sejam visitados diariamente, sendo apenas visitados os que garantem maior retorno.

Foi ainda construída uma função para estimar o valor depositado em cada parquímetro, por hora, sendo assim possível estimar o seu valor no momento da coleta. De seguida, desenvolveu-se e programou-se (em VBA) uma heurística construtiva para a geração de rotas e criou-se uma interface de comparação de resultados como instrumento analítico a utilizar pela empresa.

Palavras Chave: Coleta, Otimização de rotas, Heurística, Otimização de rotas com lucros.

ABSTRACT

Through the partnership between ISEG and EMEL – Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa, the traineeship has been proposed aiming to optimize the routes made by the EMEL's coin collection operators.

The company is not able to daily collect all the parking meters, thus leaving variable amounts of money in the parking meters (and on the street), with an inherent risk of theft. In this traineeship we aim to combine academic knowledge with the company needs to create a tool (software) to suggest better coin collection routes. The scope is to automatically identify routes that allow the coin collection of more parking meters at the end of each working shift, reducing the amount of money left on the street (and therefore the risk of theft).

The problem was interpreted as a Vehicle Routing Problem with Profits. The routes start and end at a fixed point (the base), and the vehicles must visit a certain set of nodes (metered), within the crew time limit. Every time the vehicle capacity is reached it must return to the base to unload. In this problem there is no need to visit every node daily but to visit those that guarantee a higher return, provided that both the vehicles' capacity and the time limits are satisfied.

It became a prerequisite to calculate the amount of money left in the parking meters. A valuation function was built to estimate the value deposited in each parking meter per hour. Then, a constructive heuristic was developed and programmed (VBA) to generate routes. A user-friendly interface was also created, in order to provide a working tool for the company to analyze.

Keywords: Coin Collection, Route optimization, Heuristic, *Vehicle Routing Problem with Profits*.

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
ABSTRACT	IV
Capítulo 1: Introdução	6
Capítulo 2: Definição do Problema	7
2.1 Breve apresentação da empresa.....	7
2.2 Identificação do problema	7
Capítulo 3: Enquadramento Teórico.....	9
3.1. <i>Introdução</i>	9
3.2. Vehicle Routing Problem with Profits	9
3.2.1. Orienteering Problem.....	12
3.2.2. Profitable Tour Problem	12
3.2.3. Prize-Collecting Travelling Salesman Problem (PCTSP)	13
3.2.4. Enquadramento do problema da EMEL	13
Capítulo 4: Metodologia de Investigação	14
4.1. Introdução	14
4.2. Recolha e tratamento dos dados	15
4.2.1. Recolha dos dados.....	15
4.2.2. Tratamento dos dados.....	16
4.3. Função de Valorização	18
Cálculo do valor esperado do montante por parquímetro	18
4.4. Construção da rede	21
4.5. Heurística Construtiva	23
4.5.1. Descrição da heurística.....	23
4.5.2. Pseudo-Código.....	25
4.6. Experiências computacionais	26
4.6.1. Análise ao cálculo do valor esperado dos montantes por cofre	26
4.6.2. Análise da duração da rota.....	30
4.6.3. Valores Estimados vs. Realidade	32
4.6.4. Conclusão das experiências computacionais	34
Capítulo 5: Análise de Resultados	35
5.1. Plano Gerado vs. Plano Realizado	36
Capítulo 6: Conclusões.....	40
Bibliografia.....	44
Anexos	45
Anexo 1 – Dados de entrada	45
Anexo 2 – Análise da semana	47
Anexo 3 – Análise de coletas	48
Anexo 4 – Análise de Planos.....	49

Capítulo 1: Introdução

Na sequência do mestrado em Decisão Económica e Empresarial, face ao desejo de aplicar os conhecimentos adquiridos e perante a oportunidade de participar na resolução de um problema real de uma empresa, decidi aceitar o desafio proposto pela EMEL e optar pela elaboração de um estágio como Trabalho Final de Mestrado (TFM). Entre os dias 1 de Fevereiro e 31 de Julho de 2016, colaborei com o Departamento de Gestão Operacional da empresa. O objetivo do estágio está relacionado com a otimização das rotas efetuadas pelos operadores de coleta e o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de gerar essas mesmas rotas de um modo mais eficiente.

Durante a realização do estágio foi criada e programada uma heurística construtiva. Em seguida foi efetivada/concretizada uma semana de testes, tendo as rotas geradas pela heurística sido efetuadas pelos operadores de coleta.

Neste documento é apresentado o relatório de estágio. No capítulo 2 começa por se apresentar a EMEL. De seguida, no capítulo 3, é feito o enquadramento teórico, por forma a contextualizar a metodologia de investigação, que é descrita no capítulo 4.

No capítulo 5, é feita a análise de resultados obtidos através da semana experimental realizada, onde foi utilizado o plano gerado no presente estágio. E por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões e as propostas de investigação futura.

Capítulo 2: Definição do Problema

2.1 Breve apresentação da empresa

“A EMEL é a empresa responsável pela gestão do estacionamento público no Município de Lisboa, estacionamento esse integrado no sistema global de mobilidade e acessibilidades definidos pela Câmara Municipal de Lisboa” *in site EMEL (www.emel.pt)*.

A empresa tem por missão melhorar a qualidade de vida na Cidade de Lisboa, através da construção, gestão, exploração e manutenção de locais de estacionamento público, por forma a garantir mobilidade e acessibilidade sustentáveis. Neste sentido, tem como objetivo garantir uma rotatividade segura e eficaz no sistema de estacionamento, através da implementação de zonas de estacionamento pago, da restrição do acesso a bairros históricos, da gestão de parques de estacionamento em locais estratégicos e da implementação de bolsas de estacionamento exclusivo a residentes. Atualmente a empresa gere 24 parques de estacionamento (que garantem a oferta de cerca de 4 mil lugares), 60 mil dísticos de residentes, 48 mil lugares tarifados na via pública e cerca de 2 mil parquímetros e ainda 6 mil lugares exclusivos a residentes também na via pública.

2.2 Identificação do problema

Os clientes, ao utilizarem os lugares de estacionamento geridos pela empresa, efetuam o pagamento de estacionamento num parquímetro referente à coroa tarifária em que se encontram (caso não recorram ao pagamento de estacionamento por meio de dispositivo móvel, que permite efetuar o pagamento

digital). Esse dinheiro é acumulado no cofre do parquímetro e posteriormente recolhido por uma equipa de coleta. A empresa, dispondo de recursos limitados para as recolhas, não consegue efetuar diariamente a recolha de todos os cofres dos parquímetros. Assim, por vezes, ficam por coletar cofres com montantes consideráveis, apresentando um risco associado em caso de furto. Acresce o facto de a EMEL, em 2004, ter assistido a uma onda de furtos de parquímetros (equipamentos de gerações antigas), com consequências nefastas para a sua saúde financeira. Tal justifica a importância quer da identificação dos parquímetros em que são depositados maiores valores quer da geração de rotas que, considerando as limitações operacionais, permitam recolher em menor tempo este subconjunto dinâmico de parquímetros.

A empresa dispõe de 6 veículos para a recolha dos cofres, com capacidade limitada. Embora esta varie consoante o tipo de cofre instalado em cada máquina, considera-se a capacidade fixa de 35 cofres por veículo. A operação de coleta dos cofres ocorre de segunda a sexta, e é dividida em dois turnos por dia (turno da manhã e turno da tarde), cada um com uma jornada contínua de 6 horas de duração. Os operadores de coleta partem da base, onde os veículos estão estacionados, com uma rota pré-definida pelo supervisor da operação, e tentam executar o plano que lhes é atribuído até ao final do seu turno. Cada vez que o veículo atinge a capacidade, tem de retornar à base para que o operador descarregue os cofres coletados. De seguida, pode retomar a operação para tentar efetuar o resto do plano que lhe foi dado, caso ainda disponha de tempo. A coleta de um determinado parquímetro envolve a troca do cofre que vai ser coletado por um vazio e a impressão de um talão com a informação referente ao

parquímetro (valor coletado, hora de coleta, número da máquina, entre outros dados).

Atualmente, as rotas definidas pela supervisão da coleta são baseadas em fatores mais qualitativos, isto é, no conhecimento e experiência, sob uma lógica de proximidade entre parquímetros. Neste trabalho pretende criar-se uma ferramenta que, num tempo computacional reduzido, sugira rotas eficientes, permitindo assim coletar maior valor. Reduzem-se assim os montantes que ficam por coletar durante a noite e, por consequência, o risco de roubo.

Capítulo 3: Enquadramento Teórico

3.1. Introdução

O problema foi interpretado como sendo um *Vehicle Routing Problem with Profits* (VRPP), em que se identificam rotas que, partindo e regressando a um ponto fixo (a base), visitam um certo conjunto de nodos (parquímetros). Neste caso não é exigida a visita a todos os nodos, mas apenas àqueles que garantem um retorno maior.

3.2. Vehicle Routing Problem with Profits

Segundo (Archetti & Speranza, 2014), no VRPP, o conjunto de clientes não é dado, ao contrário do que acontece nos problemas clássicos de *Vehicle Routing Problem* (VRP) (Toth & Vigo, 2014). Portanto, existem no VRPP dois tipos de decisões a tomar: i) quais os clientes a servir em cada rota; e ii) qual a sequência das visitas aos clientes de cada rota. No VRPP considera-se associado a cada cliente um ganho (*profit*), por forma a distinguir os mais atrativos dos menos atrativos. Cada rota começa e acaba num ponto escolhido inicialmente. A avaliação de uma rota pode incluir o custo ou apenas o ganho total da rota. Por

outro lado, as rotas têm que respeitar certas restrições operacionais, como se verá adiante.

No presente estágio, pretendem gerar-se rotas tendo em conta a utilização de apenas um veículo. Na literatura, são três os casos particulares de VRPP com um só veículo:

1. *Orienteering Problem (OP)*
2. *Profitable Tour Problem (PTP)*
3. *Prize-Collecting Travelling Salesman Problem (PCTSP)*

Em primeiro lugar, será a apresentada uma formulação genérica para o VRPP, considerando a utilização de um veículo apenas. Em seguida, os problemas estudados são apresentados sendo também descrita a forma como podem ser obtidos a partir do VRPP.

Seguindo (Archetti & Speranza, 2014), o VRPP é formulado considerando um grafo orientado e completo, $G = (V, A)$, onde $V = \{0, 1, \dots, n\}$ é o conjunto de nodos e A é o conjunto de arcos referente às ligações entre os nodos. Os vértices contidos em $N = V \setminus \{0\} = \{1, \dots, n\}$ correspondem assim ao conjunto de clientes a visitar, os parquímetros, e o vértice 0, que corresponde à base, é o ponto de início e fim da rota. Para cada subconjunto de vértices $S \subset V$, define-se $\delta^+(S) = \{(i, j) \in A: i \in S, j \notin S\}$ e $\delta^-(S) = \{(i, j) \in A: i \notin S, j \in S\}$ o conjunto de sucessores e antecessores de S , respetivamente. De modo a facilitar a apresentação dos modelos será utilizada a notação $\delta^+(i)$ e $\delta^-(i)$ quando $S = \{i\}$.

Definem-se os seguintes parâmetros:

- custo de viagem c_{ij} e tempo de viagem t_{ij} – valores não negativos que podem ser associados a cada arco $(i, j) \in A$;

- lucro p_i – não negativo associado cada cliente i , sendo que a base tem associado um lucro nulo, $p_0 = 0$;
- T_{max} representa o tempo máximo de duração da rota;
- P_{min} representa o lucro mínimo a ser coletado na rota.

Consideram-se os dois tipos de variáveis:

- y_i variável binária que assume o valor 1 se o vértice $i \in V$ é visitado, e 0 caso contrário.
- x_{ij} = variável binária que assume o valor 1 se o arco $(i,j) \in A$ é atravessado, e 0 caso contrário.

A formulação matemática, onde α é um valor não negativo, é dada por:

$$\text{Max } Z = \alpha \sum_{i \in V} p_i y_i - \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s. a: } \left\{ \begin{array}{ll} \sum_{(i,j) \in \delta^+(i)} x_{ij} = y_i & \forall i \in V \quad (2) \\ \sum_{(j,i) \in \delta^-(i)} x_{ji} = y_i & \forall i \in V \quad (3) \\ \sum_{(i,j) \in \delta^+(S)} x_{ij} \geq y_h & \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, h \in S \quad (4) \\ \sum_{(i,j) \in A} t_{ij} x_{ij} \leq T_{max} & (5) \\ \sum_{i \in V} p_i y_i \geq p_{min} & (6) \\ y_i \in \{0,1\} & \forall i \in V \quad (7) \\ x_{ij} \in \{0,1\} & \forall (i,j) \in A \quad (8) \end{array} \right.$$

A função objetivo (1) maximiza a diferença entre o ganho total coletado (multiplicado pelo fator α , de modo a obter valores comparáveis) e o custo de viagem. As restrições (2) e (3) garantem a entrada e saída de um arco visitado a cada vértice visitado. As sub-rotas isoladas da base não são permitidas através

das restrições (4). A restrição (5) garante que a duração da rota não excede a máxima estabelecida, enquanto (6) impõe um ganho mínimo a coletar. Por fim, (7) e (8), correspondem à definição das variáveis.

3.2.1. Orienteering Problem

No *Orienteering Problem* (OP) (Archetti & Speranza, 2014), o objetivo é encontrar uma rota que maximize o ganho total coletado, satisfazendo, tal como no VRPP, a restrição de tempo máximo, T_{max} . Partindo da formulação para o VRPP anterior, a formalização do OP é obtida através da alteração da função objetivo (1), considerando que $\alpha = 1$ e $c_{ij} = 0$, para qualquer $(i, j) \in A$. Com o objetivo definido as restrições (6) não são necessárias resultando:

$$Max \sum_{i \in V} p_i y_i \quad (9)$$

$$s. a: (2) - (5); (7), (8)$$

3.2.2. Profitable Tour Problem

No *Profitable Tour Problem* (PTP) (Archetti & Speranza, 2014), o objetivo é encontrar uma rota que maximize a diferença entre o ganho total coletado e o custo total de viagem. Neste caso não se impõem restrições de tempo limite nem de proveito mínimo a coletar na rota a realizar. Assim, na formalização matemática deste problema, considera-se que $\alpha = 1$ e $T_{max} = +\infty$, e eliminam-se as restrições de proveito mínimo (5) e as de tempo máximo (6), resultando:

$$Max \sum_{i \in V} p_i y_i - \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

$$s. a: (2) - (4); (7), (8)$$

3.2.3. Prize-Collecting Travelling Salesman Problem (PCTSP)

Introduzido por Balas (1989), o *Prize-Collecting Travelling Salesman Problem* (PCTSP) associa-se uma penalidade μ_i , $i \in V \setminus \{0\}$ a cada nodo não visitado.

No PCTSP, pretende-se encontrar uma rota que minimize a soma entre o custo da viagem e o total das penalidades pagas por nodos não visitados, impondo um ganho total mínimo, p_{min} . Na formalização matemática deste problema, considera-se então que $\alpha = 1$ e $T_{max} = +\infty$, resultando:

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}x_{ij} + \sum_{i \in V \setminus \{0\}} \mu_i(1 - y_i) \quad (11)$$

s. a: (2) – (4); (6) – (8)

3.2.4. Enquadramento do problema da EMEL

Após apresentados os problemas estudados, torna-se pertinente enquadrar o problema da EMEL. Existe um conjunto de nodos a visitar (parquímetros) por veículo e por rota, tendo cada nodo um ganho associado. No caso da EMEL identificam-se dois tipos de restrições específicas à rota: a duração do turno (6 horas) e a capacidade do veículo.

Assim, no problema da EMEL pretende-se maximizar o montante total coletado, satisfazendo as restrições de tempo e de capacidade do veículo que efetua a rota, bem como as restrições para definir uma rota de e para a base, incluindo parquímetros a coletar. A Tabela 1 permite fazer a comparação entre os problemas estudados e o da EMEL, em que na última coluna se referem as restrições consideradas além das necessárias para definir uma rota com início e fim na base.

Problema	Objetivo	Restrições Consideradas
EMEL	Maximizar (Ganhos)	Duração da Rota; Capacidade do Veículo
OP	Maximizar (Ganhos)	Duração da Rota
PTP	Maximizar (Ganhos – Custos)	–
PCTSP	Minimizar (Custos)	Ganho total

Tabela 1. Problema da EMEL vs. Problemas Estudados.

Refira-se que a inclusão simultânea de restrições de capacidade e de duração de rota trazem um desafio adicional à modelação do problema. Designando-se por sub-rota o percurso de recolha de parquímetros de um veículo, de e para a base, respeitando a sua capacidade e por rota um conjunto de sub-rotas que respeitam a duração de um turno, o que se pretende no caso da EMEL é a identificação de uma rota que maximize o valor coletado.

A modelação do problema exige, pois, a introdução de um novo índice nas variáveis que identifique a sub-rota do veículo.

A dificuldade associada à obtenção de rotas com base nos modelos matemáticos para instâncias reais, levou a que neste trabalho se optasse pelo desenvolvimento de uma heurística construtiva.

Capítulo 4: Metodologia de Investigação

4.1. Introdução

Na abordagem à resolução do problema foi utilizada uma metodologia que seguiu cinco etapas. A Figura 1 contém a representação dessas etapas, que serão explicadas em detalhe ao longo deste capítulo.

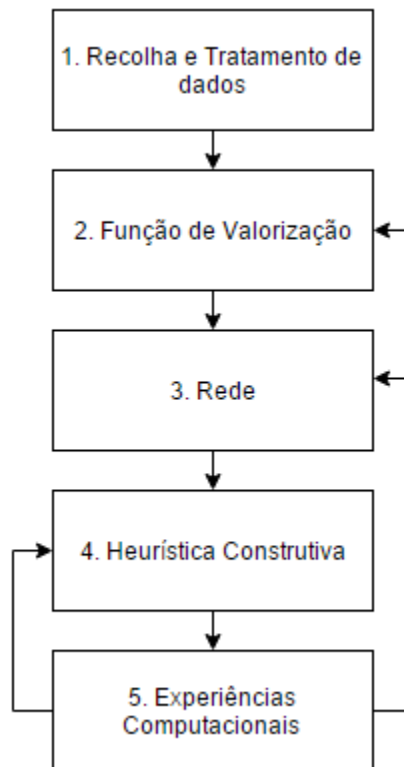


Figura 1. Metodologia - etapas

A partir da análise das experiências computacionais foi possível receber feedback que serviu para a corrigir erros e fazer algumas melhorias a nível da função de valorização da rede e do desenvolvimento da heurística construtiva de forma a obter melhores resultados.

4.2. Recolha e tratamento dos dados

4.2.1. Recolha dos dados

Durante o estágio, foram recolhidos dados sobre as coletas e sobre os parquímetros. No que diz respeito às coletas, a informação foi recolhida de modo a alimentar a função de valorização (ver ponto 4.3) para permitir estimar o valor em cofre de cada parquímetro. Na Tabela 2 encontra-se um exemplo (com valores fictícios) dos dados que poderiam estar associados a coletas efetuadas no parquímetro 16 da zona 22.

Zona	Máquina	Coleta	Data	Hora	Valor
22	16	56	12/09/2016	07:30	10,50€
22	16	57	14/09/2016	09:00	22,30€
22	16	58	15/09/2016	15:00	14,55€

Tabela 2 - Coletas efetuadas no parqueímetro 16 da zona 22.

Ao nível dos parqueímetros recolheu-se toda a informação necessária, de modo a auxiliar a construção da função de valorização e do desenho da rede. A Tabela 3 contém um exemplo (com valores fictícios) dos dados que poderiam ser os recolhidos referentes ao parqueímetro 16 da zona 22.

Zona	Máquina	Modelo	Horário	Coordenadas cartesianas	
				x	y
22	16	PA2	2ª a 6ª 9 – 19h	-82432	-106423

Tabela 3 - Identificação do parqueímetro 16, da Zona 22.

4.2.2. Tratamento dos dados

Através da informação das coletas do parqueímetro 16, zona 22, (Tabela 2) e das suas características (Tabela 3) constrói-se uma tabela final (Tabela 4) que contém a valorização por hora (de exploração) do parqueímetro entre duas coletas sucessivas (mais concretamente neste caso, entre as coletas 57 e 58) efetuadas e no horário de exploração do parqueímetro.

Zona/Maq	C1	Data (C1)	Hora (C1)	C2	Data (C2)	Hora (C2)	Horário	Valorização (hora)
022-016	57	14/09/2016	09:00	58	15/09/2016	15:00	2ª a 6ª: 9 – 19h	0,91€

Tabela 4 - Valorização por hora do parqueímetro 16, da Zona 22.

Este processo foi aplicado a todas as coletas de todos os parqueímetros da área em estudo (subconjunto de 256 parqueímetros), permitindo assim saber a valorização horária de cada um, de modo a estimar o valor em cofre em cada

momento. No ponto seguinte será explicada toda a metodologia de construção da função de valorização.

Os dados da Tabela 3 serviram ainda para construir a rede. Para calcular a distância (em metros) entre cada dois nodos (parquímetros) da rede foram utilizadas as respectivas coordenadas cartesianas. É de referir que a utilização das distâncias Euclidianas foi uma simplificação assumida devido à duração do estágio, que não permitiu fazer o cálculo das distâncias reais, função dos percursos rodoviários e das escolhas de caminho a cada momento. Em seguida, foi considerada uma velocidade comercial (em m/s), representando a velocidade do veículo em serviço e estimada com base na análise de percursos efetuados pelas equipas de coleta. Através da distância e da velocidade comercial foi possível obter uma estimativa do tempo de percurso (em minutos) entre cada par de nodos. Ao tempo de percurso foi ainda adicionado o tempo de coleta (em minutos) na máquina de destino, que varia consoante o modelo da máquina. Estes tempos foram também obtidos pelo acompanhamento e observação das equipas. A Tabela 5 representa a ligação entre dois parquímetros.

Origem	Destino	Tempo coleta (<i>min</i>)	Dist. Euclidiana (<i>m</i>)	Velocidade (<i>m/s</i>)	Tempo (<i>min</i>)
022-016	022-017	1	820	1.2	12
022-017	022-016	2	820	1.2	13

Tabela 5 - ligação entre os parquímetros 16 e 17 da zona 22.

Desta forma, foram obtidos e tratados os dados que permitem chegar aos dois *inputs* (valor esperado do montante por parquímetro e tempos de percurso) que alimentam a heurística construtiva por forma a gerar as rotas.

4.3. Função de Valorização

A função de valorização foi desenvolvida para estimar o valor que cada parquímetro, de cada zona, tem em cofre, ao fim de determinado tempo sem ser recolhido. Esta estimativa é projetada para uma determinada data, sendo depois calculada em vários períodos desse dia (de hora em hora). Assim, esta função permite estimar o valor que cada parquímetro terá em cada hora (às 9h30m, 10h30m, 11h30m, etc.) de cada dia.

O valor esperado do montante em cofre pode ser calculado com base apenas na última coleta ou, alternativamente, por meio da ponderação entre as últimas L coletas. É também importante salientar que neste âmbito se pressupôs que a valorização por hora tem uma distribuição uniforme (de forma a simplificar o cálculo). Como trabalho futuro, poderá ser efetuado um estudo de procura para a inclusão de uma melhor distribuição.

Cálculo do valor esperado do montante por parquímetro

A explicação do cálculo do valor esperado do montante por parquímetro exige a apresentação prévia de alguns conceitos e das convenções assumidas:

1. Horas de exploração decorridas ($HE_i^{\delta,\beta}$), ou seja, total de horas que decorrem entre os instantes de coleta δ e β , durante o horário de exploração do parquímetro i . Por simplificação, considera-se que δ e β também podem representar as próprias coletas, sendo neste caso valores inteiros, e passando $HE_i^{\delta,\beta}$ a representar as horas que decorrem entre as coletas δ e β .
2. C_i^k o instante da coleta k no parquímetro i .
3. V_i^k é o valor coletado do parquímetro i na coleta k .

O valor esperado (VE_i^h) do montante no parquímetro (i), no instante (h), é dado pelo produto entre a valorização horária desse parquímetro (VH_i) e o tempo de exploração (em horas) que decorre desde a última coleta até ao instante h ($HE_i^{<h}$), ou seja:

$$VE_i^h = VH_i \cdot HE_i^{<h}$$

Por outro lado, a valorização horária (VH_i) de um parquímetro (i) é dada pelo rácio entre o valor que o parquímetro tinha em cofre no final da última coleta (V_i^k) e as horas de exploração decorridas entre os dois últimos momentos de coleta consecutivos (C_i^{k-1} e C_i^k), representado por $HE_i^{k-1,k}$. A valorização horária pode ser calculada com base apenas nas duas últimas coletas ou utilizando as últimas L coletas, considerando os valores ponderados por multiplicadores (α_k) que variam entre 0 e 1 (posteriormente, no capítulo 4, serão apresentados os valores utilizados), ou seja:

$$VH_i = \sum_{k=2}^L \alpha_k \frac{V_i^k}{HE_i^{k-1,k}}, \quad \sum_{k=2}^L \alpha_k = 1$$

Note-se que enquanto o valor em cofre representa um dado fornecido pela empresa, as horas de exploração decorridas entre duas coletas sucessivas, $HE_i^{k-1,k}$, têm de ser calculadas. De facto, este cálculo é influenciado por diferentes fatores. Designando por n o número de dias que separa duas coletas sucessivas, distinguem-se dois casos: D1) $n = 0$; D2) $n \geq 1$.

Considere-se a coleta k efetuada ao parquímetro i no dia d , HI_i^d o instante de início do horário de exploração no dia d , e HF_i^d o instante de fim do horário de exploração no dia d e $HEDI$ as horas de exploração de um dia completo.

D1: k e $k + 1$ são efetuadas no mesmo dia, d ($n = 0$):

$$HE_i^{k,k+1} = \begin{cases} \min\{C_i^{k+1}, HF_i^d\} - \max\{C_i^k, HI_i^d\} & \text{se } C_i^{k+1} > HI_i^d \wedge C_i^k < HF_i^d \\ 0 & \text{se } C_i^{k+1} \leq HI_i^d \vee C_i^k \geq HF_i^d \end{cases}$$

D2: k e $k + 1$ são efetuadas com um dia ou mais de diferença ($n \geq 1$):

$$HE_i^{k,k+1} = \begin{cases} (HF_i^d - \max\{C_i^k, HI_i^d\}) + (n-1)HEDI + (\min\{C_i^{k+1}, HF_i^{d+n}\} - HI_i^{d+n}) & \text{se } C_i^k < HF_i^d \wedge C_i^{k+1} > HI_i^{d+n} \\ (HF_i^d - \max\{C_i^k, HI_i^d\}) + (n-1)HEDI & \text{se } C_i^k < HF_i^d \wedge C_i^{k+1} \leq HI_i^{d+n} \\ (n-1)HEDI + (\min\{C_i^{k+1}, HF_i^{d+n}\} - HI_i^{d+n}) & \text{se } C_i^k \geq HF_i^d \wedge C_i^{k+1} > HI_i^{d+n} \\ (n-1)HEDI & \text{se } C_i^k \geq HF_i^d \wedge C_i^{k+1} \leq HI_i^{d+n} \end{cases}$$

Assim, para calcular as horas de exploração decorridas entre a última coleta realizada a i e o momento para o qual se pretende obter o seu valor esperado usou-se o procedimento anterior, em que C_i^k simboliza o momento da última coleta realizada e C_i^{k+1} o momento em estudo. Identificado o caso em que se enquadra (D1 ou D2), calculam-se então as horas de exploração que decorreram entre estes dois momentos.

Na tabela seguinte resume-se a principal notação utilizada.

	Significado		Significado
C_i^k	instante da coleta k no parquímetro i	i	índice de parquímetro
d	dia de coleta	k	índice de coleta
d_{ij}	distância Euclidiana entre i e j	n	nº de dias entre as coletas k e $k + 1$
h	instante (em horas)	t_{ij}^h	tempo de deslocação de i para j
HI_i^d	instante de início do horário de exploração de i no dia d	te_j	tempo de execução da coleta no parquímetro j
$HE_i^{\delta,\beta}$	horas de exploração decorridas entre as coletas (ou instantes de coleta) δ e β , durante o horário de exploração de i	V_i^k	valor coletado de i na coleta k
$HE_i^{<h}$	horas de exploração decorridas entre a última coleta a i e o instante h	VE_i^h	valor esperado do montante em i no instante h
$HEDI$	horas de exploração de um dia completo	VH_i	valorização horária de i
HF_i^d	instante de fim do horário de exploração de i no dia d	vm^h	velocidade média no instante h

Tabela 6: resumo da principal notação.

4.4. Construção da rede

A rede representa os pontos de coleta (parquímetros) e as respectivas ligações. A cada ligação associa-se um valor que representa, conjuntamente, os tempos de deslocação entre parquímetros e os tempos de coleta. Tal como na função de valorização, os tempos de percurso são projetados para vários períodos do dia (de hora em hora).

Como referido, na estimação do tempo de percurso foram utilizadas as distâncias Euclidianas e a velocidade média dos veículos de coleta (calculada por observação, através do acompanhamento de alguns percursos).

Na construção da rede foi considerada a hipótese de se poder viajar entre quaisquer dois dos seus vértices, isto é, garantiu-se a conectividade quer entre a base e todos parquímetros quer entre quaisquer dois parquímetros.

Como referido, a estimativa do tempo de percurso é projetada para diferentes períodos do dia, tal como o valor esperado do montante associado a cada ligação (para todas as horas), pois considera-se que a velocidade média de circulação pode variar significativamente ao longo do dia, mantendo-se constante em períodos de 60 minutos. O tempo de deslocação (t_{ij}^h) do parquímetro (i) para o parquímetro (j), no instante (h), é dado pelo rácio entre a distância (d_{ij}) de i para j e a velocidade média (vm^h) no instante (h). A este rácio soma-se o tempo de execução da coleta no parquímetro de destino (te_j), ou seja:

$$t_{ij}^h = \frac{d_{ij}}{vm^h} + te_j$$

A distância (d_{ij}) entre os dois parquímetros foi obtida através das coordenadas cartesianas dos parquímetros da seguinte forma:

$$d_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$$

Sendo X_i, Y_i as coordenadas cartesianas do parquímetro de origem (i) e X_j, Y_j as do parquímetro de destino (j). Note-se que embora esta distância (Euclidiana) seja simétrica, o mesmo não acontece a t_{ij}^h , pois depende do tempo de coleta. É importante referir que para que haja uma maior aproximação da rede à realidade, os tempos de deslocação devem ser diferenciados por sentido. Esta situação gerou inicialmente alguns constrangimentos nos percursos, causando dificuldades aos operadores de coleta na execução das rotas. A figura 2 ilustra uma das consequências de utilização da distância Euclidiana na resolução de casos reais. Como se pode observar, a distância Euclidiana entre P1 e P3 é menor que a entre P1 e P2. No entanto, se o sentido das ruas for tido em conta, verifica-se que a distância real entre estes pontos não verifica esta relação. De facto, para ir de P1 para P3, não é possível virar à esquerda, tendo o operador que passar em P2 para chegar a P3.



Figura 2. Ilustração do problema da utilização das distâncias Euclidianas.

É importante referir que as distâncias Euclidianas apenas foram utilizadas para a inicialização da rede, pois à medida que vão sendo efetuados percursos o software guarda e atualiza os tempos reais entre os parquímetros. Futuramente, após realizados todos os percursos necessários, a empresa ficará com os tempos reais de deslocação entre todos os parquímetros e este problema não se levanta.

A velocidade média (vm^h) no instante (h), foi calculada com base na realização de percursos com as equipas de coleta. Já os tempos de execução da coleta nos parquímetros de destino (te_j) foram fornecidos pela Empresa e variam consoante o modelo da máquina.

4.5. Heurística Construtiva

4.5.1. Descrição da heurística

Sendo o VRPP um problema de difícil resolução, faz sentido uma abordagem heurística para a determinação de soluções admissíveis. No presente estágio foi desenvolvida e programada uma heurística construtiva que permite determinar uma rota de cada vez. Logo, para obter várias rotas, aplica-se a heurística tantas vezes quanto o número de rotas pretendido.

Em primeiro lugar, calcula-se, com base no histórico de coletas, o número máximo (K_0) de cofres coletados, fixando-se este como um valor de partida para os cofres a coletar por rota. Este valor é aumentado em dez por cento para se iniciar com um número de parquímetros intencionalmente superior ao passível de ser coletado por um turno de operadores de coleta sem aplicação do modelo, obtendo-se (K) parquímetros.

De seguida, de modo a reduzir o universo da amostra, selecionam-se os k mais valiosos entre todos os parquímetros existentes na zona. É importante salientar que alguns parquímetros, devido às suas características, apresentam um risco de roubo superior. Foi decidido pela Empresa inflacionar o seu valor, sendo multiplicado por um fator de risco R (definido pela Empresa), de modo a aumentar o potencial de inclusão no subconjunto dos mais valiosos. Por

exemplo, um parquímetro com valor em cofre estimado em 20€, e um fator de risco $R = 10$, passa a ter o valor equivalente a 200€ no processo de seleção da heurística.

Depois de escolhidos os K parquímetros mais valiosos, gera-se uma rota que os inclua, utilizando segundo (Hillier and Lieberman, 2010), o método do vizinho mais próximo (medido em tempo). Note-se que a rota começa e termina na base. No entanto, a restrição de capacidade do veículo tem de ser respeitada, pelo que quando necessário o veículo tem de retornar à base para descarregar os cofres. Depois de construída a rota com os k parquímetros escolhidos, verifica-se se a restrição de tempo limite é violada. No caso de não o ser, a rota gerada representa uma solução admissível. No caso de ter sido violada, retira-se da rota o parquímetro menos valioso, e estabelece-se a ligação direta entre o seu antecessor e o seu sucessor. Este procedimento é repetido enquanto se verificar a violação da restrição de tempo. Os parquímetros incluídos na rota são retirados do conjunto de parquímetros a analisar e o processo é repetido, com a escolha dos k parquímetros mais valiosos seguintes, enquanto se pretenderem gerar novas rotas.

Na Figura 3 está representado um exemplo com três parquímetros (1, 2, 3), com 100€, 50€ e 150€ respetivamente. Nos arcos está representado o tempo de deslocação.

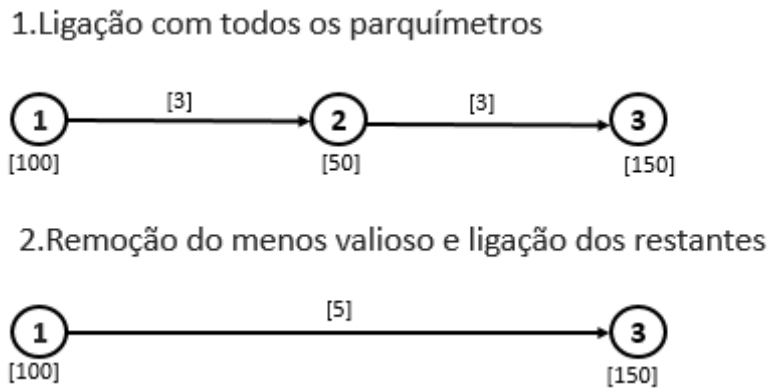


Figura 3. Exemplo de remoção do parquímetro menos valioso.

Como se pode concluir, através do exemplo, foi possível reduzir o tempo de percurso em 1 minuto. Este processo repete-se sucessivamente até que a restrição temporal seja cumprida.

É importante referir que foi testada outra heurística construtiva em que o critério de seleção do próximo parquímetro a visitar era o seu valor (e não a proximidade). Contudo, verificou-se que as soluções não eram satisfatórias em termos das rotas geradas, apresentando circuitos geograficamente pouco aceitáveis, e o procedimento foi abandonado.

4.5.2. Pseudo-Código

Tendo em conta os parâmetros anteriormente definidos, o pseudo-código para geração de uma rota é o seguinte:

1. Seleção dos k parquímetros mais valiosos.

- Inicialização:
 - Selecionar os k parquímetros mais valiosos, L ;
 - Selecionar o parquímetro i de L mais perto (em tempo) da base;
 - Iniciar a rota: $Rota = (base, i)$;
 - $L = \{1, 2, \dots, k\} - \{i\}$.

- Processo:

Repetir

- Selecionar o parquímetro j de L , mais perto de i ;

Se (capacidade é respeitada com a inclusão de j em *Rota*) **Então**

- Inserir na rota *Rota* o parquímetro j depois de i ;

Caso contrário

- Inserir na rota *Rota* a base depois de i ;
- Selecionar o parquímetro $j \in L$ mais perto da *base*;
- Inserir na rota *Rota* o parquímetro j depois da *base*;

- Atualizar: $i \leftarrow j$; $L \leftarrow L - \{j\}$

Até $L = \emptyset$

2. Incluir a base no final da rota construída, *Rota*

3. Verificação da restrição de tempo

- Processo:

Se a condição de tempo é violada **Então**

Repetir

- Remover de *Rota* o parquímetro i menos valioso, ligando o predecessor de i com o seu sucessor
- Atualizar o tempo

Até obter uma rota admissível

4.6. Experiências computacionais

Ao desenvolvimento da heurística sucederam-se testes/ experiências computacionais, de modo a garantir a validade e viabilidade da função de valorização.

4.6.1. Análise ao cálculo do valor esperado dos montantes por cofre

Pretendeu-se, antes do mais, testar a estimação do valor esperado do montante por cofre através da função de valorização. Para tal, escolhendo uma

determinada semana e as rotas realizadas nessa mesma semana pela Empresa, foram comparados os desvios entre os valores efetivamente recolhidos nas coletas e os valores estimados pela função de valorização. Na estimação dos valores foram utilizadas as três últimas coletas de cada parquímetro, sendo a mais antiga ponderada por 0.2, a seguinte por 0.3 e a mais recente por 0.5. Não sendo possível efetuar um estudo de qual a ponderação ótima que garanta o mínimo de desvio, foi adotada este tipo de abordagem com uma ponderação que atribui maior peso às coletas mais recentes, tendo-se obtido resultados satisfatórios – um desvio inferior a 10% do valor real.

O Gráfico 1 apresenta a comparação entre o valor real, que foi coletado numa determinada rota da semana em análise, e o valor estimado pela função para essa mesma rota, considerando os dados disponíveis até ao dia anterior à operação de coleta. A azul está representado o valor real e a verde o valor estimado pela função. O eixo das ordenadas representa o número de parquímetros coletados e o eixo das abcissas o intervalo de classes de valor coletado (em euros).

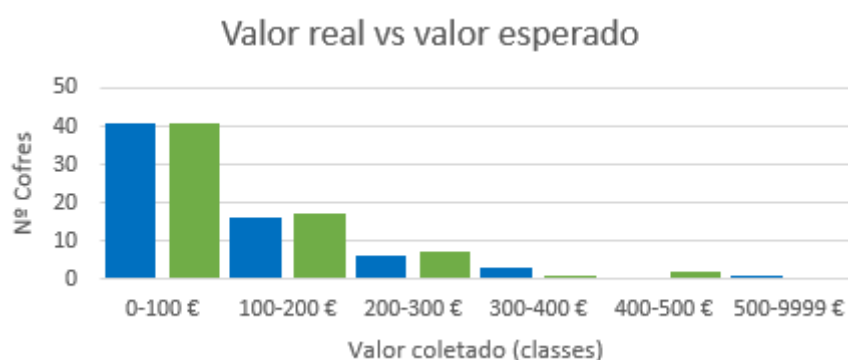


Gráfico 1 - Comparação entre o valor real (azul) e o valor estimado (verde) nos parquímetros.

No que diz respeito à estimação do valor esperado em cofre, foi possível concluir (nesta rota) que os desvios em relação ao valor real não são elevados. Isto é, no final de cada rota o valor total coletado estimado aproxima-se do valor total real.

Esta aproximação é visível no Gráfico 1, sendo que neste exemplo em concreto o desvio foi de 9,81%, que é um valor considerado aceitável para os objetivos do presente estudo.

No entanto, verificou-se nesta mesma rota que individualmente, parquímetro a parquímetro, existem alguns desvios relativos significativos. Por exemplo, os desvios positivos variam entre 3% e 332%, enquanto os negativos variam entre 4% e 95%, sendo que os desvios relativos mais elevados ocorrem dentro das classes de menor valor, o que resulta em desvios absolutos reduzidos. Estas variações percentuais elevadas a nível individual são de difícil modelação pois a valorização dos parquímetros é uma função complexa, influenciada por vários fatores tais como a localização da zona, o momento do dia, o dia da semana e/ou do mês, a realização de obras, avarias nos equipamentos, entre outros. No âmbito do presente estudo foi necessário assumir uma solução mais simples que permitisse concluir a metodologia de análise, contudo, é possível melhorar(futuramente) a função de valorização dos parquímetros, permitindo menores desvios entre a estimação dos valores esperados e os valores reais obtidos no momento da coleta.

No período de análise verificou-se ainda que a função apresenta estimativas de valor com desvios absolutos mais reduzidos no curto prazo (0 a 9 dias) e estimativas com desvios absolutos elevados no médio prazo (10 ou mais dias). Verificou-se que para os casos em que os parquímetros eram coletados num intervalo de 0 a 9 dias (83% do total da amostra), apresentaram desvios baixos em relação aos parquímetros que eram coletados após 10 ou mais dias (17% do total da amostra). Na Tabela 7 está representado o desvio absoluto entre o valor total estimado e o valor total real, o desvio absoluto médio (por cofre) e o desvio

relativo (entre valor total estimado e valor total real), para os intervalos de 0 a 9 dias e de 10 ou mais dias.

	0 a 9 dias	10 ou mais dias
Desvio Absoluto	-542,60 €	2464,3 €
Desvio médio absoluto (por cofre)	-4,52 €	102,7 €
Desvio Relativo	-9%	39%

Tabela 7 – Análise aos desvios do valor estimado por intervalo de classes (em dias)

Considerando os parquímetros que foram coletados num intervalo de 0 a 9 dias, estimou-se menos 542,60€ em relação ao valor total real, apresentando um desvio médio absoluto por cofre de menos 4,52€ e por consequência menos 9% do valor total real, o que são valores considerados aceitáveis. No entanto, considerando os parquímetros que foram coletados num intervalo de 10 ou mais dias (sendo que a menor duração foi de 15 dias) o mesmo já não se verifica: os desvios são elevados, sendo que o desvio absoluto é 4,5 vezes superior face desvio absoluto considerando os parquímetros que foram coletados em menos de 10 dias. O desvio médio por cofre é de 102,70€ e o desvio relativo de 39%, o que são valores elevados. Nesta amostra em concreto, dos 17% de parquímetros que foram coletados após 10 ou mais dias, 88% ficaram mais de 20 dias sem ser coletados. Julga-se que estes parquímetros que ficaram não foram coletados durante tantos dias devido a diversas situações, tais como: i) avaria de equipamento; ii) danificação/vandalização de equipamento; ou iii) realização de obras na zona afeta. Caso se confirme esta hipótese, tal significa que o parquímetro durante estes dias não acumulou valor. No entanto, a função, não conseguindo ter estes fatores/informação em conta, considera que estes

continuaram a acumular valor, dando origem a estimativas de valor erradas (com desvios elevados por excesso) contribuindo de forma significativa para o desvio face ao valor total estimado.

No âmbito deste estágio (devido à sua duração de seis meses) não foi possível, efetuar um estudo aprofundado da valorização individual dos parquímetros, de modo compreender melhor o seu comportamento e introduzir, se necessário, outras variáveis explicativas, melhorando desta forma a função de valorização com conseqüente redução dos desvios individuais; considera-se útil e relevante que tal deverá ser endereçado em fase posterior. Será igualmente importante desenvolver mecanismos que permitam à função ter em conta a informação nos casos específicos em que os parquímetros estiveram vários dias sem serem coletados e sem acumular valor (devido às situações anteriormente referidas).

4.6.2. Análise da duração da rota

No mesmo período em que foi testada a estimativa do valor esperado do montante por parquímetro, foi também efetuada a análise entre o tempo de duração da rota efetuada na realidade e o tempo que decorreria da utilização das distâncias Euclidianas nessa mesma rota, denominado tempo estimado.

O Gráfico 2 faz a comparação entre o tempo real da rota efetuada pelos operadores de coleta e o tempo estimado pela heurística desenvolvida para essa mesma rota. A azul está representado o tempo real e a verde o tempo estimado.

O eixo das ordenadas representa o número de parquímetros coletados e o eixo das abcissas o intervalo de classes do tempo gasto nas viagens entre parquímetros (em minutos).

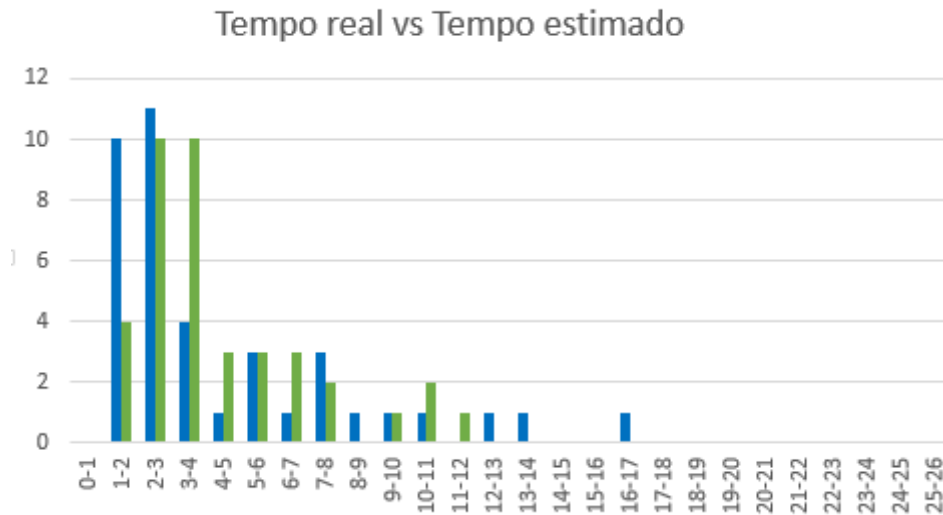


Gráfico 2 - Comparação entre o tempo real (Azul) e o estimado (Verde).

Pela análise do Gráfico 2 é visível que os tempos estimado e real das viagens não diferem muito. Existem diferenças individuais em algumas classes, mas que se compensam entre si, não tendo grande impacto no desvio entre o tempo estimado e o tempo real. Nesta rota em concreto, o tempo total estimado foi superior em apenas 5% ao tempo real. Esta diferença é aceitável, traduzindo-se na realidade numa diferença de poucos minutos. Ao longo do período de análise estes desvios foram sempre semelhantes, com a particularidade de o tempo estimado ter sido sempre superior. Estes valores superiores do tempo estimado foram propositadamente provocados de modo a criar uma certa prudência no tempo estimado para a execução de uma rota. No entanto, como visto anteriormente (ponto 4.4.), apesar de os tempos se ajustarem, houve alguns constrangimentos ao nível dos percursos reais. Por outro lado, apesar de a utilização da distância Euclidiana não ter em consideração o sentido dos troços, todos os planos foram executados dentro do tempo estimado (como será apresentado mais à frente no capítulo 5).

4.6.3. Valores Estimados vs. Realidade

Verificada a adequabilidade da estimação do valor esperado do montante por parquímetro e do tempo de percurso entre parquímetros, foi feita a comparação entre rotas, comparando-se uma rota sugerida pela heurística e uma realizada atualmente pela EMEL. Assim, escolheu-se um determinado dia da semana e verificou-se quantos cofres foram coletados no turno da manhã e no da tarde e o respetivo tempo de operação necessário. Em seguida, utilizou-se esse número de cofres por turno e o respetivo tempo de operação como restrições e gerou-se uma rota para esse mesmo dia recorrendo à heurística, denominada rota estimada.

No Gráfico 3 estão representados a azul os parquímetros efetivamente coletados pela EMEL e a verde os parquímetros que seriam coletados se aplicada a rota estimada, no turno da manhã. O eixo das ordenadas representa o número de parquímetros coletados e o eixo das abcissas o intervalo de classes de valor coletado (em euros). O Gráfico 4, embora semelhante, refere-se ao turno da tarde desse mesmo dia.

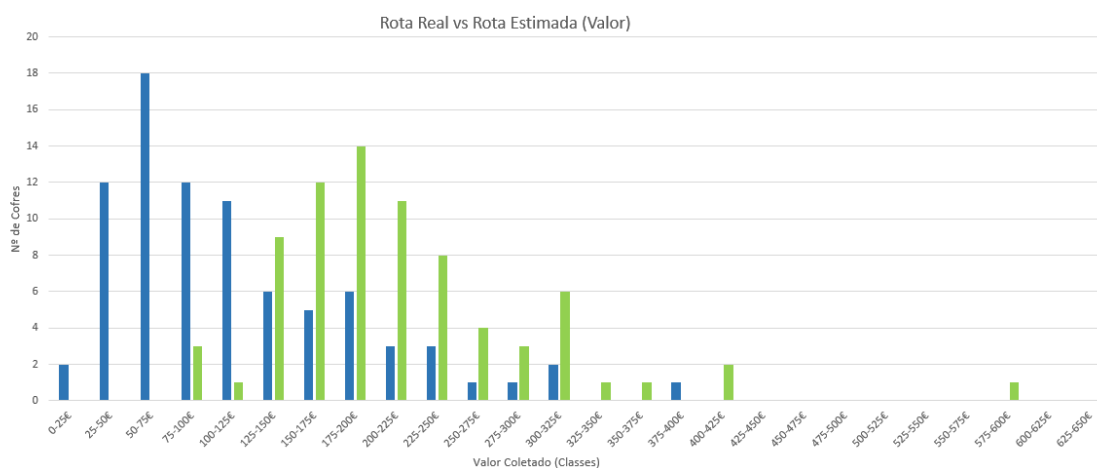


Gráfico 3 - Nº de parquímetros coletados na rota real (azul) e na rota estimada (verde) no turno manhã

	Rota Real (RR) vs. Rota Estimada (RE) $\left(\frac{RE - RR}{RR}\right) \times 100$
Desvio ao nº cofres coletados	-8%
Desvio ao valor total coletado	72%
Desvio ao valor médio por cofre	88%
Desvio ao valor mínimo coletado	3215%
Desvio ao valor máximo coletado	54%

Tabela 8 – Indicadores comparativos da rota real e rota heurística no turno da manhã.

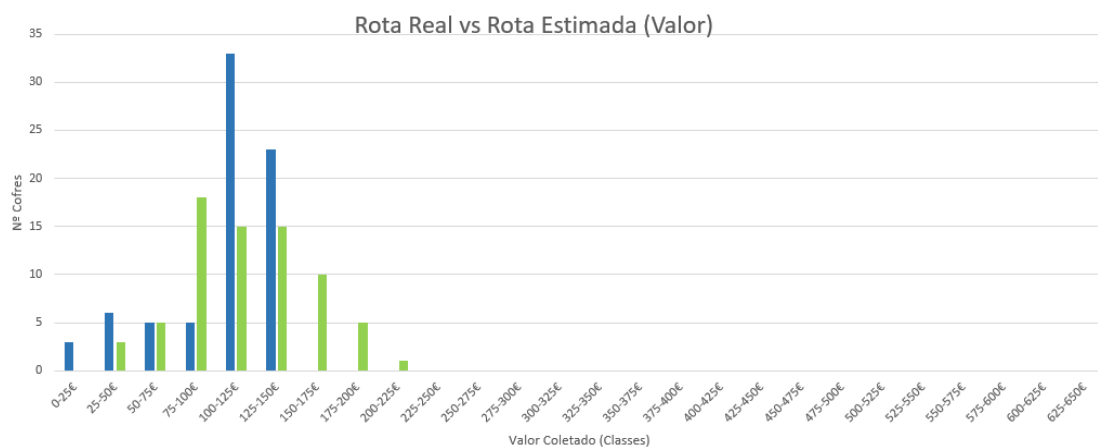


Gráfico 4 - Nº de parquímetros coletados na rota real (azul) e na rota estimada (verde) no turno tarde.

	Rota Real (RR) vs. Rota Estimada (RE) $\left(\frac{RE - RR}{RR}\right) \times 100$
Desvio ao nº cofres coletados	-4%
Desvio ao valor total coletado	7%
Desvio ao valor médio por cofre	12%
Desvio ao valor mínimo coletado	168%
Desvio ao valor máximo coletado	41%

Tabela 9 – Indicadores comparativos da rota real e rota estimada no turno da tarde.

Observando os dois gráficos é possível verificar que a distribuição do valor coletado na rota estimada situa-se mais à direita face à distribuição do valor coletado na rota real. Tal significa que com a rota gerada pela heurística se coletariam parquímetros de maior valor. Através das respetivas tabelas de

indicadores é também possível confirmar essa tendência observada nos dois gráficos, pois tanto no turno da manhã como no da tarde, os parquímetros coletados na rota estimada têm, em média, um valor mais elevado face aos coletados pela rota gerada pelo procedimento atual da empresa. Verifica-se ainda que foram coletados menos parquímetros na rota estimada, utilizando o mesmo tempo de operação.

4.6.4. Conclusão das experiências computacionais

As experiências computacionais dividiram-se em três partes: i) Análise do cálculo do valor esperado dos montantes por cofre; ii) Análise da duração da rota e iii) Valores estimados vs. Realidade.

O objetivo de i) e ii) foi testar a função de cálculo do valor esperado dos montantes por cofre e do tempo estimado de percurso, respetivamente, de modo a gerar valores próximos da realidade. Como ilustrado no ponto 4.6.1., parece que a função gera valores, a nível global, próximos da realidade. Em 4.6.2. verificou-se que os tempos de percurso estimados também se parecem aproximar dos tempos reais.

Após garantir a fiabilidade dos dois inputs da heurística (valor esperado por cofre e tempo de percurso), o objetivo de iii) foi o de gerar rotas, através da heurística desenvolvida, para dias em que já tinham sido efetuados percursos, para ser possível a comparação de resultados. Verificou-se que com as rotas geradas pela heurística desenvolvida se coletam parquímetros de maior valor, o que vai de encontro a um dos objetivos do estágio.

A utilização do fator de risco foi uma medida imposta pela empresa que surgiu muito próximo da semana de testes, não tendo sido possível testar computacionalmente o seu impacto.

Capítulo 5: Análise de Resultados

Neste capítulo é apresentada a análise feita na semana experimental, em que as equipas de coleta realizaram as rotas geradas pela heurística desenvolvida (explicada no capítulo anterior).

Foram gerados dez planos de rotas para os 5 dias da semana, 5 para o turno da manhã e 5 para o turno da tarde. Apenas um dos planos não pôde ser cumprido, devido a uma ocorrência pontual na área em estudo que condicionou toda a operação de coleta. No entanto, apesar das ocorrências imprevistas na cidade que não permitem a execução exata dos planos gerados, a atualização da valorização dos parquímetros com base na função de valorização assegura que o(s) parquímetro(s) não coletados num turno serão sugeridos para o turno seguinte. Por outro lado, em todos os planos houve parquímetros que não foram coletados devido a situações pontuais tais como: i) avaria de máquina; ii) ou obras no local da máquina a coletar.

Outro dos obstáculos verificado prendeu-se com as chaves que abrem os cofres dos parquímetros. Existem conjuntos de chaves que abrem determinados parquímetros, e a empresa não dispõe de uma base de dados com essa informação. Os planos antigos realizados pelo supervisor da coleta são estáticos, isto é, o conjunto de parquímetros a coletar é sempre o mesmo, variando apenas consoante o dia da semana. Existe, pois, um plano que é repetido todas as segundas-feiras, outro para todas as terças-feiras e assim

sucessivamente (para os restantes dias da semana). Isto implica que o conjunto de chaves seja sempre o mesmo para cada dia da semana, facilitando a sua organização. Contrariamente, o plano realizado com base na heurística desenvolvida é dinâmico, isto é, o conjunto de parquímetros é sempre diferente. Assim, à medida que as rotas foram geradas, as chaves tiveram que ser organizadas manualmente (pois a falta de existência de uma base de dados não o permite fazer de forma automática).

Como foi referido no Capítulo 4 (ponto 4.5.1), alguns parquímetros foram afetados por um fator de risco, tendo esta decisão sido imposta pela empresa na última reunião antes de o novo plano ser testado pelos operadores de coleta. Esta alteração, poucos dias antes da semana de testes, não permitiu efetuar um estudo de qual o melhor valor para o fator de risco, tendo sido estipulado um fator de risco $R = 10$. Isto teve implicações nos resultados obtidos (como será apresentado mais à frente neste capítulo).

Para uma melhor e mais fácil validação dos resultados, foi criado um *dashboard*, que permite comparar o plano gerado pela heurística vs. plano realizado, de modo a tirar conclusões no que respeita à exequibilidade dos planos

5.1. Plano Gerado vs. Plano Realizado

No que diz respeito ao plano de trabalho, como referido, foram geradas dez rotas, de modo a cobrir a atividade de uma equipa durante uma semana de trabalho. As Tabela 10 e Tabela 11 apresentam o rácio entre o número de parquímetros coletados na realidade e o número de parquímetros estimado pela heurística, em cada dia da semana para o turno da manhã (1M; 2M; 3M; 4M; e

5M) e para o turno da tarde (1T; 2T; 3T; 4T; e 5T), respetivamente. Estes valores foram calculados da seguinte forma:

$$\% \text{ cofres coletados} = \left[\frac{n_{\text{cofres_coletados_real}_T}}{n_{\text{cofres_estimados}_T}} \right] \times 100$$

Em que: $n_{\text{cofres_estimados}_T}$ corresponde à quantidade de cofres que a heurística sugeriu que iriam ser coletados na rota, durante o turno T ; $n_{\text{cofres_coletados_real}_T}$ corresponde ao número de cofres que foi possível efetivamente coletar durante a realização da rota gerada pela heurística, para o turno T .

	1M	2M	3M	4M	5M
% de cofres coletados	86%	80%	94%	90%	66%

Tabela 10 – % de parquímetros efetivamente coletados no turno da manhã face ao plano gerado.

	1T	2T	3T	4T	5T
% de cofres coletados	98%	90%	94%	88%	91%

Tabela 11 – % de parquímetros efetivamente coletados no turno da tarde face ao plano gerado.

Através dos resultados apresentados nas Tabela 9 e Tabela 10, e tendo em conta que o tempo do turno foi sempre suficiente para a execução dos planos, é possível concluir que os fatores não incluídos na geração do plano (avaria de máquina, obras no local da máquina a coletar ou outras situações pontuais) têm uma influência significativa no cumprimento dos planos. De facto, foram estes os únicos fatores que impediram a coleta de todos os parquímetros previstos no plano, de acordo com o reporte dos operadores de coleta.

No que diz respeito ao valor coletado, e para a comparação entre o valor estimado e o real, é importante analisar dois indicadores: i) valor total coletado (VTC); e ii) valor médio coletado por cofre (VMC). As Tabela 12 e Tabela 13

apresentam o desvio relativo entre os dois indicadores referidos anteriormente face aos valores estimados, se utilizada a rota gerada pela heurística. Os desvios relativos destes dois indicadores foram calculados da seguinte forma:

$$\Delta ValorTotal = \left[\frac{VTC_T^R}{VTC_T^E} - 1 \right] \times 100 \quad \text{e} \quad \Delta ValorMédio = \left[\frac{VMC_T^R}{VMC_T^E} - 1 \right] \times 100$$

Em que; VTC_T^E representa o montante total coletado se utilizada a rota gerada pela heurística, denominado por montante total coletado estimado, no turno T ; VTC_T^R representa o montante total coletado na realidade, isto é, após tentar cumprir o plano gerado, para o turno T ; VMC_T^E representa o valor médio coletado por cofre estimado, no turno T ; e VMC_T^R representa o valor médio por cofre efetivamente coletado, isto é, após tentar cumprir o plano gerado, para o turno T .

	1M	2M	3M	4M	5M
$\Delta ValorTotal$	13,6%	-5,9%	-14,8%	-14,4%	-17,5%
$\Delta ValorMédio$	31,5%	17,6%	-8,94%	-4,52%	24,8%

Tabela 12 – Desvio relativo dos indicadores (Valor total e valor médio) no turno da manhã face ao plano gerado.

	1T	2T	3T	4T	5T
$\Delta ValorTotal$	32,9%	4,4%	-10,3%	-16%	-23,3%
$\Delta ValorMédio$	35,3%	15,83%	-4,2%	-4,62%	-16,1%

Tabela 13 – Desvio relativo dos indicadores (Valor total e valor médio) no turno da tarde face ao plano gerado.

Analisando os resultados apresentados das Tabela 12 e Tabela 13, é possível concluir que, os desvios do valor total são geralmente negativos (excetuando três casos: 1M, 1T e 2T). Tal pode dever-se ao facto de terem sido coletados sempre menos parquímetros do que o esperado (devido a situações pontuais). De facto, observa-se nas Tabela 10 e Tabela 11 que a percentagem de cofres

coletados nunca iguala os 100%, sendo de apenas 66% no turno 5M. Este valor corresponde ao valor mais negativo da Tabela 11, indicando o caso em que o valor efetivamente coletado apresentou um maior desvio face ao valor estimado. Porém, já o turno 5T da tarde, apresentou uma taxa de coleta de 91% com um desvio ao valor coletado de -23%, podendo indicar uma má previsão de montante a coletar. Em contrapartida, por exemplo, o turno 1T com uma percentagem elevada de cofres coletados, apresenta um valor coletado 35% superior ao estimado. No global, no final da semana, coletou-se na realidade menos 6% de valor face ao que tinha sido previsto (estimado). É importante referir, que o fato de os sentidos de circulação ao não terem sido incorporados, fez com que os operadores de coleta, em algumas situações, fizessem reajustes relativamente à ordem de coleta dos parquímetros. Isto fez com que nessas situações, os valores tenham sido coletados a um hora diferente da hora para a qual o valor tinha sido estimado, acabando por ter impacto no valor total estimado.

Note-se que o fator de risco é considerado apenas no processo de seleção dos parquímetros, o que significa que não tem influência nesta comparação entre valores reais estimados e coletados. A título de exemplo, se o valor estimado de um parquímetro com fator de risco 10 é de 20€, no processo de seleção ele vai ser interpretado como tendo 200€, mas depois, para comparar com o valor que foi coletado na realidade, será utilizado o seu valor estimado (20€). No entanto, o fator de risco, ao ter impacto na seleção dos parquímetros, fez com que cerca de 33% do total de parquímetros ao serem multiplicados por esse fator, fossem coletados mais vezes. Por exemplo, um parquímetro de risco valorizado em 20€, tem associado o valor 200€ para a heurística, sugerindo ao operador a respetiva coleta, mesmo se em detrimento de um parquímetro (sem risco acrescido)

valorizado em 150€. Através do *dashboard* (ver Anexo 1) realizado, após a semana de testes, verificou-se que os parquímetros de risco apresentavam uma média de 3,29 coletas por semana (havendo uns que chegaram a ser coletados 9 vezes), enquanto os restantes tinham uma média de 0,31 coletas por semana. Nota-se ainda que apenas 19% dos parquímetros de risco ficaram por coletar, enquanto os restantes apresentam uma percentagem de não coleta de 70%. Assim, verificou-se que na semana de testes não foram coletados todos os parquímetros da área em estudo, havendo uma espécie de ‘ciclo vicioso’ em torno dos parquímetros de risco. Parece assim, que o fator de risco, determinado pela empresa, merece ser analisado e talvez revisto em baixa, permitindo um maior equilíbrio entre o risco de parquímetros com modelos menos robustos e parquímetros com valores reais mais elevados.

Capítulo 6: Conclusões

Em primeiro lugar, é importante frisar que o estágio realizado foi uma oportunidade bastante enriquecedora que permitiu não só consolidar o conhecimento académico adquirido ao longo do mestrado em Decisão Económica e Empresarial (DEE), mas também desenvolver novas competências e adquirir alguma experiência no mercado de trabalho.

No presente estágio foi desenvolvida e programada uma heurística construtiva capaz de gerar rotas para os operadores de coletas. Sendo que os planos gerados pela heurística desenvolvida foram testados pelas equipas de coletas durante uma semana. Foi ainda criado um *dashboard* de análise dos resultados obtidos.

A análise ao plano atual da empresa permitiu perceber que existem parquímetros de valor estimado elevado que ficam por coletar em detrimento de parquímetros de baixo valor. Tal leva a que fiquem parquímetros com montantes mais elevados por coletar no final de cada dia, aumentando o risco de roubo.

Devido à curta duração do estágio, foram feitas algumas simplificações na metodologia utilizada, mais concretamente na utilização de distâncias Euclidianas e a nível da função que calcula o valor esperado do montante em cada parquímetro (não tendo sido feito um estudo individual de valorização dos mesmos mas apenas um estudo global por rota). Estas simplificações influenciaram obviamente os resultados na semana em que o plano gerado foi testado pelos operadores. Por consequência desta curta duração, o período experimental – apenas uma semana – também não foi suficiente para melhorar significativamente o modelo, não tendo sido possível realizar diferentes períodos de testes que incluíssem algumas melhorias e calibração de parâmetros após a análise de resultados.

No entanto, a semana de testes permitiu concluir que:

- A não incorporação dos sentidos de circulação automóvel na rede limitou fortemente toda a operação de coleta, levando a que, em determinadas situações, os operadores não pudessem respeitar a rota previamente definida. Por consequência, esta omissão fez com que os valores tenham sido coletados a uma hora diferente da hora para a qual o valor tinha sido estimado, acabando por ter impacto no valor total estimado.
- A inclusão do fator de risco – ou o valor que este assumiu – influenciou fortemente a escolha de parquímetros a coletar, originando que os

parquímetros de risco fossem várias vezes coletados em detrimento de outros, mesmo com maior valor real estimado.

- Os valores estimados dos montantes nos parquímetros são atualizados sempre que uma rota é realizada. Assim, quando um determinado plano não é cumprido na íntegra, os parquímetros que ficaram por coletar, passam para o plano do dia seguinte (caso tenham acumulado valor suficiente para serem selecionados). Isto resolve um problema identificado pela empresa, pois os planos gerados pelo supervisor de coleta são estáticos, havendo um conjunto de parquímetros a coletar estipulado para cada dia da semana. Logo, quando um plano não é cumprido na íntegra os parquímetros que ficaram por coletar não passam para o plano seguinte (pois este já estava previamente estipulado).

Embora a metodologia tenha sido completamente desenvolvida, cada função elementar (valorização, grafo e heurística) encontra-se ainda numa fase inicial, sendo que existem vários melhoramentos que podem ser incorporados de modo a melhorar resultados:

- Na função de valorização o valor esperado do montante em cada parquímetro apresenta desvios significativos a nível individual, tornando necessário fazer um estudo individual da valorização dos parquímetros de modo a obter uma estimativa melhor destes valores. Tal como foi visto no ponto 4.6.1., é importante criar mecanismos que permitam que a função de valorização tenha em conta a informação referente às situações que fazem com que os parquímetros fiquem vários dias sem acumular valor, para não induzir em estimativas erradas dos mesmos. No entanto, a

empresa tem vindo a modernizar-se, tendo já alguns parquímetros em que é possível saber o valor em cofre a cada instante (com recurso às novas tecnologias). Futuramente este obstáculo será ultrapassado da forma mais eficiente.

- No que diz respeito à rede, em detrimento das distâncias Euclidianas, incorporar as distâncias reais (com os tempos variáveis ao longo do dia), incluindo os sentidos das ruas, permitiria obter melhores estimativas do tempo de percurso.
- A nível da construção de rotas, deveria ser programada uma heurística melhorativa de modo a obter uma solução melhor. A atual heurística gera apenas uma rota de cada vez, considerando os parquímetros mais valorizados e baseando-se no método do vizinho mais próximo, apresentando várias hipóteses de melhoria. Julga-se importante testar também outras heurísticas construtivas para verificar quais é que apresentam melhores resultados quando aplicados a esta realidade tão específica de coleta de parquímetros na via pública.
- Por fim, é de grande utilidade construir uma base de dados com a informação acerca das chaves dos parquímetros de modo a que quando a rota seja gerada, o respetivo conjunto de chaves seja igualmente gerado, facilitando a operação de coleta e permitindo uma gestão eficiente de um recurso necessário mas escasso (há poucas chaves por lote de parquímetros).

Bibliografia

Archetti, C. & Speranza, M. (2014), Vehicle Routing Problems with Profits in: Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Toth, P. & Vigo, D., 2^a Ed. MOS-SIAM Philadelphia, PA, USA, 2014

E. Balas, The prize collecting traveling salesman problem, Networks, 19 (1989), pp. 621-636

F.S. Hillier and G.J. Lieberman. (2010). Introduction to Operations Research, 9th edition, McGraw-Hill, New York

Toth, P. & Vigo, D. (2014), Problems, Methods, and Applications, 2^a Ed. MOS-SIAM Philadelphia, PA, USA, 2014

Anexos

Anexo 1 – Dados de entrada

O *dashboard* foi concebido com recurso ao Excel e está dividido em 2 grupos:

- 1) **Plano Estimado** – plano de rota gerado pelo software
- 2) **Plano Realizado** – plano efetivamente realizado, a partir do plano estimado

Cada grupo contém um conjunto de folhas de Excel iguais composto por 10 folhas com todas as rotas geradas para uma semana (1M, 2T, ..., 5T), e mais três folhas com tabelas de indicadores de análise.

No que diz respeito aos dados de entrada, existem dois tipos de inputs/dados a colocar nas folhas: i) dados sobre os parquímetros coletados, e ii) dados sobre os parquímetros não coletados. Os dados sobre o plano estimado são gerados pelo software, enquanto os dados sobre os planos realizado são obtidos através do histórico (após terem sido introduzidos no sistema).

Modelo de Optimização das Rotas da Coleta													
Dia:		2016.05.11											
Período:		Tarde											
Parquímetros coletados (Simulação)													
id	origem	destino	data	h	tmp_viagem	VE	mod	Tmp_col	tipo_col	risco	Parquímetros não coletados		
0	base	016-057	26/09/2016	7.83	10.015	19.45 €	DG	80	Tubo	10	IdPQ	Risco	VE
1	016-057	016-049	26/09/2016	7.88	2.663	25.21 €	DG	80	Tubo	10	6934	10	2.46 €
2	016-049	016-051	26/09/2016	7.93	3.093	21.50 €	DG	80	Tubo	10	6947	10	2.11 €
3	016-051	022-107	26/09/2016	8.00	4.304	23.73 €	DG	80	Tubo	10	6915	10	11.24 €
1M 1T 2M 2T 3M 3T 4M 4T 5M 5T Dashboard_Semana AnaliseColetas 1Mr 1Tr 2Mr													

Ilustração 1 – Dashboard (dados de entrada)

Como podemos ver na Ilustração 1, os dados que dizem respeito aos parquímetros coletados, são compostos pelos seguintes campos:

- **Id** – número da “viagem” entre o nodo destino e o nodo origem
- **origem** – o nodo de origem
- **destino** – nodo de destino

- **data** – dia em que a rota foi efetuada
- **h** – hora em que o operador chegou ao destino e coletou o parquímetro
- **tmp_viagem** – duração da viagem entre o nodo origem e o nodo destino
- **VE** – valor estimado do parquímetro
- **Mod** – modelo do parquímetro
- **Tmp_col** – tempo para efetuar a coleta de acordo com o modelo do parquímetro
- **Tipo_col** – tipo de coleta de acordo com o modelo de parquímetro
- **risco** – fator de risco associado ao parquímetro

Os dados sobre os parquímetros que ficaram por coletar são compostos pelos seguintes campos:

- **IdPQ** – número de identificação do parquímetro
- **Risco** – fator de risco associado ao parquímetro
- **VE** – valor estimado do parquímetro no final do dia

No caso das folhas referentes ao plano estimado, a introdução dos dados dá origem à folha de obra que acompanha os operadores de coleta. Na ilustração 2 está representado um exemplo da folha de obra que é composta por um cabeçalho que contém informação sobre o dia, o turno e a área onde vai ser executado o plano e um campo para o operador preencher com o número da equipa. É constituída por três campos que foram preenchidos automaticamente e quatro campos para o operador preencher. Note-se que o campo “Chaves” serve para construir a base de dados com a informação das chaves (ver capítulo 5).

Modelo de Optimização das Rotas da Coleta							2017-03-11 20:10 p. 1 / 2
Dia 2016.09.25		Período:	Manhã	�rea: Azul (#256 pq)		Equipa:	
ID	Origem	Destino	Modelo	Chaves	Hora	Valor	Observa�es
0	base	016-057	DG				
1	016-057	016-049	DG				
2	016-049	016-051	DG				
3	016-051	022-107	DG				
4	022-107	022-106	DG				
5	022-106	022-103	DG				
6	022-103	022-102	DG				
7	022-102	022-084	DG				
8	022-084	022-088	DG				
9	022-088	022-090	DG				

Ilustra o 2 – Folha de obra

Anexo 2 – Análise da semana

  medida que os dados vão sendo introduzidos, a folha de análise semanal vai sendo automaticamente preenchida. Como se pode observar na ilustra o 3, a mesma é composta por quatro tabelas iguais (duas para os parquímetros coletados e duas para os parquímetros não coletados). Cada tabela contém os seguintes indicadores: i) n  de cofres coletados, ii) valor coletado, iii) valor médio por cofre, iv) valor mínimo e máximo e v) percentis 5, 50 e 95.

Modelo de Optimiza�o das Rotas da Coleta						Modelo de Optimiza�o das Rotas da Coleta							
Semana:		2016.05.11 a 2016.05.15				Semana:		2016.05.11 a 2016.05.15					
Resumo semanal		Indicadores de valor coletado				Resumo semanal		Indicadores de valor não coletado					
Período: Manhã						Período: Manhã							
		1M	2M	3M	4M	5M			1M	2M	3M	4M	5M
N� cofres							N� cofres						
valor							valor						
valor med. Cofre							valor med. Cofre						
Mín							Mín						
p5							p5						
P50							P50						
P95							P95						
Máx							Máx						
							Risco médio	100.00					

Período: Tarde						Período: Tarde					
	1T	2T	3T	4T	5T		1T	2T	3T	4T	5T
Nº cofres						Nº cofres					
valor						valor					
valor med. Cofre						valor med. Cofre					
Mín						Mín					
p5						p5					
P50						P50					
P95						P95					
Máx						Máx					
						Risco médio	100.00				

Ilustração 3 – Folha de análise semanal

Devido à confidencialidade e proteção de dados as tabelas da análise semanal não estão preenchidas com os valores.

Anexo 3 – Análise de coletas

Existe uma outra folha onde é possível verificar o número de vezes que um parquímetro foi coletado durante a semana. Recorrendo à ilustração 4, para cada turno (1M, 1T, ..., 5T) se o parquímetro foi coletado assume o valor 1, caso contrário é 0 (parte laranja). Na parte azul consta o número de coletas acumuladas por turno. Por exemplo, o parquímetro 16 da Zona 31 apenas foi coletado no turno 1T (parte laranja).

idPQ	zona	maquina	zona_maquina	Modelo	Tipo_colecta	FactorRisco	1M	1T	2M	2T	3M	3T	4M	4T	5M	5T	_1M	_1T	_2M	_2T	3M	_3T	_4M	_4T	_5M	_5T
6890	16	31	016-031	DG	Tubo	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17383	16	39	016-039	DG	Tubo	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
6892	16	40	016-040	DG	Tubo	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
6893	16	49	016-049	DG	Tubo	10	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
6894	16	50	016-050	DG	Tubo	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6895	16	51	016-051	DG	Tubo	10	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
6896	16	53	016-053	DG	Tubo	10	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2
17381	16	54	016-054	DG	Tubo	10	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2
6898	16	55	016-055	DG	Tubo	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2
6899	16	56	016-056	DG	Tubo	10	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	3
6900	16	57	016-057	DG	Tubo	10	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
6901	16	59	016-059	DG	Tubo	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6902	16	60	016-060	DG	Tubo	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6903	16	61	016-061	DG	Tubo	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6904	16	100	016-100	DG	Tubo	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8117	22	1	022-001	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8118	22	2	022-002	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8119	22	3	022-003	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8120	22	4	022-004	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8121	22	5	022-005	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8122	22	6	022-006	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7960	22	7	022-007	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7961	22	8	022-008	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7962	22	10	022-010	Strada Rapid	Troca de cofre	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Ilustração 4 – Folha de análise de coletas

Anexo 4 – Análise de Planos

Por fim, existe mais uma folha onde é feita a análise do plano estimado vs plano realizado. Na ilustração 5 está representada a análise do plano estimado vs plano realizado. Esta contém tabelas com os desvios relativos e absolutos (para os 10 turnos da semana) ao nível do valor total coletado, nº de cofres coletados, valor médio por cofre e valor que ficou por coletar.

Valor Total Coletado											
	1M	1T	2M	2T	3M	3T	4M	4T	5M	5T	Total
Plano Estimado											
Plano Realizado											
Desvio Absoluto											
Desvio relativo											
Nº cofres											
	1M	1T	2M	2T	3M	3T	4M	4T	5M	5T	Total
Plano Estimado											
Plano Realizado											
Desvio Absoluto											
Desvio Relativo											
Valor Médio Coletado											
	1M	1T	2M	2T	3M	3T	4M	4T	5M	5T	Total
Plano Estimado											
Plano Realizado											
Desvio Absoluto											
Desvio Relativo											
Valor Rua											
	1M	1T	2M	2T	3M	3T	4M	4T	5M	5T	Total
Plano Estimado											
Plano Realizado											
Desvio Absoluto											
Desvio Relativo											

Ilustração 5 – Folha de análise Plano Estimado vs Plano Realizado

Tal como na análise semanal (ver Anexo 2) as tabelas das ilustrações 5 e 6 não estão preenchidas com os valores.