

DESENVOLVIMENTO DE SEQUENCIADOR PARA UM PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Helder Filipe de Castro Pinheiro



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto

2015

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Candidato: Helder Filipe de Castro Pinheiro, N° 1090392, 1090392@isep.ipp.pt

Orientação científica: Ana Gomes Viana, agv@isep.ipp.pt

Empresa: Schmitt-Sohn Elevadores

Supervisão: José Miguel Sá Carneiro, j.sacarneiro@schmitt-elevadores.com



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial
Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

29 de julho de 2015

Dedicado aos pais, irmão, avó e avô...

Agradecimentos

À Prof.^a. Dr.^a. Ana Viana pela orientação e acompanhamento, mostrando-se sempre disponível para qualquer situação.

Ao Eng.^o. José Miguel Sá Carneiro pelo acompanhamento prestado durante o desenvolvimento do projecto aquando do estágio, bem como ao Eng.^o. João Braegger e restantes colaboradores que directa ou indirectamente contribuíram para a motivação diária e desenvolvimento deste trabalho.

À família pelo suporte diário, pela boa disposição e pela força transmitida.

Aos amigos pela disponibilidade incondicional nos bons e maus momentos, mas especialmente quando directa ou indirectamente ajudavam substancialmente a ultrapassar os momentos de menos força.

Resumo

Este projecto tem como objectivo a optimização das rotas dos técnicos de serviço após venda da Schmitt+Sohn Elevadores, associadas à realização das manutenções preventivas a cada elemento contratado à empresa (elevadores, escadas rolantes, etc). Como tal, é necessário fazer uma distribuição dos equipamentos que se encontram em carteira, por um dos técnicos que assegura a manutenção, pelos vários dias úteis de cada mês, e pelas horas de trabalho de cada dia. Apesar do técnico ter disponíveis, por dia, 8h de trabalho, apenas 6h podem ser preenchidas com manutenções preventivas. As 2h restantes são essencialmente para possíveis manutenções correctivas para as quais o técnico seja solicitado. Caso o técnico não seja contactado para resolver nenhuma avaria, essas horas podem ser utilizadas pelo mesmo para adiantar trabalho do dia seguinte, isto é, visitar já alguns dos próximos pontos de manutenção preventiva do dia seguinte, ou para compensar trabalho que esteja atrasado. De salientar que, para cada dia, as deslocações do técnico de qualquer local ao primeiro ponto de uma rota ou de regresso do último ponto de uma rota não são contabilizadas.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação pretende dar resposta ao problema apresentado pela Schmitt+Sohn Elevadores. Para isso foi desenvolvida uma heurística para a optimização das rotas dos técnicos. Esta é baseada no conceito de “vizinho mais próximo” que procura sempre o ponto que se apresenta mais perto do último ponto que foi adicionado à rota. Com base nesta metodologia, nos processos de escolha dos pontos que formam *clusters*, e na selecção dos pontos iniciais de cada uma das rotas diárias, a ferramenta de optimização resultante define as rotas diárias para que o percurso efectuado por cada técnico num mês seja o menor possível. São feitas alterações às rotas definidas inicialmente quando encontrados pontos de uma mesma entrada a serem visitados em dias diferentes. Isto obrigaria o técnico a fazer duas viagens ao mesmo local. Por fim, o resultado é apresentado num documento *Word* a ser utilizado pelo técnico como guia diário das suas deslocações aos equipamentos que necessitam de verificações periódicas.

Os resultados obtidos foram comparados com as rotas que estavam a ser usadas pela empresa, tendo apresentado resultados de melhor qualidade, constatando-se a eficiência da solução criada pelo algoritmo proposto neste trabalho.

Palavras-Chave

Rotas de veículos, Manutenções Preventivas, Equipamentos, Heurística de “vizinho mais próximo”, Algoritmo.

Abstract

The objective of this project is to optimize the routes of the service technicians after sales of Schmitt+Sohn Elevators, related to the execution of the preventive maintenance to each element contracted to the company (elevators, escalators, etc). Thus, it is necessary to make a distribution of the equipments that are on the wallet, by one of the technicians that ensure the maintenance, by all the available days of the week of each month and by the hours of work of each day. Although the technician has 8 hours of work available by day, only 6 of them can be associated with planned preventive maintenances. The other 2 hours are essentially to possible corrective maintenances that the technician could be called to solve. If the technician isn't called to solve a breakdown those other hours could be used by him to advance work of the next day, like visiting already some of the following points of preventive maintenance of the next day, or compensate work that is late. Noteworthy that, for each day, the traveling time of the technician from any location to the first point of a route or from the last point of a route at the end of the day aren't count in the solution.

The work developed in this thesis provides an answer to the problem presented by Schmitt+Sohn Elevators. For that was developed an heuristic to the optimization of the technician routes. This heuristic is based on the "nearest neighbor" concept which searches always for the point that is closer to the last one that was added to the route. Based on this methodology, on the choice processes of the points that form clusters, and on the selection of the initial points of each route for each day, the optimization tool defines the daily routes for the course done by each technician on a month to be the shortest possible. Changes are made to the routes defined initially when points from the same entry are founded being visited in different days. This would force the technician to do two trips to the same place. In the end, the result is presented in a Word document to be used by the technician as a daily guide to his travels to the equipments that need periodic verifications.

The obtained results were compared with the routes that were being used by the company, with the first ones presenting results of better quality, confirming the efficiency of the algorithm proposed in this work.

Keywords

Routes of Vehicles, Preventive Maintenances, Equipments, “Nearest Neighbor” Heuristic, Algorithm.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.2. OBJECTIVOS.....	2
1.3. CALENDARIZAÇÃO.....	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	3
2. SCHMITT+SOHN ELEVADORES – A EMPRESA E O PROBLEMA	5
2.1. MANUTENÇÕES PLANEADAS E NÃO PLANEADAS	7
2.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	8
3. ESTADO DA ARTE	11
3.1. O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE E O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS	13
3.2. ABORDAGENS EXACTAS.....	18
3.3. MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	20
3.4. META-HEURÍSTICAS	29
4. ALGORITMO DESENVOLVIDO E RESULTADOS OBTIDOS	33
4.1. OBTENÇÃO DE DADOS, METODOLOGIAS E IMPLEMENTAÇÕES.....	33
4.2. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO FINAL.....	57
4.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	71
5. CONCLUSÕES E MELHORAMENTOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	81
ANEXO A. RELATÓRIO ANTERIOR RESULTANTE DO PROGRAMA NAVISION.....	90

ANEXO B. RELATÓRIO IMPROVISADO ANTIGO DE MANUTENÇÕES DO TÉCNICO 1.....	92
ANEXO C. RELATÓRIO IMPROVISADO ANTIGO DE MANUTENÇÕES DO TÉCNICO 2.....	98
ANEXO D. TABELA CONSTITUÍDA PELOS EQUIPAMENTOS DO TÉCNICO	104
ANEXO E. PÁGINA INICIAL DO RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO OBTIDO PARA O TÉCNICO 1 ATRAVÉS DO PROGRAMA	106
ANEXO F. PÁGINA INICIAL DO RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO OBTIDO PARA O TÉCNICO 2 ATRAVÉS DO PROGRAMA	108

Índice de Figuras

Figura 1	Parte da hierarquia do Serviço Após Venda (SAV).....	6
Figura 2	Exemplo de placa de circuito impresso [22].....	12
Figura 3	1-árvore mínima [85].....	21
Figura 4	Exemplo do método 2-opt [73].....	27
Figura 5	Exemplo de uma troca 3-opt [73]	28
Figura 6	Exemplo de outra troca 3-opt [73]	28
Figura 7	Exemplo de troca 4-opt [73].....	29
Figura 8	Dados em <i>Navision</i> sobre determinado equipamento	34
Figura 9	Exemplo de lista de equipamentos de um técnico	36
Figura 10	Exemplo de um pedido manual efectuado no <i>Google Maps</i> [40].....	37
Figura 11	Excerto da matriz de distâncias e tempos de deslocação de 13 equipamentos distintos.....	37
Figura 12	Apresentação da plataforma <i>MapQuest</i> - pedido de direcções [67].....	38
Figura 13	Exemplo de pedido por URL à plataforma <i>MapQuest</i>	39
Figura 14	Fluxograma 1: teste de todos os pontos como pontos iniciais	40
Figura 15	Fluxograma 2: teste com aplicação de heurística para obtenção do primeiro ponto nas rotas que não a primeira	41
Figura 16	Agrupamento de equipamentos - <i>clusters</i>	43
Figura 17	Exemplo da solução 1 para diminuir perdas no problema das avarias	47
Figura 18	Exemplo da solução 2 para diminuir perdas no problema das avarias	48
Figura 19	Exemplo da forma como o técnico lida com uma avaria.....	49
Figura 20	Exemplo de hipóteses para o ponto final	51
Figura 21	Excerto exemplo da carteira do técnico.....	55
Figura 22	Janela inicial de apresentação do programa ao utilizador.....	58
Figura 23	Janela de interação do programa com o utilizador.....	59
Figura 24	Tabelas criadas na base de dados, incluindo testes e definitivas	60
Figura 25	Deslocações entre dois pontos distintos de um <i>cluster</i> a um mesmo ponto.....	61
Figura 26	Fluxograma de recolha de todos os dados para o problema	63
Figura 27	Fluxograma de escolha do próximo ponto a ser testado como inicial na primeira rota	64

Figura 28	Fluxograma de selecção do próximo ponto a adicionar à rota com o mesmo código-postal	65
Figura 29	Lista dos extremos definidos para os intervalos e respectivos tempos correspondentes ..	66
Figura 30	Seleccionar novo ponto a adicionar à rota utilizando a heurística escolhida	66
Figura 31	Verificação dos intervalos estipulados com a adição de um novo ponto	67
Figura 32	Seleção do novo ponto de uma rota diária que não a primeira	68
Figura 33	Resolução do problema identificado nas rotas relativo às entradas	70
Figura 34	Parte da rota antiga - visão geral	75
Figura 35	Parte da nova rota prévia - visão geral.....	76

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do projecto.	3
Tabela 2	Tabela de <i>milestones</i> do TSP [24].	15
Tabela 3	Intervalos testados e respectivas melhores soluções encontradas com o algoritmo...72	
Tabela 4	Comparação entre a solução antiga e a do algoritmo para o técnico 1 (201039).	74
Tabela 5	Comparação entre a solução antiga e a do algoritmo para o técnico 2 (200879).	77

Acrónimos

AG	–	Algoritmos Genéticos
API	–	Application Programming Interface
CRM	–	Costumer Relationship Management
ERP	–	Enterprise Resource Planning
GPS	–	Global Positioning System
HK	–	Held-Karp
MAP	–	Modified Assignment Problem
MST	–	Minimum Spanning Tree
mTSP	–	Multiple Traveling Salesman Problem
MWM	–	Minimum Weight Matching
MySQL	–	My Structured Query Language
OSM	–	Open Street Map
PCV	–	Problema do Caixeiro Viajante
PCVm	–	Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo
PRV	–	Problema de Roteamento de Veículos
QA	–	Quasi-Assignment
SA	–	Simulated Annealing
SAV	–	Serviço Após-Venda

- TSP – Traveling Salesman Problem
- URL – Uniform Resource Locator
- VRP – Vehicle Routing Problem
- XML – eXtensible Markup Language

1. INTRODUÇÃO

Este documento resume o trabalho desenvolvido na empresa Schmitt+Sohn Elevadores na otimização de rotas de veículos de técnicos de manutenção. É descrito o problema de otimização em estudo e são apresentadas as várias etapas de elaboração do algoritmo de otimização desenvolvido. O algoritmo implementado, para além de distribuir os vários equipamentos pelos dias úteis do mês, tendo em conta o horário de trabalho disponível do técnico, tem ainda em conta a procura do melhor caminho para percorrer os pontos de cada um dos dias, oferecendo assim uma solução otimizada, que permite diminuir o tempo total dispendido pelo técnico a percorrer todos os pontos que lhe estão atribuídos. Por outro lado, o algoritmo procura em cada dia não ocupar, para cada técnico, mais do que 6 horas por dia. As restantes 2 horas de trabalho são fechadas a avarias às quais este pode ser chamado. Por fim, o programa elabora o relatório mensal de manutenções periódicas para cada técnico, com a identificação dos dias em que cada equipamento deve ser visitado, estando este devidamente caracterizado quanto à sua localização e tempo de manutenção previsto.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Tendo em conta, não só a conjuntura actual, mas também a procura constante pela inovação e introdução dos últimos desenvolvimentos nas tecnologias, as empresas em geral têm procurado adaptar a sua estrutura e forma de actuar de acordo com a prossecução dos seus objectivos já estabelecidos. A Schmitt+Sohn Elevadores, na procura constante pela melhor qualidade dos seus equipamentos e serviços, baseada nas políticas de redução de desperdícios, para além das alterações feitas à sua cadeia de produção, logística e armazéns procurou igualmente reduzir os gastos dos seus técnicos de manutenção, tentando, para esse efeito, otimizar as rotas que estes fazem nas deslocações efectuadas ao longo do mês e em cada dia útil aos diferentes equipamentos que possuam contracto activo com a mesma. Assim, o serviço poderá ser realizado com a mesma qualidade, mas, possivelmente, o mesmo técnico poderá ter afectos a si mais equipamentos do que os que possuía antes da implementação da solução aqui proposta, fazendo com que se consiga fazer cada vez mais em termos de manutenções com os mesmos recursos. Por outro lado consegue melhorar-se a distribuição de equipamentos pelos técnicos, quer se tratem de elevadores, escadas rolantes ou qualquer outro tipo de ascensor.

1.2. OBJECTIVOS

O objectivo principal deste trabalho é desenvolver um algoritmo de optimização que produza a rota mensal de manutenções de um determinado técnico, com base na sua carteira de equipamentos. Desta constam todas as rotas diárias a realizar pelo técnico, no sentido de completar as suas verificações periódicas e preventivas aos pontos contratados à empresa Schmitt, que correspondem à carteira de encargos do técnico respectivo. Para isso o algoritmo terá que automaticamente obter os dados dos equipamentos do técnico para o qual se pretende elaborar a lista de manutenções diárias, que no seu conjunto formam a rota total mensal. Para além do referido, o programa obtém as distâncias e tempos entre cada par de pontos, para que depois possa decidir-se sobre quais os pontos a utilizar, de acordo com as heurísticas desenvolvidas, no sentido de completar cada uma das rotas diárias envolvidas no problema. Pretende-se que cada uma destas rotas diárias seja constituída por pontos que façam com que a sua duração esteja o mais próxima possível das 6 horas e que as deslocações efectuadas entre pontos sejam as menores possíveis. No final, apresenta-se a melhor solução encontrada num relatório elaborado automaticamente

empresa onde este projecto teve lugar, assim como o problema estudado. Particular atenção é dada à distinção entre manutenções preventivas e correctivas realizadas pelos técnicos. As primeiras são as que requerem maior atenção e as especialmente abordadas neste trabalho, uma vez que é nestas que é possível planear a forma como são realizadas. Pretende-se que este planeamento seja optimizado. Nesta secção discutem-se as diferenças com a solução anteriormente utilizada pela empresa, apresentando-se os defeitos principais que levaram à proposta do trabalho aqui descrito. Na secção 3 apresenta-se um Estado da Arte relativo aos problemas que envolvem a escolha do melhor percurso a efectuar para visitar um dado número de pontos, abordando não só os problemas do Caixeiro Viajante e de rotas de veículos, como as metodologias mais relevantes utilizadas para os resolver. Na penúltima secção, é descrito o programa desenvolvido para dar resposta ao problema da empresa, desde a obtenção de todos os dados envolvidos e necessários ao algoritmo, até ao desenvolvimento do relatório utilizado pelo técnico de manutenção. É também nesta secção que se apresentam os resultados obtidos, sendo feita a comparação entre estes e os que eram alcançados com a solução utilizada até ao momento da implementação deste *software*. Por fim, na secção 5, são tecidas as principais conclusões e perspectivados futuros desenvolvimentos.

2. SCHMITT+SOHN ELEVADORES – A EMPRESA E O PROBLEMA

A Schmitt+Sohn Elevadores é uma empresa com sede na Alemanha, com origem no ano de 1861, que é especializada na área de elevadores e outros equipamentos de ascensão. Para além da sua sede na Alemanha possui ainda outros centros de fabrico, entre os quais um em Portugal na zona do Porto, fundado no ano de 1963, onde o presente projecto foi desenvolvido. Trata-se da única empresa de elevadores em Portugal a fazer o fabrico completo de ascensores, sendo este um dos factores de diferenciação face à concorrência neste país. Para além do descrito, a Schmitt é reconhecida pelos seguintes valores, os quais cumprem também o papel como missão: aprendizagem diária, qualidade e seriedade empresarial. Assim, na procura constante pela melhoria e excelência na sua área de actividade, surge a necessidade da optimização das rotas dos seus técnicos de manutenção responsáveis por realizar as verificações periódicas planeadas nos equipamentos que fazem parte da sua carteira [32].

Na empresa, para além de outros membros da hierarquia, existem posições que são importantes de referir até atingir os técnicos aos quais se presta mais atenção neste

trabalho. Esta pequena parte da hierarquia encontra-se caracterizada na Figura 1, sendo esta essencialmente constituída, de forma simplificada, pelo Chefe de Departamento de Serviço Após Venda (SAV), responsável por todas as zonas consideradas no país. Em cada zona existe um determinado número de Chefes SAV que, por sua vez, estão encarregues por um certo número de Técnicos de Manutenção. É sobre estes últimos que irá recair maior atenção, uma vez que a preocupação e motivação deste trabalho estão directamente relacionadas com as deslocações efectuadas pelos mesmos no exercício da sua actividade.

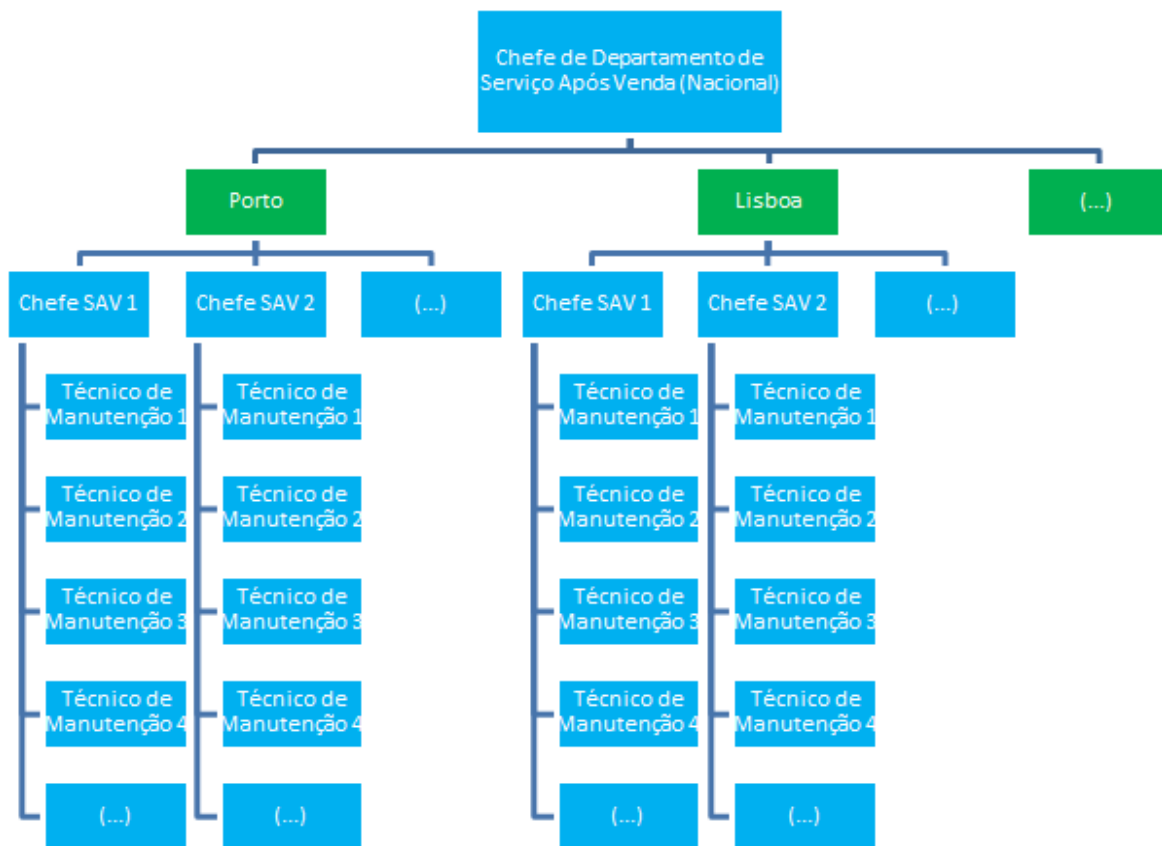


Figura 1 Parte da hierarquia do Serviço Após Venda (SAV).

Na Figura 1, verifica-se que os vários grupos de técnicos de manutenção estão associados a um determinado Chefe SAV que, por sua vez, pertencem a uma determinada zona do país. As várias zonas são supervisionadas pelo Chefe de Departamento SAV (Nacional).

Nas secções que se seguem faz-se uma descrição breve sobre os diferentes tipos de manutenções realizadas pelos técnicos de serviço após-venda.

2.1. MANUTENÇÕES PLANEADAS E NÃO PLANEADAS

Nesta subsecção pretende fazer-se uma pequena abordagem ao tipo de manutenções existentes na empresa, directamente relacionadas com as rotas a otimizar neste trabalho.

2.1.1. MANUTENÇÕES CORRECTIVAS

As manutenções correctivas ou não planeadas, muitas vezes chamadas tipicamente de avarias, são situações imprevistas em que um determinado equipamento sofre uma dada anomalia sem que se pudesse prever que a situação viesse a acontecer. Quando ocorre uma avaria, o técnico responsável pelo equipamento respectivo tem que se deslocar ao local para realizar a devida intervenção de correcção ao aparelho, identificando qual o problema e resolvendo-o se possível. O técnico só é chamado ao local durante o seu horário de trabalho. Caso a anomalia ocorra fora desse intervalo de tempo é chamado o piquete que se encarrega de resolver o problema.

No dia-a-dia, são associadas ao técnico 2 horas das 8 do seu dia de trabalho para que este dê resposta na eventualidade de ser chamado a algum caso de avaria. No entanto este tempo pode em algum dia não ser totalmente utilizado, não chegar sequer a ocorrer nenhum problema ou até ser ultrapassado, no caso de ocorrerem inevitavelmente várias solicitações não planeadas no mesmo dia.

2.1.2. MANUTENÇÕES PREVENTIVAS

As manutenções preventivas ou planeadas correspondem às manutenções sobre as quais irá recair maior atenção neste trabalho. Estando elas definidas para que sejam realizadas em determinada altura é possível estudar a melhor forma de as dispôr para assim encontrar as melhores rotas de percurso diárias que permitem visitar todos os equipamentos que façam parte da carteira do técnico. Para estas manutenções, o responsável tem disponíveis 6 horas do seu horário de trabalho, nas quais podem ser distribuídos os equipamentos envolvidos. Pretende-se que a distribuição realizada pelas várias rotas diárias do mês seja feita de forma que todos os equipamentos sejam visitados até ao final do mês no menor período de tempo.

Cada uma das manutenções preventivas realizadas tem um tempo específico dependente de cada equipamento, estando este directamente relacionado com as máquinas utilizadas, o

quão recente os equipamentos são, o tamanho inerente, a utilização que lhe está afectada pelos utilizadores directos, número de pisos, acessos, etc. O tempo necessário à verificação total de cada equipamento é definido pelo técnico em conjunto com o respectivo Chefe SAV.

Como se pôde verificar através do acompanhamento de dois técnicos distintos ao longo de uma das suas rotas diárias, este tipo de manutenções prende-se essencialmente com a limpeza do equipamento, funcionamento do intercomunicador e alarme em caso de emergência, abertura e fecho correcto das portas, estado dos cabos e dos detectores de velocidade, verificação das baterias, relés, análise do registo de avarias, etc.

2.2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Nesta subsecção descreve-se o problema e a solução utilizada pelos técnicos e chefes de serviço após venda antes da implementação do *software* de optimização.

2.2.1. SOLUÇÃO ANTERIOR

Até ao momento da elaboração do presente projecto, os responsáveis pelas verificações periódicas realizavam as suas rotas de manutenção com base no conhecimento que já possuíam da sua carteira de equipamentos ou fazendo uso de uma rota que era estabelecida através do consentimento entre o técnico respectivo e o seu chefe SAV. Assim, do programa *Navision* (*Software* de gestão dos activos da empresa, permitindo a consulta de todos os equipamentos contratados à empresa) retirava-se uma lista dos equipamentos que constituíam a carteira do técnico respectivo, tendo esta um aspecto semelhante à apresentada no Anexo A. Na elaboração desta lista não existia qualquer critério para os equipamentos se apresentarem na sequência observada, sendo que a lista servia apenas de guia para assinalar os pontos já visitados. No entanto, através da lista, foi possível criar uma série de rotas diárias, de forma idêntica à apresentada no Anexo B, tendo estas sido criadas com os conhecimentos do técnico e do seu respectivo chefe SAV, procurando utilizar os pontos mais próximos nas mesmas rotas. Ainda assim, esta solução não era das melhores, apresentando bastantes falhas e deslocações bastante significativas que provocavam o agravamento da solução final total da rota mensal do responsável.

Constata-se que a solução apresentada e que era utilizada pela empresa resultava em gastos que podiam ser diminuídos, visto que as rotas podiam ser optimizadas.

Existem alguns aspectos e restrições envolvidas na solução apresentada pela Schmitt+Sohn Elevadores que têm importante relevância. Pode começar-se por fazer referência ao limite do tempo disponível para o técnico realizar manutenções de cariz preventivo. Sendo que em cada dia o técnico tem ao seu dispor 8 horas de trabalho, encontra-se definido como política da empresa que todos os técnicos utilizem apenas 6 dessas horas para realizar manutenções preventivas. Ou seja, para cumprir a rota que lhe é estipulada para aquele dia, ficando as restantes duas horas a critério do técnico segundo determinadas prioridades:

- ser chamado a uma avaria ou manutenção correctiva;
- quando não existem avarias, cumprir manutenções preventivas em atraso;
- quando não existem avarias nem manutenções em atraso, cumprir com manutenções preventivas em avanço, se assim entender (uma vez que pode utilizar o tempo “livre” dessas horas para realizar outro tipo de manutenções ou verificações em equipamentos).

Existem ainda alguns pormenores que não são contabilizados na obtenção das rotas para os diferentes técnicos. Alguns desses aspectos estão directamente ligados com deslocações que o técnico faz, cujo tempo não é considerado na rota final. Entre estes incluem-se:

- todas as deslocações que o técnico faz em cada dia desde o seu local de residência até ao primeiro ponto determinado como ponto de partida no dia respectivo e também no sentido inverso;
- todas as deslocações que o técnico faz em cada dia no final do turno da manhã desde o último ponto visitado até ao local onde almoça, bem como desse local até ao primeiro ponto que tem que visitar no início do turno da tarde.

Existe ainda uma outra questão relacionada com a afectação das manutenções preventivas e correctivas aos diferentes responsáveis, que está directamente relacionada com a política da empresa. Esta pretende que todos os seus técnicos de equipamentos passem por ambos os tipos de manutenção, para que exista uma liberdade polivalente de atribuição de tarefas a esses técnicos, assim como não deixar perder a possibilidade de evoluir em ambas as áreas.

Apesar do número de horas afectas em cada dia para manutenções preventivas estar limitado às seis horas já anteriormente referidas, não é posta de parte a possibilidade desse tempo total para determinado dia não poder ser menor ou até ser ultrapassado, desde que esses valores não sejam demasiado baixos ou altos, respectivamente.

Mantendo-se as restrições de apenas 6 horas diárias disponíveis para realizar manutenções preventivas, pretende-se que a distribuição de equipamentos pelas diferentes rotas que constituem a rota mensal seja realizada da melhor forma, para que o tempo estipulado seja cumprido e que se minimize os tempos de deslocações, para que o técnico possa dedicar tanto tempo quanto for possível às verificações preventivas. Ainda assim, as 2 horas caracterizadas por serem destinadas às avarias continuam em vigor, pelo que se o técnico for chamado, o mesmo tem que se deslocar ao local para realizar a correcção da anomalia, se conseguir, e só depois pode voltar à rota construída com manutenções preventivas. Diz-se “se conseguir”, visto que pode ocorrer algum problema mais grave que o técnico não seja capaz de resolver, pelo que nesse tipo de situações existem outras equipas especializadas que são chamadas para resolver o caso.

3. ESTADO DA ARTE

Nesta secção é feita uma revisão da literatura associada ao Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e ao Problema de Roteamento de Veículos (PRV), que de forma geral diferem essencialmente na restrição que existe quanto à capacidade dos veículos no último problema referido. São apresentadas diferentes metodologias para a resolução dos problemas referidos e mencionadas soluções informáticas existentes no mercado para resolver este tipo de problemas.

Exemplos de casos de aplicação do problema do caixeiro viajante e rotas podem ser encontrados nas mais diversas áreas: Electrónica, Logística, Redes de Comunicação, etc. Nesse sentido, apresentam-se de seguida alguns casos dessa utilização.

1. Placas de circuito impresso – Esta é uma das aplicações mais comuns do problema do caixeiro viajante, procurando-se aplicar o caminho mais curto possível para percorrer todos os pontos que necessitam de perfuração, sendo que apenas se pode passar por cada um deles apenas vez. Um exemplo desse tipo de placas é apresentado na Figura 2.



Figura 2 Exemplo de placa de circuito impresso [22].

2. Roteamento de veículos – Este é um problema muito comum em empresas transportadoras, como DHL, TNT, CTT, etc. Procura-se que as encomendas ou cartas sejam distribuídas pelos respectivos clientes realizando o percurso mais curto possível, tendo em conta que só se deve passar por cada um dos pontos necessários uma vez e regressando ao ponto de partida no final da tarefa. A particularidade deste problema na grande maioria das vezes é existir mais do que uma pessoa para visitar os diferentes pontos, pelo que serão criadas rotas distintas, com pontos distintos, sendo que o objectivo não é só minimizar distâncias, mas também utilizar o menor número de trabalhadores para realizar essas visitas.
3. Planeamento de equipas de trabalho – Esta situação é muito comum, por exemplo em armazéns, procurando-se que cada um dos trabalhadores tenha a sua tarefa bem definida e ao necessitar de fazer o “picking” de determinadas ferramentas ou objectos realize o percurso mais curto para as recolher. O mesmo pode acontecer e ser aplicado a um processo de fabrico, em que se pretende que uma peça faça o menor percurso possível, passando pelas diferentes estações.

Existem no mercado *softwares* que permitem a resolução de problemas com as características referidas, sendo um dos mais conhecidos e o qual produz melhores resultados o *Concorde* [23], especialmente direccionado para obter as soluções de problemas TSP (*Traveling Salesman Problem*). Outros *softwares* existentes e mais conhecidos além do anterior, para o mesmo tipo de problemas, mas nem todos sendo de utilização livre como o anterior, são: TSPSG – *TSP Solver and Generator* [79], *DynOpt* [21], *OpenOpt* [57], *TSPGA* [4]. Nas mesmas condições que os *softwares* anteriores, mas direccionados para os problemas de *Vehicle Routing* existem os seguintes programas: *OptaPlanner* [81], *MJC2 Free Vehicle Routing Problem* [86], o *Routyn* [78], *Axiadis* [9],

bem como o software disponibilizado pela *Route Solutions* [77]. Os três últimos embora sejam direccionados para problemas de roteamento de veículos, podem ser adaptados para a sua aplicação na resolução de problemas TSP.

3.1. O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE E O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Nesta subsecção apresentam-se variantes do TSP (*Traveling Salesman Problem*) e do VRP (*Vehicle Routing Problem*), bem como diferentes abordagens para a resolução das mesmas. Começa por se descrever formalmente o TSP e por se apresentar um modelo de programação matemática para o mesmo. Segue-se o VRP, fazendo-se também uma apresentação formal do mesmo, bem como as respectivas características. Posteriormente são apresentadas algumas das diferentes abordagens utilizadas para a resolução deste tipo de problemas, incluindo referências a trabalhos que utilizaram cada uma dessas metodologias.

O problema do Caixeiro Viajante ou *Traveling Salesman Problem* pode ser descrito da seguinte forma: dado um conjunto de pontos a visitar, todos eles ligados entre si, formando um grafo¹, pretende-se definir a ordem pela qual os pontos devem ser visitados, de modo que o percurso efectuado seja o menor possível, se passe por cada um dos pontos uma única vez e se regresse ao ponto de partida.

Considerando um grafo completo como o conjunto formado por todos os pontos que necessitam de ser visitados e por todas as ligações possíveis entre cada par de pontos, o problema pode ser descrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{TSP} = \{ (G, f, t) : & \quad G = (V, E) \text{ um grafo completo,} \\ & \quad V \text{ é o conjunto de vértices que constituem o problema,} \\ & \quad E \text{ é o conjunto de ligações possíveis entre pares de vértices,} \\ & \quad f \text{ é uma função } V \times V \rightarrow Z, \\ & \quad t \in Z, \text{ é uma solução possível do problema.} \end{aligned}$$

¹ Grafo é o que se chama ao conjunto formado pelo grupo de pontos, denominados neste caso por vértices, e por todas as ligações existentes entre estes. Estas ligações são chamadas de arestas.

O problema pode ser representado em Programação Matemática usando as seguintes variáveis de decisão:

$$- x_{ij} \quad \begin{cases} 1 & \text{se o arco } (i, j) \text{ faz parte do percurso,} \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$$

Minimizar

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij}, \quad i \neq j$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m; i \neq j$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m; i \neq j$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad (i, j) \in E$$

$$\sum_{(i, j) \in E(S)} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad (S \subseteq V \setminus \{1\})$$

Sabendo que:

- i e j identificam o índice do respectivo vértice;
- c_{ij} indica o custo da inclusão da aresta (i,j) na rota;
- m corresponde ao número de vértices existentes no grafo;
- T é a função objectivo, indicando o tempo final da solução;
- V é o conjunto de vértices do problema;
- E é o conjunto de arcos entre cada par de pontos, tal que $E = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$;
- S é uma subrota com vértices contidos em V.

As primeiras duas restrições apresentadas obrigam a que cada um dos pontos seja visitado apenas uma vez. Tratam-se, por isso, de restrições de grau. A terceira restrição corresponde à restrição de integralidade. A quarta e última restrição é responsável pelo controlo da eliminação de subrotas no problema.

O problema pode ser dividido em simétrico ou assimétrico. No caso do problema simétrico o custo de percorrer uma ligação mantém-se, independentemente do sentido considerado. Para os problemas assimétricos o custo depende do sentido em que se percorre a ligação. O facto dos custos serem diferentes pode dever-se a múltiplas razões. Pode acontecer que o percurso efectuado num dos sentidos tenha de ser diferente do que é realizado no sentido inverso, porque as estradas são de sentido único, há cortes de via, etc [5][26].

Em 1972, foi demonstrado pelo cientista Richard M. Karp que os problemas que envolvam ciclos Hamiltonianos são NP-completos. Daqui se conclui que o problema TSP é NP completo [68][69].

Com a passar dos tempos, com a constante evolução das tecnologias e do conhecimento das ferramentas correctas os métodos para solucionar o problema TSP tornaram-se cada vez mais sofisticados, possibilitando a resolução de problemas com dimensão cada vez maior. Alguns marcos na história são importantes de apresentar, uma vez que comprovam a evolução quanto às soluções e métodos existentes para resolver este tipo de problemas, bem como o alcance no que diz respeito ao tamanho dos problemas que foram sendo resolvidos. Desta forma referem-se na Tabela 2, os principais trabalhos com a identificação do tamanho máximo do problema resolvido em termos de número de cidades envolvidas, os autores da resolução desse problema e o ano em que o mesmo teve lugar.

Tabela 2 Tabela de milestones do TSP [24].

Ano	Equipa de Investigação	Metodologia	Tamanho	Referência
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson e S. Johnson	Inserção mínima	49 cidades	[25]
1962	Proctor, Gamble e G. Thompson	Enumeração	33 cidades	[65]
1971	M. Held e R.M. Karp	Branch-and-Bound	64 cidades	[44]
1975	P. M. Camerini, L. Fratta e F. Maffioli	Branch-and-Bound	67 cidades	[4]
1977	M. Grötschel	Abordagem por plano de cortes	120 cidades	[4]
1980	H. Crowder e M.W. Padberg	Abordagem por plano de cortes	318 cidades	[42]
1987	M. Padberg e G. Rinaldi	Branch-and-Cut	532 cidades	[75]
1987	M. Grötschel e O. Holland	Abordagem por plano de cortes	666 cidades	[75]
1987	M. Padberg e G. Rinaldi	Branch-and-Cut	2392 cidades	[75]
1994	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal e W. Cook	Branch-and-Cut	7397 cidades	[6]
1998	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal e W. Cook	Branch-and-Cut	13509 cidades	[6]
2001	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal e W. Cook	Concorde	15112 cidades	[4]
2004	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook e K. Helsgaun	Concorde	24978 cidades	[4]
2006	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, D. Espinoza, M. Goycoolea e K. Helsgaun	Concorde	85900 cidades	[4]

O Problema de Roteamento de Veículos ou *Vehicle Routing Problem* é caracterizado por existir um conjunto de veículos idênticos, que podem ou não ter capacidades iguais. Pretendem-se obter as rotas ótimas para cada um desses veículos por forma a fornecer os clientes com os respectivos pedidos.

O problema pode ser representado em Programação Matemática do seguinte modo:

Variáveis de decisão:

- x_{ij} $\begin{cases} 1 \text{ se o nó } i \text{ precede imediatamente o nó } j \text{ na rota} \\ 0 \text{ se não} \end{cases}$
- y_{ij} $\begin{cases} 1 \text{ se os nós } i \text{ e } j \text{ são visitados pelos mesmo veículo} \\ 0 \text{ se não} \end{cases}$
- w_i $\begin{cases} 1 \text{ se o nó } i \text{ é o primeiro a ser visitado na rota} \\ 0 \text{ se não} \end{cases}$
- z_i $\begin{cases} 1 \text{ se o nó } i \text{ é o último a ser visitado na rota} \\ 0 \text{ se não} \end{cases}$

Parâmetros de entrada:

- D_i é a solicitação feita pelo nó i ;
- L_{ij} é o caminho mais curto entre os nós i e j ;
- S_i é o caminho mais curto entre o nó i e o depósito ou ponto inicial;
- N é o conjunto de todos os nós sem contar com o depósito $N = \{1, 2, \dots, m\}$;
- m é o número de vértices existentes no problema;
- C é a capacidade que possui cada veículo;
- V_k^{min} é um limite inferior no número de veículos requeridos para satisfazer

todos os pontos do problema $\{k, \dots, m\}$.

Minimizar

$$\sum_{i=1}^m S_i(w_i + z_i) + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m L_{ij}.x_{ij}$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$D_i + \sum_{j=i+1}^m D_j.y_{ij} \leq C \quad \forall i \in N$$

$$y_{ij} + y_{jk} - y_{ik} \leq 1 \quad \forall i, j, k \in N : i < j < k$$

$$\begin{array}{ll}
x_{ij} - y_{ij} \leq 0 & \forall i, j \in N \\
w_j + \sum_{i=1}^{j-1} x_{ij} = 1 & \forall j \in N \\
z_i + \sum_{j=i+1}^m x_{ij} = 1 & \forall i \in N \\
w_i, x_{ij}, y_{ij}, z_i \in \{0,1\} & \forall i, j \in N : i < j
\end{array}$$

A primeira restrição apresentada é responsável pelo controlo da capacidade máxima que o veículo suporta ou pode transportar. A restrição seguinte coloca no mesmo veículo certos pontos. Isto é, se os pontos i e j se encontram na lista de visitas de um veículo, e se o mesmo se verificar com os pontos j e k , conclui-se que os pontos i e k são também visitados pelo mesmo veículo. A terceira restrição garante que o nó i não pode preceder o nó j , a não ser que ambos sejam visitados pelo mesmo veículo. As duas restrições seguintes são responsáveis por bloquear a visita a um ponto por mais que um veículo. E por último, a sexta restrição implica que todas as variáveis sejam binárias.

Este tipo de problemas pode também ser distinguido como simétrico ou assimétrico, pelas mesmas razões descritas para o TSP, bem como existirem diferentes capacidades e custos para cada um dos veículos envolvidos no problema de elaboração das rotas.

O problema VRP pode ser considerado como um conjunto de vários problemas TSP, incluindo restrições quanto à capacidade em cada veículo envolvido no problema. Uma vez que no caso concreto da Schmitt, cada ponto que o técnico tem que visitar para realizar as manutenções preventivas possui uma determinada necessidade, que neste caso corresponde ao tempo ponderado para a realização das verificações pelo técnico, este será um parâmetro que entrará nas contas da capacidade do “veículo”. Assim sendo, a capacidade de cada um dos veículos, neste caso o tempo disponível de trabalho do técnico de manutenção, ronda as seis horas. Este será o tempo disponível em capacidade para ser preenchido pela rota definida em conjunto com as solicitações por cada cliente [5].

Desta forma, a solução final desenvolvida para o problema apresentado pela Schmitt contempla características de cada um dos casos anteriores referidos. Ainda que o relatório de manutenções seja criado individualmente para cada um dos técnicos e os seus respectivos equipamentos, estes últimos foram anteriormente distribuídos, pelo que cada técnico possui uma carteira de pontos a visitar previamente definida.

3.2. ABORDAGENS EXACTAS

As abordagens exactas são caracterizadas por se encontrar sempre a melhor solução possível ainda que essa possa não ser obtida de forma eficiente, isto é, poder demorar muito tempo a obter o resultado ou mesmo não obter. Os problemas que podem ser resolvidos de forma razoável por este tipo de metodologias não pode ter um número de cidades superior a 500, sob pena de se tornar não resolúvel em tempo útil [5].

Alguns exemplos de abordagens exactas usadas na resolução de problemas do tipo TSP são: *Branch-and-Bound*, *Branch-and-Cut*, Algoritmo Simplex, entre outros [5][26][68].

3.2.1. ALGORITMOS EXACTOS PARA O TSP SIMÉTRICO

Como já foi referido, os problemas simétricos são assim denominados devido às distâncias ou pesos entre dois pontos distintos num e noutro sentido serem os mesmos. Estes são provavelmente os problemas mais simples ou pelo menos os que exigem menor “esforço” dos três que aqui são referenciados: problema simétrico, assimétrico e múltiplo.

O algoritmo de *branch-and-bound* é dos mais utilizados na resolução de problemas TSP quando se pretende obter uma solução exacta, assim como as suas variantes e adaptações (exemplo: *branch-and-cut*²), pelo que aqui se descreve brevemente em que consiste esse mesmo algoritmo. Este é válido para qualquer dos três tipos de TSP's aqui abordados.

Nesta abordagem, todas as soluções se encontram descritas ao longo de uma árvore, com raiz, onde se escolhe o ponto de partida, ramificações, de cada vez que se escolhe um ponto seguinte, e as folhas, que no fundo correspondem a possíveis soluções. À medida que estas soluções vão sendo encontradas possibilita-se a delimitação do intervalo em que a solução óptima se encontra. O limite inferior corresponderá à melhor solução encontrada até ao momento, que é actualizado de cada vez que uma melhor solução for encontrada, enquanto que o limite superior depende das anteriores soluções encontradas até ao

² Ambos são caracterizados por se ir ramificando o problema à medida que se encontram as soluções, viabilizando umas e descartando outras tendo em conta os limites inferior e superior para a solução óptima. No caso dos cortes, no segundo método, tudo é realizado de igual forma ao primeiro, mas à medida que se seguem as soluções vão-se fazendo cortes para que não se percorra uma ramificação que se sabe à partida que não criará uma solução melhor do que a que se possui até ao momento [14][75].

momento, neste caso sendo a segunda melhor solução encontrada para o problema. No caso da soma do percurso efectuado desde a raiz até ao presente ramo ser superior ao limite superior, este ramo é cortado (*bound*), uma vez que continuar com a sua resolução não iria ser melhor que a melhor solução já encontrada. Desta forma, possibilita-se ao utilizador antecipar a resolução do problema, uma vez que consegue concluir se um determinado ramo irá ou não produzir uma solução pior do que a melhor encontrada [5][26][68].

Trabalhos em que o algoritmo de *branch-and-bound/cut* foi usado na resolução do TSP ou VRP são, por exemplo, [14], [38], [83] e [95].

Todo este interesse em volta do problema do caixeiro viajante e todo o estudo aplicado e metodologias adaptadas levaram ao desenvolvimento do melhor solucionador do TSP simétrico: Concorde. Este encontra-se como *open source* em “www.tsp.gatech.edu” [5][23].

3.2.2. ALGORITMOS EXACTOS PARA O TSP ASSIMÉTRICO

Os problemas do caixeiro viajante assimétrico são assim conhecidos devido às distâncias ou pesos das deslocações entre dois pontos não serem os mesmos num e noutro sentido, devendo-se este facto, em casos reais, a estradas de sentido único, trânsito cortado, semáforos, etc. É esta característica que muitas vezes é responsável pelo aumento da complexidade dos problemas, uma vez que aumenta a probabilidade de se encontrarem resultados diferentes, dependendo da deslocação entre dois pontos ser feita num sentido ou no outro.

Uma das particularidades do problema do caixeiro viajante assimétrico é o facto de relaxando as restrições de eliminação de subrotas se obter um problema de afectação modificado (MAP – Modified Assignment Problem). O relaxamento linear deste problema possui sempre uma solução inteira e é fácil de resolver através de um algoritmo de afectação especializado [16][18][27]. Foram desenvolvidos vários algoritmos baseados no relaxamento dos problemas de afectação. Os mais conhecidos resultam de [19]; [20]; [30]; [33] e [63]. Estudos sobre estes algoritmos foram publicados por [10]; [60] e [33]. O algoritmo desenvolvido por [20] é caracterizado por proporcionar duas vantagens: rapidez e simplicidade. O algoritmo desenvolvido por [33] melhorava ligeiramente o algoritmo de [20], uma vez que melhorava a computação nos limites inferiores nos nós da árvore de pesquisa. O algoritmo de [20] funciona bastante bem para problemas em que o grafo foi gerado de forma aleatória. No entanto é comum falhar em algumas instâncias mais pequenas e estruturadas com menos de 100 pontos para visitar [33].

Para além dos referidos algoritmos, existe ainda a possível transformação de problemas TSP assimétricos em problemas simétricos com o dobro do número de vértices do primeiro [5][26][53][82].

3.2.3. ALGORITMOS EXACTOS PARA O TSP MÚLTIPLO/VARIADO

O problema do caixeiro viajante múltiplo (mTSP) é uma generalização do TSP que consiste em determinar um conjunto de rotas para “n” caixeiros viajantes, rotas essas que têm início e fim sempre no mesmo ponto. Pode ser considerado um relaxamento do problema de roteamento de veículos, retirando as restrições de capacidade.

A primeira abordagem directa ao problema do caixeiro viajante múltiplo, sem recorrer a transformações ou relaxamentos para o problema TSP original, deve-se a [61], os quais propuseram um algoritmo que se baseava no relaxamento das restrições do mTSP (PCVm), relacionadas com a eliminação de subrotas. Eles consideraram o problema como um problema múltiplo de caixeiro viajante ao qual está associado a cada vendedor um custo. O algoritmo proposto consiste em resolver o problema começando pelo relaxamento das restrições relacionadas com a eliminação de subrotas e em simultâneo verificar se alguma dessas restrições foi quebrada, de cada vez que uma solução inteira é obtida. [36] foram pioneiros no que diz respeito às primeiras tentativas de obtenção da solução óptima para problemas de larga escala do tipo TSP múltiplo e simétrico. O algoritmo desenvolvido basea-se no método de *branch-and-bound*, no qual os limites inferiores são obtidos através do relaxamento Langrangeano construído a partir do cálculo de uma árvore geradora mínima com restrições de grau, relacionadas, por exemplo, com o facto de cada ponto apenas poder ser visitado uma vez. Os resultados indicaram que o intervalo inteiro encontrado pela técnica de relaxamento Langrangeano diminui conforme o tamanho do problema aumenta e é zero para problemas com $n \geq 400$. Um outro algoritmo para soluções exactas foi proposto por [41]. Este era baseado no relaxamento *quasi-assignment* (QA), que é obtido a partir do relaxamento das restrições de eliminação de subrotas. O problema de quase-atribuição é resolúvel em tempo polinomial [5][26].

3.3. MÉTODOS HEURÍSTICOS

A dificuldade do TSP obriga ao desenvolvimento de heurísticas para que se consigam resolver (de forma não necessariamente óptima) instâncias a partir de uma dada dimensão em tempo útil.

Vários algoritmos foram desenvolvidos e heurísticas propostas, na procura de encontrar algo que possibilitasse os melhores resultados. As técnicas e métodos mais recentes permitem obter soluções de problemas de grandes dimensões (várias centenas de pontos) em tempos aceitáveis e viáveis, soluções essas que nos melhores casos se encontram próximas das respectivas soluções óptimas [5][26].

Alguns trabalhos onde as aproximações foram levadas a cabo na resolução do TSP são [12], [13] e [15].

As heurísticas seguintes servem principalmente para a resolução de problemas TSP simétricos. No entanto grande parte delas, mediante ajustes e adaptações apropriadas, permitem também a resolução de problemas assimétricos. Sendo o problema VRP equivalente ao problema TSP com as capacidades dos veículos, também estas abordagens são direccionadas para a sua resolução [26].

3.3.1. O LIMITE INFERIOR DE HELD-KARP

Uma das formas mais comuns de medir a qualidade das soluções das diferentes heurísticas para resolver o TSP, e que será várias vezes referenciada e utilizada ao longo das abordagens seguintes, é por comparação com o limite inferior de Held-Karp (HK) [52].

Esta solução é alcançada através do uso do método Simplex e de um algoritmo polinomial de separação de restrições. É relativamente rápida e fácil de calcular, o que ajuda quando se pretende obter um termo de comparação ou avaliação quanto a soluções obtidas por outras heurísticas ou metodologias, dada a sua consistência e qualidade dos seus resultados.

O limite inferior de HK é avaliado como um relaxamento de 1-árvore, onde uma 1-árvore num problema com “n” pontos é definida como um grafo conexo com vértices $1, 2, \dots, n$, consistindo numa árvore dos vértices $2, 3, \dots, n$ em conjunto com dois vértices conectados à cidade 1. A avaliação do limite inferior mencionado requer a computação de várias sequências de árvores mínimas do tipo 1-árvore. Uma 1-árvore mínima é a árvore geradora mínima nos vértices $2, 3, \dots, n$ em conjunto com as duas arestas mais curtas que unem o vértice 1 [60][85].

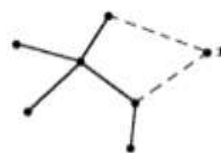


Figura 3 1-árvore mínima [85].

Desta forma, uma rota é basicamente uma 1-árvore onde cada um dos vértices tem grau 2, ou seja, duas arestas ligadas a cada vértice. Se uma 1-árvore mínima é uma rota, então é uma rota de custo mínimo [60][85].

Não é viável calcular a solução exacta para problemas de grande dimensão usando este método, pelo que Held e Karp propuseram um algoritmo iterativo para soluções aproximadas. Este envolve o processamento de várias árvores geradoras mínimas (cada uma exigindo $O(n \cdot \log_2(n))$). Esta versão iterativa consegue muitas vezes resultados que ficam a cerca de 0,01% do limite inferior óptimo de HK [73].

O limite inferior de HK em média é de cerca de 0.8% em relação ao comprimento da rota óptima [52]. No entanto, foi provado por [91] e por [80] que o resultado obtido com a heurística de HK nunca é menor do que $2/3$ do custo da rota óptima, desde que a desigualdade triangular³ seja satisfeita [85].

Trabalhos baseados no limite inferior de Held-Karp para a obtenção de soluções para o TSP são, por exemplo, [80], [85] e [90].

3.3.2. ABORDAGENS POR CONTRUÇÃO DE ROTAS

Todos os algoritmos relacionados com a construção de rotas têm como objectivo encontrar uma solução admissível. Isto é, procuram encontrar uma rota que passe por todos os pontos apenas uma vez e respeite todas as restrições do respectivo problema. A maioria das heurísticas de construção de rotas é de relativa rapidez de resolução, o que pode ser útil na obtenção de um possível limite superior para o problema, que em conjunto com o limite inferior de Held-Karp nos possibilita concluir se uma possível solução encontrada com outra heurística, ou noutras condições é aceitável ou não. Por outro lado, torna-se uma ferramenta útil para obter soluções admissíveis que posteriormente possam ser melhoradas com algoritmos desenvolvidos para tal função [5][26][39].

³ Qualquer troca que seja efectuada, por exemplo, se um atalho é introduzido na rota em detrimento de um vértice e respectivas arestas, esse atalho não pode ser maior do que a soma entre as duas arestas eliminadas [76].

Alguns trabalhos desenvolvidos com a aplicação da metodologia de construção de rotas para a resolução do TSP são [17], [39] e [54].

De seguida apresentam-se algumas das heurísticas mais comuns neste campo da construção de rotas.

3.3.2.1. Heurística do Vizinho Mais Próximo

A presente heurística é a aproximação mais comum ao TSP, sendo simples e de fácil compreensão.

Esta abordagem é relativamente semelhante ao algoritmo da árvore geradora mínima e pode ser descrito de uma forma simples e geral da seguinte forma:

- 1 – Seleccionar o ponto de onde se vai partir e marcá-lo como visitado.
- 2 – Procurar o próximo ponto não-visitado mais próximo do anterior.
- 3 – Visitar o ponto encontrado e marcá-lo como visitado.
- 4 – Existem pontos por visitar? Se sim, voltar ao passo 2, caso contrário prosseguir para o passo 5.
- 5 – Voltar ao primeiro ponto visitado.

A complexidade associada com esta heurística é de $O(n^2)$, implicando um crescimento quadrático do algoritmo consoante o tamanho da entrada “n” introduzida, sendo que “n” corresponde ao número de pontos presentes no grafo [5][26][73].

Este algoritmo apresenta duas características peculiares: a propriedade da escolha gulosa e a subestrutura óptima. A primeira deve-se essencialmente ao facto das escolhas do problema serem tomadas em cada instância sem qualquer cuidado em termos de solução final. Isto é, o algoritmo não reconsidera as suas decisões, isto porque as escolhas feitas apenas dependem de decisões já tomadas na procura de soluções intermédias anteriores e não de escolhas que serão feitas a posteriori. A sua segunda característica é-lhe conferida, uma vez que encontrando de cada vez o ponto mais próximo do último adicionado, o problema está a realizar uma escolha óptima segundo a heurística, naquele subproblema específico. Desta forma, a solução é constituída por subsoluções óptimas e, conseqüentemente, uma subestrutura óptima [26][73].

A solução final pode ficar bastante aquém da solução óptima, uma vez que no processo de escolher o vizinho mais próximo, vários pontos são deixados para trás, sendo inseridos

quando forem os únicos para ser escolhidos, sendo esta inserção possivelmente de elevados custos [5][26].

Com este algoritmo conseguem-se obter soluções que ficam a cerca de 25% do limite inferior de Held-Karp [51].

Trabalhos onde a heurística de vizinho mais próximo foi aplicada na resolução do TSP ou VRP são, por exemplo, [7], [29] e [47].

3.3.2.2. Heurística de Inserção

As heurísticas de inserção são igualmente fáceis de compreender, tal como as heurísticas descritas anteriormente, e existe um sem número de variantes das mesmas, nomeadamente no que diz respeito ao ponto de partida do problema. Através desta metodologia pode começar por se escolher, por exemplo, um pequeno ciclo triangular com três vértices distintos e a partir dessa solução fazer a introdução dos restantes vértices ainda não visitados na rota, naquela que se considerar a melhor posição para realizar a inserção [5][26][73].

Numa heurística de inserção, quer seja de inserção mais barata ou de inserção mais longa, existem três passos essenciais a definir antes de aplicar o algoritmo propriamente dito:

- Como construir a rota inicial, que como já foi referido pode começar, por exemplo, por um par de pontos apenas;
- Como escolher o próximo ponto que irá ser adicionado, que depende do objectivo do problema e da heurística definida para a escolha do mesmo; e
- Onde inserir o nó que foi escolhido/seleccionado.

Definidos os pontos anteriores, a aplicação do algoritmo que contempla a abordagem por heurística de inserção de menor custo ou de inserção mais próxima é simples e recai sobre os seguintes passos:

- 1 – Escolher o vértice inicial ou par de vértices iniciais, em que a aresta que liga este par é a de menor peso do problema.
- 2 – Seleccionar um vértice que ainda não se encontre na subrota construída até ao momento e que possua a menor distância a um dos vértices desta subrota.
- 3 – Determinar a aresta da subrota onde inserir o vértice seleccionado em 2, por forma a que a sua introdução entre os vértices dos extremos dessa aresta acarrete o menor custo possível ou uma menor penalização na solução final.

4 – A rota já inclui todos os vértices do grafo? Se não, voltar ao ponto 2. Se sim, terminar o algoritmo.

Tal como na heurística do vizinho mais próximo, também esta possui complexidade $O(n^2)$, implicando portanto um crescimento quadrático consoante o aumento da entrada atribuída para o valor de “n” – número de cidades do problema [43][73].

No caso dos problemas de inserção, a solução obtida pode variar muito em comparação com o limite inferior de Held-Karp, pelo que cada uma das soluções é comparada com esse limite individualmente e posteriormente conclui-se se é ou não uma boa solução. A razão pela qual o sucedido se verifica depende das variantes existentes da heurística de inserção, quer seja pela escolha do ponto ou pontos iniciais, quer pela escolha do próximo ponto a ser introduzido na subrota. De qualquer das formas não deixa de ser um bom ponto de partida para obter soluções, ainda que possam não ser as melhores, podendo sobre estas aplicar-se algoritmos de melhoramento [5][26][73].

Trabalhos cujas implementações se basearam na heurística de inserção para resolver o TSP ou VRP são, por exemplo, [10], [43] e [72].

3.3.2.3. Heurística de Christofides

De todas as heurísticas mencionadas nesta abordagem de construção de rotas, esta é provavelmente a heurística mais complexa, mas é também aquela que produz por norma os resultados mais interessantes, do ponto de vista da proximidade com a solução óptima.

A maioria das heurísticas é conhecida por ter uma razão de 2, em relação à solução óptima, ou seja, as soluções obtidas têm duas vezes o comprimento da solução que é conhecida como óptima. Com a intenção de melhorar estes resultados, Christofides levou a cabo um processo que consistia no melhoramento de um dos algoritmos já existentes na procura de obter soluções mais razoáveis. Para os problemas testados, Christofides concluiu que os resultados alcançados com o novo algoritmo possuíam razões que na pior das hipóteses eram de $3/2$ (em relação à solução óptima) [5][26][73].

O algoritmo original que Christofides utilizou como ponto de partida é conhecido como árvore geradora mínima dupla e é caracterizado pelos seguintes passos:

1 – Construir a árvore geradora mínima de todos os pontos que fazem parte do problema.

2 – Duplicar todas as arestas que unem pares de pontos no problema e assim construir um ciclo Euleriano⁴.

3 – Percorrer o ciclo criado, mas não visitar cada um dos pontos do grafo mais do que uma vez, seguindo por “atalhos” quando se encontrar um nó já visitado.

Este algoritmo do qual Christofides partiu possui como razão de pior cenário entre os resultados obtidos e a solução ótima o valor 2, sendo que a sua complexidade pode ser descrita pela fórmula $O((n^2) \cdot \log_2(n))$ [73].

O algoritmo foi melhorado numa segunda fase em que se adicionou um cálculo de correspondência de menor peso (MWM – *Minimum-Weight Matching*), correspondência essa que é caracterizada por se encontrarem as arestas de maior peso nos nós que apresentem grau ímpar até ao momento, ou seja, se encontrem nas periferias da rota. Assim, os passos desta heurística são os seguintes:

1 – Construir a árvore geradora mínima do grupo de todos os vértices do problema.

2 – Criar uma correspondência de menor peso (MWM) no grupo de vértices cujo grau é ímpar. De seguida adicionar a árvore geradora mínima com a correspondência de peso mínimo.

3 – Criar um ciclo de Euler do grafo combinado (MWM e MST – *Minimum Spanning Tree*) e atravessá-lo, fazendo uso de atalhos para evitar nós já visitados.

Neste algoritmo de Christofides a complexidade é de $O(n^3)$ [26][73].

Os testes provaram que o algoritmo de Christofides produz soluções que ficam a cerca de 10% do limite inferior de Held-Karp [26][73].

Trabalhos onde o algoritmo de Christofides foi usado na resolução do TSP ou VRP são, por exemplo, [35], [46] e [91].

⁴ Este tipo de ciclo é caracterizado por percorrer todo o grafo, iniciando o seu percurso em determinado vértice e terminando nesse mesmo vértice. Para o fazer, pode passar pelos diferentes vértices sem quaisquer restrições, mas utiliza todas as arestas que fazem parte das ligações entre pontos, sem que nenhuma dessas arestas seja percorrida mais do que uma vez.

3.3.3. MELHORIA DE ROTA

Ainda que na grande maioria das vezes as soluções obtidas para os problemas em que se usam heurísticas de construção de rotas não sejam as mais satisfatórias, elas produzem pontos de partida aos quais podem ser aplicadas outras heurísticas, neste caso de melhoramento de rota, que permitem, como o próprio nome indica, melhorar a solução que se possui até então. Desta forma, por muito má que seja a solução construída, esta pode sempre ser melhorada com recurso a determinadas heurísticas já existentes.

Assim, associadas a heurísticas de melhoramento de rotas surgem sempre procuras locais relacionadas com operações *2-opt* e *3-opt*, que procuram melhorar a rota em pontos específicos. Estas operações podem ser incorporadas em meta-heurísticas como o *Tabu Search* e *Simulated Annealing* [5][26][73].

3.3.3.1. 2-OPT e 3-OPT

A operação *2-opt* consiste na escolha aleatória de duas arestas do problema, quebrando essas ligações entre dois pares de vértices e testando a única opção possível de troca dessas ligações, de forma a que continue a existir um ciclo Hamiltoniano. No caso da troca produzir uma solução melhor do que a que existia antes, está criada uma nova solução melhorada, caso contrário, mantém-se a solução já existente e passa-se a outra troca. Este processo é realizado até que não seja possível melhorar mais a solução existente para o problema, isto é, até que não existam mais melhoramentos do tipo *2-opt* [1][26][73].

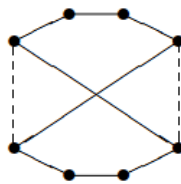


Figura 4 Exemplo do método *2-opt* [73].

Na Figura 4, a troca *2-opt* efectuada consistiu na substituição das arestas do octógono que se encontram representadas a tracejado, pelas linhas que unem os pontos extremos formando uma cruz.

Na pesquisa local *3-opt* o procedimento é idêntico ao que se realiza para o processo descrito anteriormente, mas desta feita escolhem-se 3 arestas aleatoriamente para serem removidas. Neste caso a possibilidade de escolha de solução é maior, no que diz respeito a

formar novamente um ciclo Hamiltoniano. Dois exemplos de soluções *3-opt* podem ser observadas nas figuras seguintes [1][26][73].

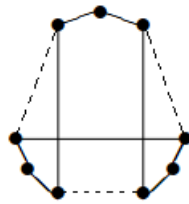


Figura 5 Exemplo de uma troca *3-opt* [73].

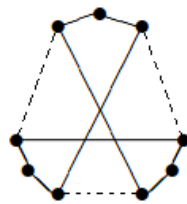


Figura 6 Exemplo de outra troca *3-opt* [73].

Na Figura 5 e Figura 6 encontram-se identificadas a tracejado as arestas que foram eliminadas da rota, sendo substituídas pelas segmentos de recta que unem os pontos extremos e se cruzam no centro da imagem.

Uma rota que seja *3-optimal*, ou seja, à qual tenha sido aplicada a técnica *3-opt* sem existirem mais possibilidades de a aplicar, é também considerada *2-optimal* [1][26][73].

No que diz respeito aos resultados finais obtidos após aplicação de uma e outra técnica, sabe-se que a primeira (*2-opt*) produz rotas cujo comprimento não excede em mais do que 5% o limite inferior de Held-Karp, enquanto que no caso do *3-opt* este valor não ascende a mais de 3%, partindo do princípio que se faz enumeração exaustiva [5][26][73].

Ambas as técnicas envolvem um elevado esforço computacional, no entanto esse esforço pode ser reduzido e o tempo de processamento encurtado recorrendo a determinados métodos, como restringir o número de testes que se faz para um determinado vértice, apenas escolhendo, por exemplo, as dez primeiras tentativas aleatórias que o programa encontrar e decidir qual delas utilizar.

Trabalhos onde se evidenciaram métodos baseados em *2-opt* e *3-opt* para a resolução do TSP são, por exemplo, [30] e [87]. A ideia pode ser generalizada para *k-opt*.

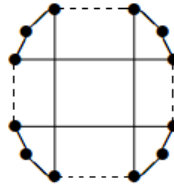


Figura 7 Exemplo de troca 4-opt [73].

3.3.3.2. Lin-Kernighan

Lin e Kernighan foram responsáveis por desenvolver um algoritmo que produz resultados na casa dos 2% acima do limite inferior de Held-Karp.

Basicamente o algoritmo faz uso de pesquisas locais do tipo *k-opt* para melhorar a solução existente. No entanto este decide qual o valor de *k* a utilizar em cada iteração do processo do algoritmo. Embora esta solução pareça satisfatória e concretizável, ela envolve uma enorme complexidade, bem como elevado esforço do ponto de vista computacional e tempo polinomial. Poucos conseguiram produzir melhoramentos neste algoritmo, quer do ponto de vista da eficiência, que era o problema mais crítico, quer do ponto de vista da eficácia [1][5][26][73].

A complexidade deste algoritmo é da ordem $O(n^2.2)$, tornando-o mais lento do que uma simples implementação do tipo *2-opt*. No entanto as suas soluções são muito melhores ao invés da simples pesquisa local de dois movimentos [1][5][26][73].

Trabalhos baseados no algoritmo de Lin-Kernighan para a resolução do TSP são [45], [55] e [66].

3.4. META-HEURÍSTICAS

Meta-heurísticas são métodos heurísticos utilizados para a resolução de forma generalizada de problemas de otimização, sendo aplicadas normalmente a problemas para os quais não se conhecem algoritmos eficientes.

Nesta sub-secção são apresentadas algumas meta-heurísticas relevantes para o tipo de problema apresentado pela Schmitt, entre as quais: *Tabu-Search*, *Simulated Annealing* e Algoritmos Genéticos.

Tabu-Search

Quando se aplica um algoritmo de pesquisa local, este procura encontrar um melhor vizinho para melhorar a solução. Desta forma, normalmente as melhorias implementadas são realizadas com movimentos do tipo *2-opt* e *3-opt*. O problema encontrado com este tipo de pesquisas é que não muito dificilmente pode encontrar-se um ótimo local que bloqueie o algoritmo, isto é, uma melhoria de solução que quando implementada produz o melhor resultado naquela iteração, mas se outra escolha tivesse sido tomada, embora pudesse não ser a que beneficiava mais o problema naquela altura, poderia conduzir a uma melhor solução global futura. Este problema particular pode ser resolvido através de uma *tabu-search* [1][26][51][73].

Basicamente um *tabu-search* possui uma lista dos maus movimentos que se traduzam em más trocas para a solução ou em movimentos proibidos. O *tabu-search* permite que sejam realizados movimentos que produzam ganhos negativos quando não é possível obter ganhos positivos, no entanto isto pode vir a provocar movimentos em círculo, uma vez que outro movimento pode contrabalançar o anterior. Isto é possível com a lista *tabu* que contém os movimentos desaconselhados referidos. Assim de cada vez que se realiza uma deslocação para um vizinho, esse movimento é colocado na lista *tabu* criada para que não volte a ser utilizado, a não ser que melhore a melhor rota até ao momento.

Existem várias formas de implementar uma lista *tabu*. Pode ser pela introdução das duas arestas que são eliminadas num movimento do tipo *2-opt*. Desta forma qualquer movimento que tente adicionar novamente qualquer das arestas eliminadas é considerado *tabu*. Outro método é colocar na lista a menor aresta eliminada num movimento do tipo *2-opt*, assim qualquer movimento que envolva essa aresta é considerado *tabu*. Outro método é colocar na lista os vértices extremos da aresta que foi eliminada, considerando *tabu* qualquer movimento que utilize esses pontos [1][51][73].

Trabalhos realizados para a resolução do TSP ou VRP aplicando *Tabu-Search* são, por exemplo, [8], [50] e [56].

Simulated Annealing

O *Simulated Annealing* (SA) é semelhante ao *Tabu Search*, sendo caracterizado por fazer uso de pesquisa local aleatória que permite implementar movimentos que produzem ganhos negativos.

Em [51] foi apresentado um pressuposto de implementação do SA para o TSP, usando movimentos do tipo *2-opt* para encontrar soluções vizinhas. Os resultados obtidos podem ser comparáveis com um algoritmo normal do tipo *2-opt*, sendo que melhores resultados podem ser obtidos se se aumentar o tempo de execução do mesmo, tendo sido provado que alterando essa característica as soluções podem ser discutidas em pé de igualdade com as que são obtidas através do algoritmo de Lin-Kernighan [1][51][73].

Devido à vizinhança do *2-opt*, esta implementação em particular tem como definição de tempo $O(n^2)$, uma razão quadrática em relação ao número de vértices a visitar. No entanto, para problemas de grandes dimensões é necessário implementar certos melhoramentos, assim como tornar este algoritmo competitivo com outros algoritmos de aproximação. Um exemplo de melhoramento é criar listas de vizinhança, tal como para os problemas acelerados de *2-opt* e *3-opt*, tornando o processamento mais rápido, uma vez que o número de vizinhos pode ser limitado. Esta lista incorporada em conjunto com outro tipo de melhoramentos podem levar este algoritmo a competir directamente com o algoritmo de Lin-Kernighan [1][51][73].

Exemplos de trabalhos realizados com recurso à metodologia de *Simulated Annealing* para a resolução do TSP ou VRP são [36], [49], [58] e [70].

Algoritmos Genéticos

Continuando na procura de caminhos de forma aleatória, chega-se ao conceito de Algoritmos Genéticos (AG). Estes têm uma certa semelhança com a forma como as coisas ocorrem na Natureza, uma vez que sobrevivem os melhores candidatos, num processo chamado de evolução ou selecção natural.

A evolução geralmente começa por um conjunto de indivíduos (ou população) gerada aleatoriamente, que no caso particular do problema TSP podem ser todos os vértices existentes. Trata-se de um processo iterativo, em que de cada vez que uma iteração é concluída, existe uma nova população a qual é apelidada de geração. Em cada geração a compatibilidade de cada um dos indivíduos é avaliada, sendo-lhe atribuído um valor, que costuma corresponder ao valor da função objectivo. Há medida que mais indivíduos compatíveis vão sendo seleccionados estocasticamente da população existente, são-lhes modificados os genomas (dados relacionados com questões hereditárias), sofrendo possíveis recombinações e mutações aleatórias, formando uma nova geração. A nova

geração de possíveis candidatos é usada na iteração seguinte do algoritmo. O algoritmo termina o seu processo quando um certo número de gerações for atingido ou um determinado nível satisfatório de compatibilidade for alcançado [1][5][26][73].

Aplicando este tipo de algoritmo ao TSP implica, como noutros problemas, a criação de uma rotina de *crossover*⁵, um medidor de compatibilidade e uma rotina de mutação. Um exemplo de bom medidor de compatibilidade é o próprio comprimento da rota construída.

Algumas implementações realizadas com os AG demonstraram bons resultados, ainda melhores do que o melhor obtido através do algoritmo de Lin-Kernighan com várias execuções. Mas tal como nos problemas do *Simulated Annealing* e *Tabu-Search*, o tempo de processamento continua a ser um sério inconveniente [1][5][26][73].

Trabalhos que fazem uso de algoritmos genéticos para resolver o problema do TSP ou VRP são, por exemplo, [3], [48], [63] e [88].

Outras meta-heurísticas consideradas são, por exemplo, a optimização pela visão de colónia de formigas, sendo que alguns trabalhos que se referem à resolução do TSP ou VRP através da aplicação desta metodologia são, por exemplo, [28], [84], [93] e [94].

⁵ Operador genético que permite a programação de um cromossoma ou cromossomas de uma geração para outra. Neste caso cada cromossoma corresponde a cada um dos indivíduos da população [2].

4. ALGORITMO DESENVOLVIDO E RESULTADOS OBTIDOS

Nesta secção são descritas as abordagens ponderadas e implementadas ao longo do trabalho para a definição mensal das rotas diárias para cada técnico. Faz-se ainda uma comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e a solução anteriormente implementada.

A secção está dividida em 3 partes: Obtenção de dados, metodologias e implementações, descrição do algoritmo final e comparação de resultados.

4.1. OBTENÇÃO DE DADOS, METODOLOGIAS E IMPLEMENTAÇÕES

Nesta sub-secção descrevem-se as metodologias implementadas, bem como as razões que levaram à escolha de uma em detrimento de outra. Apresentam-se ainda as escolhas de restrições quando à selecção de pontos iniciais e finais de uma rota, assim como os intervalos de fecho de rotas. Por fim tecem-se algumas observações quanto aos resultados obtidos com a solução criada e o método anteriormente utilizado.

4.1.1. ACTUALIZAÇÕES NA LISTA DE EQUIPAMENTOS

Na Schmitt é utilizado um programa intitulado *Navision*, actualmente *Microsoft Dynamics NAV*, que se trata de uma solução ERP (*Enterprise Resource Planning*) desenvolvida para pequenas ou médias empresas no sentido de automatizar a maioria das suas transacções desde o CRM (*Customer Relationship Management* – do português Gestão do Relacionamento com o Cliente) ao custeamento, encomendas, produção, distribuição e facturação do lado das vendas, à compra, recebimento, pagamento e registo de inventário do lado do fornecimento [89].

A solução enunciada permite, entre muitas outras funcionalidades, a apresentação de todos os dados relativos aos equipamentos contratados e aos respectivos técnicos responsáveis, dados esses que são os essenciais para o funcionamento do algoritmo desenvolvido. Este tipo de informações é obtido automaticamente através dos pedidos realizados pelos utilizadores, que consoante o filtro que criem, o Navision desenvolve o *query* que consulta as respectivas bases de dados, no sentido de criar a resposta solicitada.

Desta ferramenta constavam os dados relativos aos equipamentos com a particularidade de se apresentarem também as coordenadas de GPS (*Global Positioning System*) de cada um dos equipamentos presentes. Sendo esta uma informação necessária para o desenvolvimento do algoritmo de optimização, foi acrescentada ao sistema *Navision*. Foram criados dois campos referentes às coordenadas geográficas, latitude e longitude. Estes dois pontos encontram-se evidenciados com rectângulos a vermelho na Figura 8.

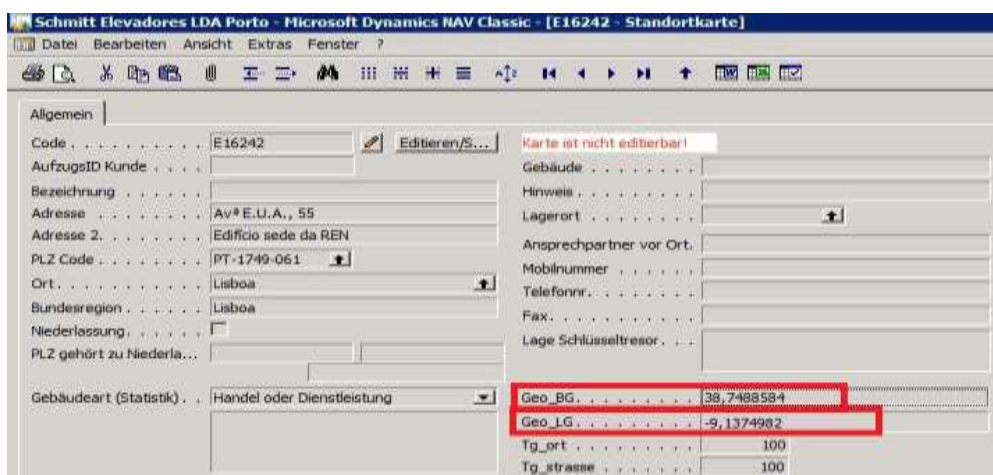


Figura 8 Dados em *Navision* sobre determinado equipamento.

Através da introdução destes campos, pretende-se a actualização dos mesmos em todos os equipamentos que se encontram no sistema.

Foi ponderada a hipótese de obter as coordenadas do local onde se encontrava o equipamento através do método de *Geocoding* disponibilizado pelo *Google Maps*, em que o utilizador introduz a morada e código-postal do ponto pretendido e como retorno da API (*Application Programming Interface* – do português Interface de Programação de Aplicações/Aplicativos) recebe as coordenadas geográficas do local respectivo. No entanto, apesar de se tratar de uma funcionalidade bastante poderosa, no caso concreto da obtenção das coordenadas do local que se procura não é a solução mais exacta, visto que não indica na perfeição o ponto onde se encontra o equipamento, muitas vezes com soluções que se encontram relativamente distantes do local pretendido, além de que os limites impostos pelas políticas da *Google* não eram suficientes para satisfazer todos os pedidos necessários para o problema.

Pelas razões apresentadas, os dados relativos às coordenadas geográficas tiveram que ser actualizados individualmente, para que não houvesse falhas posteriores aquando da execução do algoritmo. Foram ainda detectadas falhas em códigos-postais, campo que teve também que ser corrigido para cada equipamento, tendo em conta a sua importância para o funcionamento correcto do programa criado.

4.1.2. OBTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE UM TÉCNICO E RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS

O documento que havia sido disponibilizado inicialmente, em *Excel*, consistia apenas num aglomerado desactualizado de dados de vários equipamentos, contemplando também pontos que já não faziam parte da carteira de manutenções da Schmitt, bem como informações desnecessárias. Desta forma, foi necessário criar algo que de forma automática criasse a lista completa de equipamentos de um técnico, igualmente em formato *Excel*, para que o programa desenvolvido acesse ao mesmo para recolher as informações necessárias ao algoritmo. Assim, recorrendo a vários filtros no programa *Navision*, foi criado um “botão” que realizava a tarefa automática de reunir todos os dados necessários ao problema, dos equipamentos de determinado técnico que se socilitasse.

No final do novo menu criado, através da introdução do número do técnico de serviço pretendido são apresentadas as informações relativas aos dados dos equipamentos apenas

do técnico solicitado. Após o resultado ser disponibilizado está à disposição do utilizador a possibilidade de obter a lista dos equipamentos em documento *Excel*, documento esse que posteriormente o algoritmo vai utilizar para correr o seu programa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Nº Elevador	Morada	Localização - Código Postal/Cidade	Técnico de se	Nº Contratos Activos	Horas genéricas 1	Geo_BG	Geo_LG	Periodicidade
2	E10253	Rua Manuel Vieira Nunes Cruz,	PT-4475-669 Maia	201039	2	0.833333333	41,230321	-8,587582	1
3	E11559	R. Clotilde Femeira Cruz, 217	PT-4470-163 Maia	201039	1	0.833333333	41,237365	-8,62493	1
4	E11560	R. Clotilde Femeira Cruz, 239	PT-4470-163 Maia	201039	1	0.833333333	41,237299	-8,625263	1
5	E11561	R. Clotilde Femeira Cruz, 217	PT-4470-163 Maia	201039	1	0.833333333	41,237365	-8,62493	1
6	E11562	R. Clotilde Femeira Cruz, 239	PT-4470-163 Maia	201039	1	0.833333333	41,237299	-8,625263	1
7	E12642	Rua Banda Musica Moreira, 56	PT-4470-605 Maia	201039	1	0,75	41,250336	-8,649213	1
8	E14885	Travessa Serafim Cruz, 23	PT-4475-670 Maia	201039	1	0,75	41,259942	-8,615306	1
9	E15749	Rua da Paz - Hospital Privado	PT-4785-143 Coroa TRF	201039	2	0.833333333	41,344129	-8,549297	1
10	E16563	Rua Nova de Quirás, 206	PT-4475-712 Maia	201039	1	0.456666667	41,280836	-8,618953	1
11	E16801	Rua Ciasto, 996	PT-4475-026 Maia	201039	1	0.333333333	41,251046	-8,605617	1
12	E16936	Rua D. Pedro V,948	PT-4785-308 São Martinho Bougado	201039	1	1,166666667	41,334464	-8,561139	1
13	E16937	Rua D. Pedro V,948	PT-4785-308 São Martinho Bougado	201039	1	1,166666667	41,334464	-8,561139	1

Figura 9 Exemplo de lista de equipamentos de um técnico.

Na Figura 9 apresenta-se parte de uma lista dos equipamentos de um determinado técnico, a qual corresponde à utilizada pelo algoritmo final, com todas as características necessárias à resolução do problema de roteamento do técnico em questão: Número do elevador, Morada, Localização – Código-Postal, Identificação do Técnico de Serviço, Número de Contractos Activos, Tempo de Manutenção do Equipamento, Coordenadas Geográficas e Periodicidade. Esta última característica, embora esteja contemplada, não será utilizada ao longo do programa, visto que em Portugal as periodicidades de manutenção dos equipamentos são de um mês, ou seja, todos os meses necessitam de manutenção preventiva.

4.1.3. OBTENÇÃO DA MATRIZ DE DISTÂNCIAS E TEMPOS

O cálculo das distâncias e tempos de deslocamentos entre dois quaisquer pontos de intervenção foi obtido através das suas coordenadas GPS. A informação, disponibilizada pela empresa, foi inserida no Google, num pedido de direcções onde se introduziam os dados de localização do ponto de partida e do ponto de chegada para se obter a informação sobre a distância e tempo necessários para efectuar a deslocação entre esse par de pontos. Desta forma construía-se a matriz de distâncias e tempos englobando todas as deslocações que fossem possíveis de realizar com os pontos disponibilizados. Um pedido do tipo referenciado pode ser visualizado em exemplo na Figura 10.

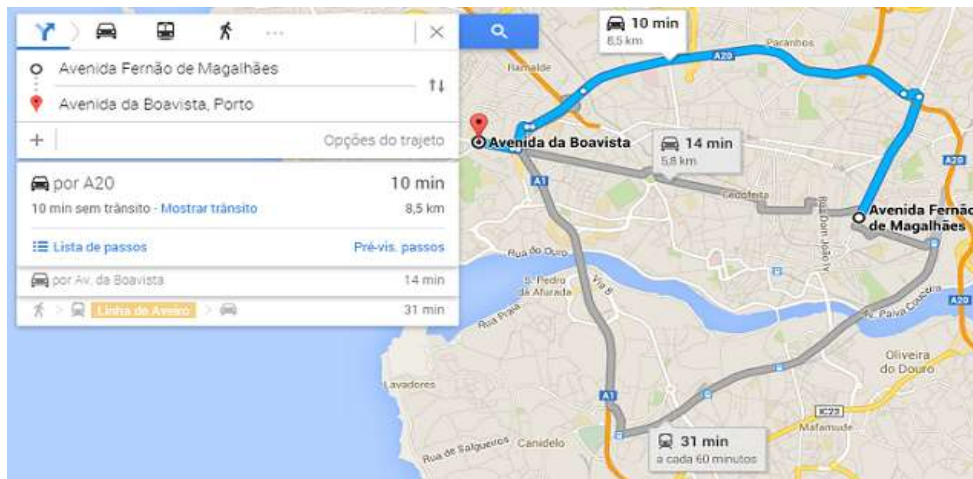


Figura 10 Exemplo de um pedido manual efectuado no Google Maps [40].

Numa fase inicial, em que os testes aplicados ainda eram realizados a um pequeno grupo de equipamentos, a obtenção da matriz de distâncias e tempos, que contempla todas as deslocações entre os possíveis pares de pontos disponíveis, foi realizada manualmente. Ou seja, cada pedido foi feito individualmente construindo assim a tabela que se pode visualizar na Figura 11, com recurso à plataforma do *GoogleMaps*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Matriz de distâncias																	
2	Técnico 200078																	
3	Porto																	
4																		
5			VN100071		E17906		VN160028		VA100005		VA100006		VN143901		VN143492		VN166069	
6			1		2		3		4		5		6		7		8	
7	VN100071	1	0	0	1.3km	3mins	1.2km	4mins	1.5km	5mins	1.5km	5mins	2.2km	6mins	1.5km	4mins	15.7km	19mins
8	E17906	2	1.3km	4mins	0	0	2.7km	8mins	3km	9mins	3km	9mins	2.6km	7mins	2.2km	6mins	16km	20mins
9	VN160028	3	1.1km	4mins	1.9km	3mins	0	0	1.6km	5mins	1.6km	5mins	2km	6mins	1.6km	4mins	17.1km	22mins
10	VA100005	4	1.4km	5mins	2.3km	8mins	850m	2mins	0	0	0	0	1.7km	5mins	1.8km	4mins	16.2km	18mins
11	VA100006	5	1.4km	5mins	2.3km	8mins	850m	2mins	0	0	0	0	1.7km	5mins	1.8km	4mins	16.2km	18mins
12	VN143901	6	1.9km	6mins	2km	6mins	2.2km	6mins	2.7km	6mins	2.7km	6mins	0	0	800m	3mins	15km	16mins
13	VN143492	7	1.8km	5mins	2km	5mins	2.1km	5mins	2.4km	6mins	2.4km	6mins	650m	3mins	0	0	15.2km	18mins
14	VN166069	8	16.7km	20mins	19km	19mins	17.8km	22mins	17.5km	21mins	17.5km	21mins	15.9km	17mins	16.5km	19mins	0	0
15	VN196110	9	1.3km	4mins	2.1km	6mins	200m	35seg	1.8km	6mins	1.8km	6mins	2.2km	7mins	1.8km	5mins	17.3km	22mins
16	VN167358	10	1.4km	4mins	1.4km	5mins	2.4km	7mins	2.6km	8mins	2.6km	8mins	1.2km	4mins	1.8km	5mins	14.7km	17mins
17	VN167192	11	1.4km	4mins	1.4km	5mins	2.4km	7mins	2.6km	8mins	2.6km	8mins	1.2km	4mins	1.8km	5mins	14.7km	17mins
18	VN167360	12	1.4km	4mins	1.4km	5mins	2.4km	7mins	2.6km	8mins	2.6km	8mins	1.2km	4mins	1.8km	5mins	14.7km	17mins
19	VN167359	13	1.4km	4mins	1.4km	5mins	2.4km	7mins	2.6km	8mins	2.6km	8mins	1.2km	4mins	1.8km	5mins	14.7km	17mins
20																		
21	Tempos de Manutenção aleatórios dos pontos																	
22			38		45		40		46		35		55		49		43	
23			(mins)															
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		

Figura 11 Excerto da matriz de distâncias e tempos de deslocação de 13 equipamentos distintos.

Cedo se percebeu que numa fase futura, como se viria a verificar, o número de pedidos manuais que se teriam que realizar no *Google Maps*, mesmo na altura dos testes iniciais em que o número de pontos era reduzido, ou em qualquer outra plataforma idêntica para

construção da base de dados relativa à matriz de distâncias (tabela que engloba todas as distâncias e tempos de deslocação entre dois pontos distintos) era bastante significativo.

Por exemplo, para um técnico que possuísse 140 equipamentos, o número de pedidos a efectuar à plataforma que fornece as informações de direcções é $(140 \cdot (140 - 1)) / 2$. Por análise dos termos e direitos dos utilizadores da API da *Google Maps*, verificou-se que existiam limites quanto ao número de pedidos permitidos por dia aos utilizadores, limites esses que eram insuficientes para a quantidade de informação que se pretendia extrair.

Pelo enunciado, foi necessário procurar plataformas alternativas que permitissem a obtenção de todos os pedidos necessários para completar as matrizes dos respectivos técnicos de manutenção, de modo a que não existissem taxas acrescidas muito menos limitações quer no número de pedidos quer na cadência dos mesmos. Optou-se pela plataforma *OSM (Open Street Map)* [74], que nada mais é do que uma plataforma pública, semelhante ao *Google Maps*, onde qualquer utilizador pode consultar o arruamento da zona que pretende. Para além do referido, este pode registar-se para posteriormente ele próprio actualizar dados que encontre incompletos ou errados na zona identificada pelo mesmo.

No entanto, o *OSM* por si só não permite a obtenção de dados relativos a direcções, como as apresentadas no exemplo do *Google Maps*, pelo que foi necessário considerar uma ferramenta adicional: *MapQuest*. Esta ferramenta permite realizar os pedidos de direcção que se pretende para construir a matriz de distâncias e de tempos do problema sem restrições quanto ao número de pedidos que se podem realizar à plataforma.



Figura 12 Apresentação da plataforma *MapQuest* – pedido de direcções [67].

Na Figura 12 apresenta-se a disposição do site versão *Beta* do *MapQuest*, onde se pode verificar que o seu *layout* é em todo semelhante com o apresentado pelo *GoogleMaps*, e no qual se constata a facilidade e simplicidade da obtenção de um pedido de direcções manual que nos retorna o resultado da distância e tempo de deslocação entre os dois pontos introduzidos, bem como o percurso a efectuar para completar o trajecto no tempo apresentado.

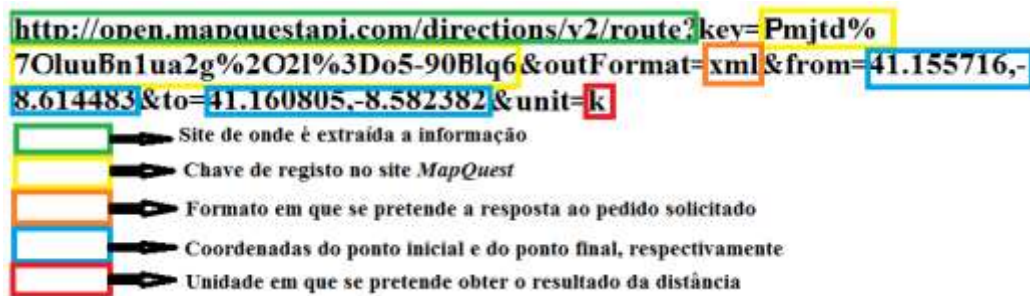


Figura 13 Exemplo de pedido por URL à plataforma *MapQuest*.

Os pedidos manuais, ou seja, pedidos directamente introduzidos na plataforma seguem as regras definidas para que não incorra em sobrecarga dos servidores. No entanto, a preocupação inerente à forma de realizar os pedidos deve-se àqueles que são realizados de forma “automática”, isto é, através do formato *URL (Uniform Resource Locator)*. Nestes seguem os dois pontos entre os quais se pretende obter o tempo e distância mínimas de deslocação, bem como outros aspectos, como a chave de registo na plataforma, o formato em que se deseja a resposta do site ao pedido que foi efectuado e ainda a unidade em que se quer o resultado da distância (quilómetros ou milhas), tal como apresentado na Figura 13. O resultado, depende do pedido efectuado, sendo que neste caso em concreto é uma página em formato *XML (eXtensible Markup Language)*, de onde é extraído o resultado pretendido.

Quando comparados os resultados obtidos nas plataformas *MapQuest* e *GoogleMaps* verificou-se que a diferença não era significativa, sendo penalizada apenas em alguns segundos e alguns metros.

Realizado o pedido e obtido o resultado, este é guardado numa base de dados *MySQL (My Structured Query Language)*, na respectiva tabela criada para o efeito. O processo é repetido até que todas as distâncias e tempos de deslocação que formam a matriz tenham

sido obtidos e guardados na tabela. Também este processo será descrito em maior detalhe na explicação detalhada do algoritmo.

Obtida a matriz de distâncias, encontram-se reunidos todos os dados necessários para de seguida ser aplicado o algoritmo desenvolvido.

4.1.4. SELECÇÃO DO PONTO INICIAL PARA A ROTA INICIAL

A selecção do ponto inicial para a primeira rota do mês teve em conta três abordagens que se passam a descrever.

Abordagem 1: Nesta abordagem iniciava-se a rota mensal testando todos os pontos como ponto inicial do mês. O ponto que resultar numa rota diária de menor custo, é seleccionado para ponto de partida do dia, sendo a rota para esse dia construída segundo a heurística implementada, que será descrita no ponto 4.1.6. Posteriormente, depois da rota de um dia estar concluída, testam-se todos os pontos ainda não incluídos na rota como pontos iniciais da rota do dia seguinte, sendo depois também concluída essa rota. O processo é repetido para cada dia com os pontos que ainda não estiverem incluídos em nenhuma das rotas dos dias anteriores.

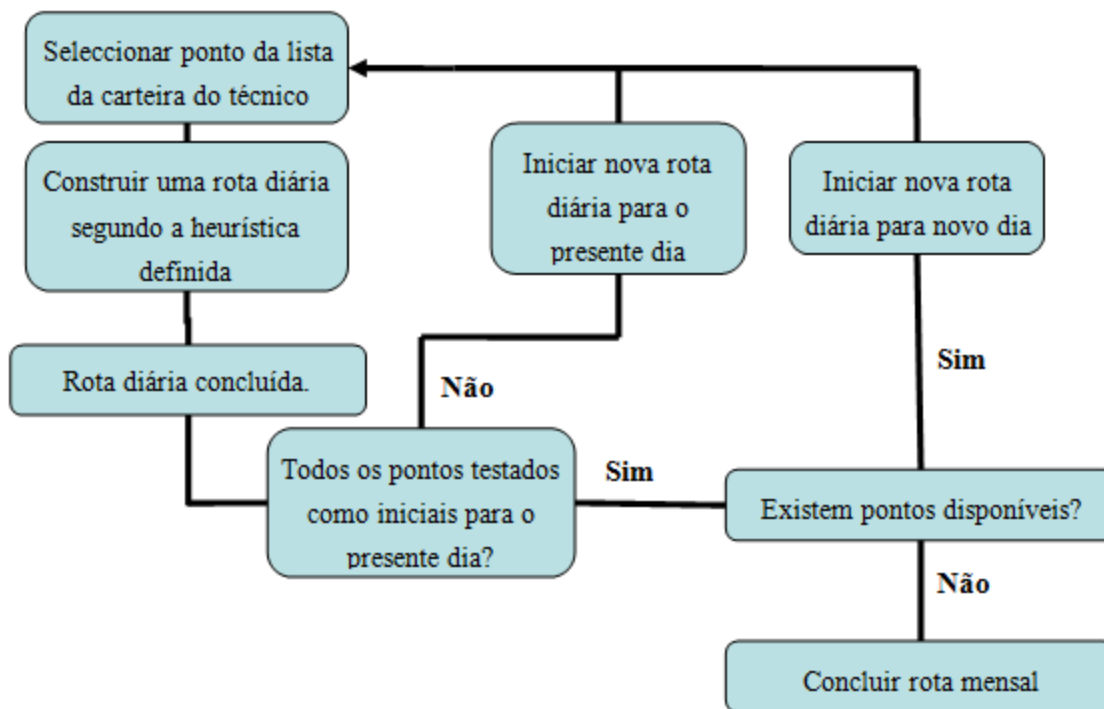


Figura 14 Fluxograma 1: teste de todos os pontos como pontos iniciais.

Abordagem 2: Nesta abordagem o procedimento considerado na Abordagem 1 é apenas aplicado ao 1º dia do mês. Assim têm-se tantas soluções de rota mensal quanto o número de pontos a visitar, uma vez que apenas no primeiro dia são testados todos estes pontos na posição inicial sendo construídas as restantes rotas com base na construção da rota inicial. Esta abordagem, que tem especial enfoque na escolha do ponto inicial da rota inicial do mês, fica com o seu resultado dependente da heurística que é aplicada pelo utilizador para a selecção dos restantes pontos de uma rota, bem como pelas restrições e formas de encontrar os restantes pontos iniciais nas demais rotas diárias.

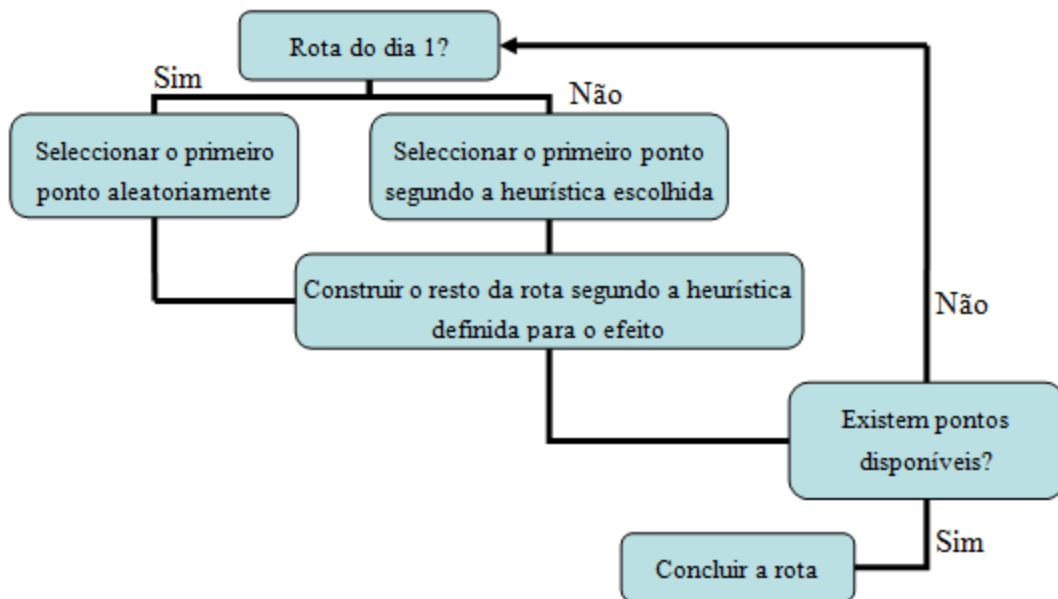


Figura 15 Fluxograma 2: teste com aplicação de heurística para obtenção do primeiro ponto nas rotas que não a primeira.

Comparando o número de soluções obtidas por cada uma das duas abordagens tem-se que para um exemplo com N equipamentos, a abordagem 2 resulta em N soluções distintas. Por outro lado, na situação apresentada no fluxograma da Figura 14, supondo que em cada dia são visitados 5 equipamentos e que o mês tem D dias de trabalho, depois da rota do dia 1 estar concluída, no segundo dia têm-se (N-5) pontos que podem tomar a posição inicial da rota, (N-10) pontos para início do terceiro dia. Generalizando, para o dia D têm-se (N-5D) pontos. Desta forma, o número de soluções criadas com este método $N(N-5)(N-10)\dots(N-5D)$.

Assim, é evidente a dificuldade inerente em testar todas as soluções possíveis para um problema, nomeadamente quando se tem em conta a carteira de manutenções preventivas de um técnico, que geralmente anda à volta dos 140 equipamentos. Por esta razão, a

escolha do ponto inicial nos algoritmos desenvolvidos baseou-se sempre no método exposto no fluxograma 2 da Figura 15.

4.1.5. CONSTRUÇÃO DE ROTAS - AGRUPAMENTO DE PONTOS/DEFINIÇÃO DE CLUSTERS

À medida que as soluções foram sendo obtidas com diferentes heurísticas aplicadas, mais conclusões se podiam tirar sobre os resultados, conseguindo de certa forma ir aperfeiçoando a pesquisa de pontos a incluir numa rota, quer no início, quer na procura dos restantes pontos para construção da rota, quer na conclusão. Em algumas situações, por observação dos resultados, identificavam-se redundâncias do ponto de vista da deslocação efectuada pelo técnico, isto é, este embora visitasse equipamentos distintos, voltava a locais que muitas vezes já haviam sido visitados. Uma das razões para o sucedido era o facto de poder existir mais do que um equipamento numa mesma entrada, por exemplo, o que é comum acontecer nomeadamente em edifícios com vários moradores, onde existe mais do que um equipamento de ascensão. Outra das razões era a coincidência de existirem casas adjacentes com equipamentos cuja manutenção estava em ambas entregue à Schmitt.

Daqui resultavam distâncias e/ou tempos de deslocação com um valor bastante reduzido ou mesmo nulo, pelo que se decidiu formar grupos de equipamentos com base em códigos-postais semelhantes, que se diferenciavam apenas no último e/ou penúltimo dígitos. Desta forma criavam-se os denominados *clusters*, em que sempre que um dos pontos de um *cluster* era incluído numa rota, também os restantes o eram, pelo menos até a rota estar completa (6h). Caso contrário, se algum dos equipamentos desse grupo sobrasse tinha que passar invariavelmente para uma das rotas seguintes.

Após análise dos clusters que eram formados com códigos-postais que diferenciavam no último ou até ao penúltimo dígito, verificaram-se algumas variações aleatórias quanto à localização das ruas, sendo que dois números adjacentes que diferenciavam apenas no último dígito não indicavam necessariamente ruas adjacentes, pelo que se restringiram os *clusters* apenas a pontos que tivessem os códigos-postais totalmente iguais. Fixou-se o conceito de *cluster* como sendo a identificação atribuída a todos os equipamentos que surgiam numa mesma rua, quer estes estivessem ou não na mesma entrada ou no mesmo número de porta. Esta regra torna-se fácil de implementar, uma vez que todos os

equipamentos que fazem parte de uma mesma rua apresentam como característica em comum o seu código-postal igual.

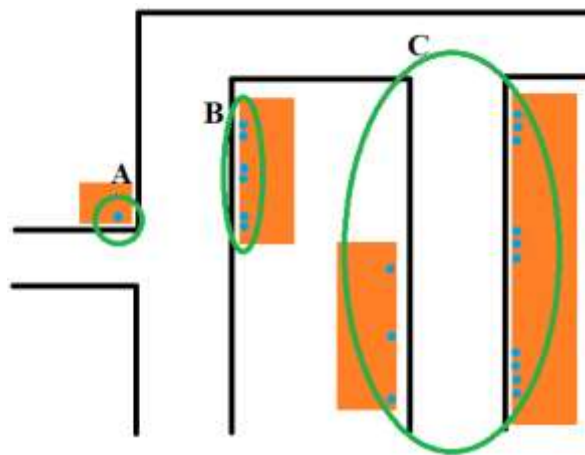


Figura 16 Agrupamento de equipamentos – *clusters*.

Na Figura 16 encontram-se 3 *clusters* distintos, cada um deles representados pelos círculos a cor verde. A cada um destes *clusters* está associado um código-postal que representa a rua respectiva onde eles se encontram. Desta forma, quando o técnico de manutenção se desloca ao *cluster* A tem que resolver o ponto que lhe está conferido. Por outro lado, quando se desloca ao *cluster* B, tem que resolver, se tiver disponibilidade, todos os pontos apresentados a azul (seis). No caso do técnico não conseguir resolver todos os pontos do *cluster* em que se encontra, os que estão em falta ficam pendentes para uma das rotas futuras que permita que ele vá realizar a manutenção a esses pontos com um “custo” mínimo. Finalmente, para o *cluster* C o técnico é responsável por resolver os 13 pontos que estão conferidos a esse grupo, nas mesmas condições dos *clusters* anteriores.

A principal razão pela qual foi considerado o agrupamento de pontos relaciona-se com a diminuição da complexidade e do tempo gasto no cálculo da solução do problema.

Garante-se, com a norma criada, que o técnico ao visitar um determinado ponto numa dada rua procede também à devida manutenção aos restantes equipamentos que façam parte da mesma entrada, condomínio ou que se encontrem muito próximos, sempre apresentando código-postal igual ao primeiro ponto que visitou no arruamento. A premissa desta solução prende-se com a intenção de reduzir as deslocações efectuadas pelo técnico, tornando o trabalho deste o mais eficiente possível, visto que ao fazer a deslocação a uma determinada rua, resolve os pontos que lhe estão adjacentes, sem que para isso tenha que pegar

novamente no veículo para efectuar nova deslocação a um ponto distinto. No entanto, sabe-se que o tempo que o técnico tem para as manutenções preventivas se encontra limitado, pelo que se esse limite for ultrapassado sem que um *cluster* tenha sido totalmente resolvido, os pontos restantes têm que passar invariavelmente para uma rota futura.

4.1.6. CONSTRUÇÃO DE SOLUÇÕES

Definido um ponto inicial foram consideradas diferentes possibilidades para a construção de uma solução.

Na 1ª heurística considerada, “vizinho mais próximo”, em cada iteração do problema procura-se sempre o ponto mais próximo do último que foi adicionado à rota. Este procedimento é repetido até que a rota do primeiro dia esteja completa. Pode acontecer, aquando da conclusão da rota de um dia, que o último ponto mais próximo encontrado faça com que as 6 horas disponíveis por dia por técnico sejam ultrapassadas, sendo necessário procurar outro ponto também ele próximo que possibilite preencher a rota dentro do horário estipulado. Em último caso, se nenhum dos pontos disponíveis possibilitarem o fecho da rota dentro do período definido para as manutenções preventivas, a rota é concluída conforme se encontra (pode ser considerada incompleta, uma vez que não são aproveitadas todas as horas atribuídas para o trabalho).

Finda a rota do primeiro dia existe a possibilidade de continuar o preenchimento das restantes rotas de manutenção do mês aplicando a heurística do vizinho mais próximo. Isto é, esquecer a procura específica de um ponto inicial para cada uma das rotas seguintes, como descrito na sub-subsecção 4.1.7, apenas aplicando do princípio ao fim do problema o mesmo método na procura constante do ponto mais próximo dos disponíveis, negligenciando as deslocações entre o último ponto de uma rota e o primeiro ponto da rota do dia seguinte.

Apesar de ser um algoritmo com características gulosas, da qual pode não resultar a melhor escolha em termos globais, esta foi a heurística que resultou em melhores soluções para o problema proposto pela Schmitt. Esta heurística confere ainda à rota do técnico um padrão mais ou menos “linear”, isto é, faz com que em cada dia exista progressão nas visitas do técnico relativamente aos pontos visitados nos dias anteriores, sem que de um dia para o outro tenha que fazer deslocações muito significativas. Isto porque procurando o vizinho

mais próximo os pontos vão sendo resolvidos, estando o técnico a dirigir-se para os pontos mais distantes.

Uma abordagem que foi ponderada, baseada ainda no conceito do vizinho mais próximo, foi a de levar em consideração o melhor vizinho a inserir, pesando não só o tempo de deslocação a esse ponto, mas também o tempo de manutenção exigido na respectiva verificação. No entanto, verificou-se que esta abordagem não trazia benefícios: pois se verifica que os tempos dispendidos em manutenções são a maior percentagem do tempo total da rota e ao seleccionar um vizinho pelo tempo de deslocação e a manutenção efectiva, não permite uma averiguação eficiente sobre a proximidade desse ponto.

Outra das metodologias correspondia à inserção mínima, que não é mais do que escolher um par de pontos cuja deslocação é a menor de todo o grafo e a partir daí, escolher o melhor ponto a introduzir com base neste corresponder ao menor custo (em termos de tempo total dispendido pelo técnico na rota). Esta poderia ser uma das possibilidades viáveis para o problema final, mas a sua complexidade é superior à heurística do vizinho mais próximo, uma vez que existe menos flexibilidade, nomeadamente na escolha dos pontos inicial e final.

Na hipótese da rota ainda não se encontrar preenchida na totalidade, todos os pontos eram verificados no sentido de encontrar aquele que apresentava a menor distância de todas ao último adicionado, e esse seria o equipamento seleccionado para ser visitado de seguida pelo técnico, desde que, mais uma vez, o tempo estipulado para as manutenções preventivas não fosse ultrapassado. Caso o limite estivesse a ser violado, procurava-se o segundo ponto mais próximo do último adicionado e fazia-se nova verificação para averiguar se passava ou não os limites. Esta verificação era realizada até que fosse encontrado um ponto que pudesse ser incluído na rota sem quebrar a barreira de tempo estipulada. Se na pior das hipóteses esta situação não se verificasse, a rota terminava conforme se encontrava antes dos testes com um novo ponto.

Se um ponto tivesse sido adicionado, e o tempo de manutenções disponíveis por dia não tivesse sido suplantado, mais uma vez era realizado o teste no sentido de se procurar todos os pontos que apresentassem código-postal igual ao que havia sido adicionado. Se existissem, mais uma vez eram adicionados segundo 3 condições:

- 1 – todos os pontos, caso o tempo disponível o permitisse dentro dos limites;
- 2 – parcialmente, caso apenas alguns pontos pudessem ser adicionados sem que o limite de tempo fosse ultrapassado;
- 3 – nenhum caso qualquer ponto do *cluster* ao ser adicionado fizesse com que o limite de tempo fosse ultrapassado.

Se não existisse qualquer ponto com código-postal igual ao adicionado anteriormente e o limite ainda não tivesse sido atingido procurava-se novo ponto segundo a heurística do vizinho mais próximo, e mais uma vez todos os testes eram realizados.

Uma situação passível de se verificar, embora menos comum, era o preenchimento da rota com pontos com código-postal igual ao último adicionado até um certo ponto. Esta situação ocorria quando a adição à rota de outro ponto do mesmo *cluster* fazia com que o limite de tempo fosse ultrapassado. Desta forma, em vez de outro ponto do *cluster*, procurava-se novo ponto segundo a heurística do vizinho mais próximo que permitisse a conclusão da rota dentro dos limites estipulados, mesmo que o *cluster* ficasse parcialmente resolvido. Como irá ser apresentado na descrição dos problemas encontrados, esta é uma situação comum e que levou à criação de um método que resolvesse o sucedido, visto que podiam estar a dividir-se pontos de uma mesma entrada, por dias de manutenção diferentes.

Foram ponderadas algumas hipóteses a adaptar aquando da chamada do técnico a um determinado local para a resolução de uma avaria, no sentido de avaliar outras perspectivas de otimizar o problema de roteamento de veículos, maioritariamente motivadas pela penalização que uma rota criada sofre nesse tipo de situações em que inevitavelmente o técnico tem que se deslocar ao ponto onde foi chamado.

Com esse propósito em mente, foi questionada a possibilidade do responsável alterar a sua rota diária depois de ser chamado a uma avaria, no sentido de evitar a penalização extra no seu deslocamento, uma vez que já se havia deslocado ao local do incidente. Nesta altura, surgia uma possível mudança de rota pelo técnico, tal como apresentado na Figura 17.

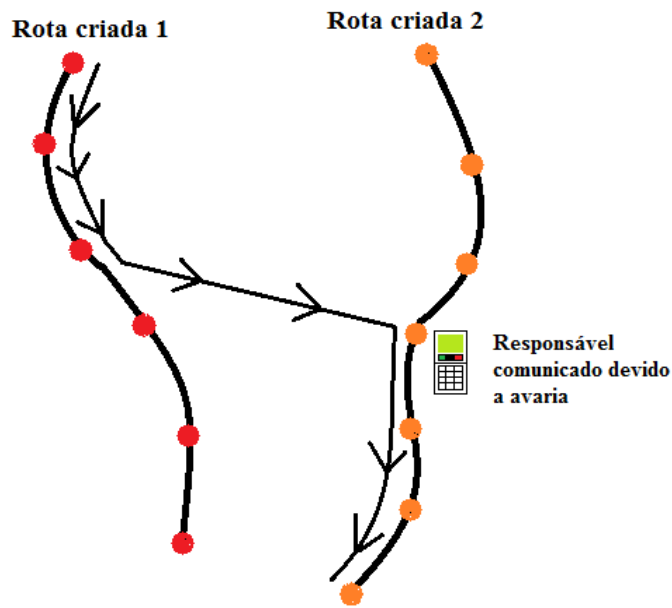


Figura 17 Exemplo da solução 1 para diminuir perdas no problema das avarias.

A ideia da sugestão apresentada era o técnico cumprir, tal como estipulado, a rota que lhe está afectada para determinado dia, como indicado na “Rota criada 1” da Figura 17. Por acaso, ao final do terceiro ponto o técnico era chamado a uma avaria no quarto ponto da “Rota criada 2”, sendo que terminada essa manutenção correctiva percorria os pontos seguintes dessa mesma rota que inclui o equipamento onde ocorreu a avaria. Um dos problemas desta solução é que as duas horas libertadas do horário de trabalho do técnico deixavam em parte de fazer sentido, pois se estava a evitar fazer deslocações, neste caso de volta para o ponto onde se encontrava na rota do dia. Esse intervalo foi considerado exactamente para contemplar não só as manutenções de correcção como as deslocações de ida e de volta aos locais onde ocorreu a anomalia. Por outro lado, não se pretende que o técnico realize duas tarefas distintas no mesmo dia no mesmo equipamento, isto é, não faz sentido, pelo menos do ponto de vista comercial da empresa, que no mesmo dia em que o técnico foi chamado a uma avaria num determinado equipamento, faça também a manutenção preventiva ao mesmo ponto.

Outra das hipóteses ponderadas é bastante semelhante à anterior, mas a partir do momento em que o técnico se desloca ao local da avaria ocorre um novo processo de decisão.

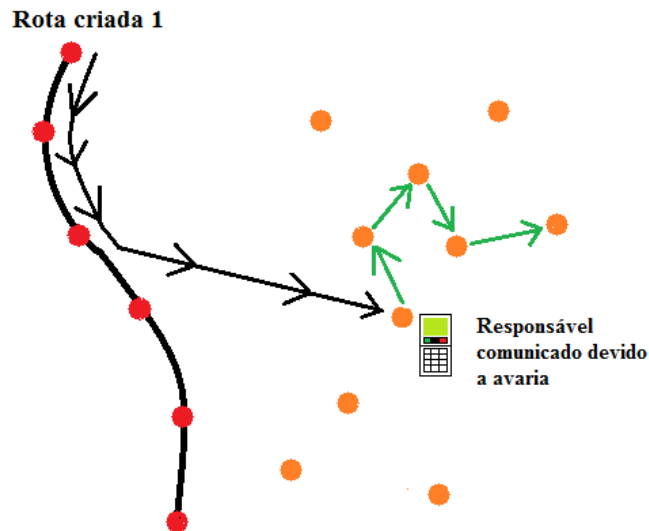


Figura 18 Exemplo da solução 2 para diminuir perdas no problema das avarias.

No caso apresentado na Figura 18, a intenção é que depois da deslocação a uma chamada de avaria o algoritmo construa uma nova solução de rota para o tempo de trabalho restante do responsável, igualmente com base na heurística do vizinho mais próximo. Assim, sempre que o técnico era contactado para uma anomalia, recebia uma nova rota para continuar o seu trabalho nesse dia. Mais uma vez, existem problemas óbvios que deitam por terra a ideia sugerida, nomeadamente o facto da situação descrita envolver um algoritmo dinâmico que desse resposta para cada caso em particular, o que não é o pretendido. Para além da ideia ser um mapa de rotas mensais que optimizem as deslocações do técnico ao longo da sua carteira de equipamentos, não existem meios para a implementação de uma solução dinâmica, visto que o técnico não tem acesso a qualquer tipo de hardware munido de software, em que ambos sejam capazes de produzir as soluções sugeridas em tempo útil. Além do descrito, mais uma vez deixava de fazer sentido criar previamente rotas para optimizar o deslocamento dos técnicos ao longo dos dias pelos seus equipamentos, visto que essas rotas seriam deixadas de parte assim que ocorresse um avaria e novas soluções fossem produzidas. E, assim como nos problemas da solução 1, as duas horas do dia de trabalho do técnico deixavam em parte de fazer sentido, visto que apenas estavam a ser consideradas quase exclusivamente para a resolução da avaria e no restante tempo o técnico se encontrava em manutenções preventivas ou nas deslocações às mesmas.

A ideia anterior conduziu a outra sugestão relacionada directamente com as avarias ocorridas em cada um dos equipamentos no passado, isto é, fazer supunções com base em mapas de avarias de meses anteriores, no sentido de averiguar se algum equipamento seguia certo tipo de padrão que possibilitasse prever que em determinado dia ele iria avariar novamente. Esta sugestão, embora tivesse sido discutida quanto à sua aplicabilidade, acabou por ser abandonada, como as anteriores, uma vez que a previsão de avarias num equipamento era um processo bastante aleatório e complicado que provocaria um aumento enorme de complexidade no algoritmo, já para não falar na possibilidade de falha nessas previsões.

Assim, ficou definida a forma como o técnico iria lidar com as avarias: realizando-as e voltando aos locais onde se encontrava na rota respectiva do dia, tal como apresentado na Figura 19.

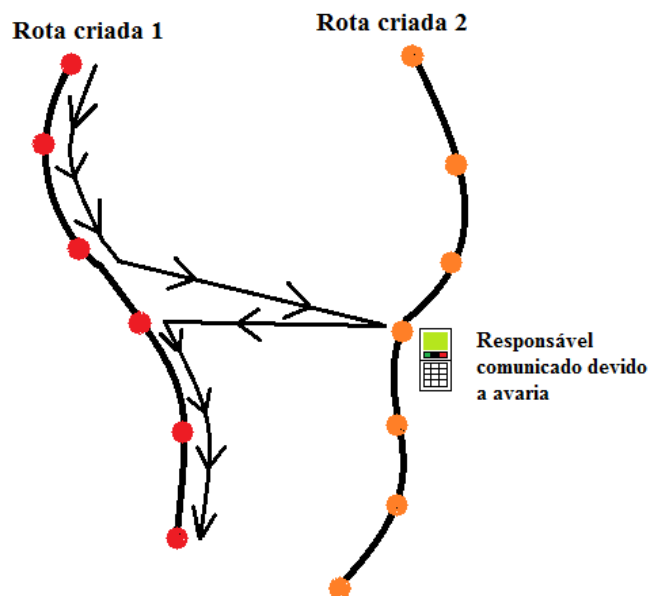


Figura 19 Exemplo da forma como o técnico lida com uma avaria.

4.1.7. SELECÇÃO DE PONTO INICIAL PARA NOVA ROTA

Uma abordagem ponderada para a selecção do ponto inicial de uma nova rota consiste na procura do ponto mais distante da rota do dia anterior, no sentido de garantir que os pontos mais distantes não fossem deixados para os cálculos finais, uma vez que aquando da aplicação da heurística do vizinho mais próximo, o algoritmo tende a encontrar sempre o local mais rápido de se atingir, pelo que para as rotas finais do mês podem sobrar pontos cuja deslocação do técnico entre eles incorra em custos mais dispendiosos, efectuando

percursos maiores entre pontos. No entanto esta foi descartada por produzir soluções que não apresentavam resultados melhores em relação às restantes abordagens. Por outro lado, segundo políticas da empresa, pretende-se que o técnico tenha um trajecto mais ou menos “linear” na execução das suas tarefas, isto é, que as suas deslocações não oscilem muito tendo que fazer deslocações muito significativas comparando um dia com o dia seguinte. Este aspecto prende-se com o facto de, por exemplo, em determinado dia o técnico ser chamado a uma avaria ou avarias e ultrapassar as duas horas estipuladas para esse tipo de trabalho, conseqüentemente as manutenções preventivas daquele dia vão ficar em parte atrasadas, pelo que tem que as realizar no dia seguinte, acabando inevitavelmente por iniciar as manutenções do novo dia, procurando-se que a distância entre o último ponto de manutenção da rota anterior não esteja muito distante do ponto da rota do dia seguinte.

Assim, finda a primeira rota do mês, a intenção em cada um dos dias restantes de manutenção é inicialmente fazer verificações no sentido de escolher o ponto de partida da nova rota. Para o efeito, o algoritmo faz vários testes, entre os quais a verificação de *clusters* no sentido de identificar se algum dos grupos existentes ficou por resolver na rota ou rotas anteriores, ou seja, se algum dos grupos com códigos-postais iguais for visitado e ficar parcialmente “resolvido”, o algoritmo começa a manutenção do dia seguinte pelo ponto que ficou por resolver desse *cluster*. No caso de não se verificar qualquer *cluster* visitado ou visitado de forma incompleta procede-se à aplicação da heurística do vizinho mais próximo com o objectivo de encontrar o ponto que menor tempo de deslocação apresenta do último ponto que foi adicionado ao final da rota do dia anterior.

4.1.8. SELECÇÃO DO ÚLTIMO PONTO DE UMA ROTA DIÁRIA

Na selecção do último ponto a inserir numa rota diária, tendo em conta que dificilmente essa solução resultará em exactamente 6h, foi implementada uma heurística de selecção desse ponto.

Numa 1ª fase, ponderou-se a abordagem que consistia em testar se a distância do possível último ponto da rota a cada um dos restantes disponíveis era maior que cada uma das distâncias de outro ponto que se escolhesse como final aos restantes que ficassem disponíveis. No fundo consistia em encontrar o ponto que quando adicionado ao final da rota, desde que esta continuasse dentro dos limites, ficava à maior distância a qualquer dos pontos ainda disponíveis, sendo que cada uma destas distâncias teria de ser maior que

qualquer distância entre qualquer outro ponto que fosse colocado como o final da rota e os restantes disponíveis respectivos.

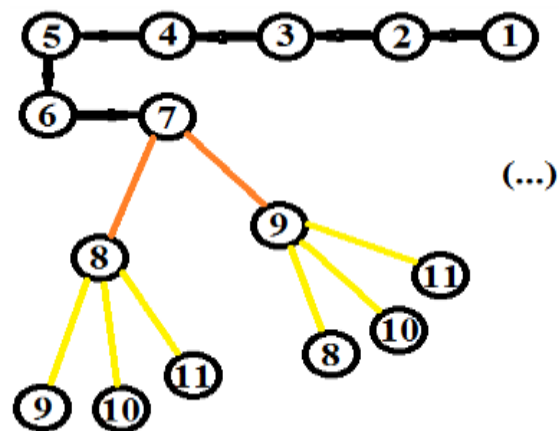


Figura 20 Exemplo de hipóteses para ponto final.

A Figura 20 serve para ajudar a explicar o que foi escrito no parágrafo anterior. Partindo do princípio que o ponto 7 corresponde ao penúltimo ponto da rota, prossegue-se à escolha do último ponto para a completar, sendo que o oito é o ponto mais próximo de 7 dos que se encontram disponíveis. No entanto, pretende-se achar o ponto que para além de permitir a conclusão da rota dentro dos limites, é também o ponto que se apresenta mais distante de todos os outros. Para que isso se verifique, as distâncias entre o ponto 8 e o 9, entre o ponto 8 e o 10, entre o ponto 8 e o 11 (sendo estas representadas a amarelo na imagem), têm que ser todas superiores às distâncias entre o ponto 9 e o 8, 9 e 10 e entre o 9 e 11, bem como superiores às restantes quando os outros pontos são testados como últimos (10 e 11). Desta forma, conclui-se que para o ponto oito ser o definido é preciso que a menor de todas as distâncias entre este e os restantes disponíveis, seja maior que a maior distância entre qualquer um dos outros testados como ponto final e os restantes disponíveis. Ao efectuar os cálculos de todas as distâncias mencionadas, após a escolha do ponto ideal para ser aplicado como conclusão da rota, conseguia-se também decidir sobre qual o melhor ponto para iniciar a rota do dia seguinte, se estivesse definido que este devia ser o mais distante do último do dia anterior. Este teste era realizado até que se encontrasse o ponto que fosse mais distante de todos os outros e ao mesmo tempo fosse suficientemente próximo do último adicionado à rota permitindo que esta fosse concluída dentro dos limites definidos.

A razão pela qual esta escolha era implementada incidia sobre o facto de se querer evitar que pontos “muito” distantes dos restantes fossem deixados para o final aquando da aplicação da heurística do vizinho mais próximo.

Outra das abordagens consideradas para conclusão da rota correspondia à escolha do ponto que melhor fazia a correspondência no sentido do tempo associado a cada rota diária estar o mais próximo possível das seis horas estabelecidas. Para isso era necessário não só ter em atenção as deslocações, em termos de tempo, entre o penúltimo ponto da rota e cada um dos possíveis candidatos, bem como o tempo de manutenção associado a cada um deles.

As metodologias propostas para encontrar o melhor ponto final numa rota acabaram por não ser implementadas uma vez que a maioria dos técnicos tem uma dispersão de equipamentos na sua carteira relativamente reduzida e esta heurística não produz qualquer impacto na qualidade da solução final. Por outro lado, mais uma vez entra em linha de conta o conceito de deslocação “linear” do técnico, isto é, pretende-se que todas as deslocações do técnico sejam completamente necessárias, não permitindo que ele regresse a códigos-postais já visitados devido a pontos que ficaram por resolver. Desta forma, pretende-se estabelecer um ciclo sem deslocações muito significativas de um dia para o outro, até porque caso aconteçam avarias, o responsável terá de se deslocar aos locais respectivos resolvendo o problema. Se inevitavelmente o tempo despendido a realizar manutenções correctivas ultrapassar o horário de trabalho ou porventura a rota daquele dia ficar atrasada e faltarem visitar pontos, o técnico irá ter que compensar no dia seguinte, pelo que a deslocação entre o último ponto da rota do dia anterior e o primeiro ponto da rota do dia seguinte deve ser o mais pequena possível no sentido de não “desperdiçar” tempo em deslocações.

4.1.9. TESTE DE DIFERENTES INTERVALOS

Como já foi referido, o horário de trabalho diário de qualquer técnico de manutenção compreende oito horas laborais, sendo que desse total apenas seis horas se destinam à realização de manutenções preventivas, estando as restantes duas horas reservadas para proceder a manutenções correctivas ou as chamadas avarias, onde inevitavelmente o técnico tem que se deslocar quando solicitado em qualquer altura do dia, no seu horário

laboral. Fora desse intervalo são os piquetes de manutenção os responsáveis por responder a solicitações de avarias.

Por norma e preferencialmente a intenção é que cada uma das rotas criadas para as verificações mensais do responsável ocupem o número de horas que foram reservadas para tal tarefa, garantindo-se assim o cumprimento das manutenções preventivas para o dia em questão e conferindo-se a carga de trabalho exigida para o trabalhador. Contudo, ainda que o tempo do técnico destinado a verificações de prevenção esteja limitado às horas referidas, nada invalida que esse limite não possa ser ultrapassado ou não ser atingido por defeito, isto é, as manutenções preventivas ocuparem menos do que as seis horas estipuladas. No entanto, para que essa situação seja válida, a diferença entre os valores atingidos, quer por excesso, quer por defeito, não podem ser muito significativas em comparação com o limite ideal. Esta situação de não cumprimento da rota nas seis horas certas prevê-se muito frequente, visto que os equipamentos são todos muito distintos entre si, pelo que os seus tempos respectivos de manutenção não são todos iguais, assim como os tempos de deslocação entre pontos podem não corresponder a valores inteiros e muito menos serem iguais a percursos anteriores, caso contrário não faria qualquer sentido a obtenção da matriz de distâncias.

Pelas razões enunciadas, foram estipulados os denominados “limites na pior das hipóteses”, que contemplam exactamente os intervalos sobre o limite das seis horas. Assim, criaram-se dois intervalos distintos, correspondendo a dois níveis de criticidade, indicando respectivamente o menor ou maior afastamento em relação à solução ideal de 6h. O primeiro intervalo é responsável pela primeira abordagem à conclusão da rota, verificando se o resultado obtido até ao momento se encontra ou não entre os seus dois extremos, que tomam valores o mais próximos das seis horas, quer por excesso, quer por defeito. Caso a rota apresente resultado dentro dessa gama, é realizado um teste no sentido de averiguar se a rota pode ser preenchida com mais um ponto, desde que continue dentro da gama, tendo esta extendido-se até ao segundo intervalo crítico. Em qualquer dos casos, quando uma rota chega ao intervalo e mais nenhum ponto pode ser acrescentado, esta é concluída e o algoritmo passa ao preenchimento da rota seguinte do mês. Se ao invés a solução não se verificar dentro do primeiro intervalo, por defeito, é procurado novo ponto com base na heurística do vizinho mais próximo, a não ser que exista(am) algum(ns) ponto(s) com código-postal igual ao último ponto adicionado. Este processo é executado

até que o intervalo seja atingido. No caso do primeiro limite ser ultrapassado, a rota é testada no sentido de se verificar se se encontra dentro dos extremos do segundo intervalo crítico estipulado. A primeira situação contempla avaliar se a solução é menor que o extremo majorante, sendo a rota concluída se isso acontecer. Se o valor desse extremo for ultrapassado, o último ponto da rota é retirado, bem como a respectiva deslocação ao mesmo, verificando-se se a solução continua acima do extremo minorante do segundo intervalo. Caso esta condição se verifique, procura-se entre a lista de pontos disponíveis se existe algum ponto com o mesmo código-postal do último adicionado, concluindo-se a rota se algum(ns) ponto(s) poder(em) ser(em) adicionado(s), desde que dentro dos limites referidos anteriormente. Se não existirem pontos no mesmo arruamento, ou se nenhum deles puder ser adicionado sem que as restrições de tempo sejam violadas, a rota é concluída. Existe ainda o caso de na altura em que último ponto é eliminado em conjunto com a sua deslocação, a solução não estar dentro do segundo intervalo, pelo que nesse caso um novo ponto, com base na heurística escolhida, dos ainda não incluídos em qualquer rota, é adicionado à mesma rota, realizando-se novamente os testes apresentados.

Com base no que foi descrito, vários intervalos foram testados com a carteira do técnico, no sentido de decidir qual aquele que produziria uma melhor solução e até que ponto essa solução era melhor do que as restantes. Os intervalos utilizados podem ser verificados na subsecção 4.3.

4.1.10. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Muitos dos problemas que foram encontrados ao longo do desenvolvimento do algoritmo têm vindo a ser descritos em cada uma das respectivas secções, nomeadamente aquando da escolha de uma heurística em detrimento de outra, a definição de uma restrição em vez de outra, pelo que nesta apresentação de problemas apenas serão explicados os inconvenientes encontrados na aplicação da rota final pelo técnico.

Após todas as escolhas terem sido definidas, todas as falhas resolvidas, todos os testes ultrapassados, as respectivas implementações feitas, incluídas todas as restrições e regras, bem como finalizados os testes intermédios, surgiu a primeira solução concreta da carteira do técnico. Essa solução constituía as rotas diárias para o mês de manutenções do respectivo trabalhador. A lista obtida foi entregue ao chefe de serviço, que por sua vez a fez chegar ao técnico responsável, no sentido deste seguir a rota definida na solução. Com

isto pretendia-se saber quais os resultados positivos e negativos que se obtinham da aplicação do algoritmo.

Verificou-se, tal como já foi referido e de certa forma previsto, o problema dos pontos com códigos-postais iguais que se encontravam divididos em dias diferentes, particularmente a situação de entradas que apresentavam mais do que um equipamento, levando a que o técnico faça visitas aos mesmos locais ou às mesmas entradas em dias diferentes. O facto de existirem pontos cujos códigos-postais são iguais e estejam separados em dias diferentes é uma situação na grande maioria das vezes inevitável, uma vez que o tempo de manutenção para um técnico se encontra limitado diariamente a apenas seis horas. Um exemplo de *cluster* com vários pontos com o mesmo código-postal pode ser identificado na Figura 21.

19	E19858	Rua 9 de Abril, 912	PT-4250-345 Porto
20	E20686	Largo S. Dinis	PT-4250-424 Porto
21	VA105034	Rua Aval de Baixo, 151	PT-4200-104 Porto
22	VA105035	Rua Aval de Baixo, 151	PT-4200-104 Porto
23	VA105036	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto
24	VA105037	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto
25	VA105038	Rua Aval de Baixo, 189	PT-4200-104 Porto
26	VA105039	Rua Aval de Baixo, 189	PT-4200-104 Porto
27	VA105040	Rua Aval de Baixo, 205	PT-4200-104 Porto
28	VA105041	Rua Aval de Baixo, 205	PT-4200-104 Porto
29	VA1C-06A/81	Rua Faria Guimarães, 742 (738)	PT-4200-291 Porto
30	VA1C-06B/81	Rua Faria Guimarães, 742 (738)	PT-4200-291 Porto
31	VN100066	Rua S. Dinis, 76	PT-4250-425 Porto

Figura 21 Excerto exemplo da carteira do técnico.

Como se pode verificar na Figura 21, existe na carteira deste técnico um código-postal (PT-4200-104 Porto) ao qual estão associados pelo menos 8 pontos. Pode constatar-se que nesta lista, entre os 8 pontos identificados, encontram-se 4 entradas distintas, cada uma com dois equipamentos. Pretende-se então que sempre que o técnico se desloque a uma das entradas resolva ambos os equipamentos desse local. No entanto, se se supuser que em cada um dos equipamentos o técnico leva 50 minutos na respectiva manutenção, mesmo sem se considerar as deslocações efectuadas pelo técnico, é impossível que numa rota diária de 6 horas se possam incluir todos os pontos desse código-postal apresentado. Na melhor das hipóteses conseguem incluir-se 7 pontos na lista de manutenções de um dia, visto que com oito pontos a rota desse dia levaria mais de seis horas e meia a ser concluída, enquanto que com os sete pontos, sem considerar as deslocações, o tempo de manutenções total atingia pouco menos de seis horas. Ainda assim, mesmo a solução com sete pontos

não pode ser levada em conta, uma vez que os pontos são apresentados aos pares, como se de um equipamento só se tratasse, pelo que se forem utilizados apenas sete pontos, uma das entradas ficaria incompleta. O sétimo ponto terá então que passar, em conjunto com o seu “par”, para a rota de outro dia, para que nenhuma entrada fique incompleta. Fica assim uma rota com seis pontos iguais, na melhor das hipóteses, visto que depende da solução criada pelo algoritmo até ao momento em que este se depara com o *cluster*, sendo concluída com um ou mais pontos encontrados com base na heurística “vizinho mais próximo”, se os limites ainda não tiverem sido atingidos.

A forma como este processo foi resolvido e implementado, bem como os resultados obtidos, serão apresentados nas subsecções 4.2 e 4.3.

Aquando da obtenção dos resultados relativos a cada uma das rotas do mês de um dado técnico, os resultados do tempo total em cada dia não eram uniformes, isto é, não apresentavam a mesma duração total. Apenas era garantido que a solução se encontrava dentro dos limites que foram definidos, pelo que uma rota poderia demorar 6 horas a ser percorrida e outra, por exemplo, 6 horas e 20 minutos. Tendo essa situação em mente pensou-se na possibilidade de balancear as rotas, para que a duração das mesmas fosse mais ou menos homogénea e o horário estipulado para o técnico fosse sempre o mesmo todos os dias. No entanto esta consideração foi abandonada, não só porque ia desfazer as soluções criadas com as heurísticas implementadas, mas também porque essa tarefa iria ser dificultada pelas trocas possíveis no problema. Veja-se que nas deslocações efectuadas pelo técnico, o tempo efectivo de deslocação durante a sua rota é consideravelmente pequeno em relação aos tempos em que se encontra a realizar as manutenções propriamente ditas. Desta forma, a maior influência sobre o tempo total das rotas verifica-se como resultante em parte das deslocações (visto que uma deslocação pequena quase não prejudica a solução, mas uma deslocação grande correspondente, por exemplo, a dezenas de minutos, já possui um cota importante no resultado), mas principalmente dos equipamentos e respectivos tempos de verificação que se encontram numa dada rota. Estes tempos de manutenção podem variar entre um mínimo de 20 minutos até cerca de uma hora, pelo que é de notar a influência dos mesmos nos resultados.

4.2. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO FINAL

Nesta subsecção será explicado em maior detalhe todo o processo de aquisição, optimização e fornecimento de uma solução ao utilizador.

- Obtenção da informação necessária relativa ao técnico e aos respectivos equipamentos:

O primeiro passo, concretizado com a recolha de toda a informação, engloba a identificação e consideração de todos os equipamentos, com as respectivas características, do técnico pretendido. Ainda nesta etapa é incluída a tarefa de armazenamento de toda a informação numa base de dados criada propositadamente para os dados necessários ao algoritmo. Encontra-se também contemplado o cálculo de toda a matriz de distâncias relativa à carteira do responsável em causa, bem como a armazenagem dos resultados obtidos.

- Algoritmo responsável pela criação da solução pretendida:

A segunda etapa é caracterizada por todo o processamento do algoritmo de cálculo da rota do técnico. Nesta o programa é responsável pelo cálculo e determinação da solução final que contém todas as rotas de cada dia de manutenção do colaborador, que no seu conjunto formam a rota optimizada mensal utilizada pelo responsável para se guiar ao longo de todas as suas visitas de verificação. Contempla ainda a correcção de possíveis rotas que possuam equipamentos da mesma entrada a ser resolvidos em dias diferentes.

- Resultado ou elaboração do relatório de manutenção:

Na terceira e última etapa encontra-se todo o processo de elaboração e preenchimento do relatório final de manutenções com o resultado obtido no algoritmo. Este relatório é o documento utilizado posteriormente pelo técnico no exercício da sua actividade ao longo do mês.

O programa descrito foi desenvolvido em Linguagem C usando o Microsoft Visual Studio 2012, tendo sido utilizada a plataforma *MySQL* para guardar os dados obtidos dos equipamentos e da matriz de distâncias. Foi feita ainda uma abordagem ao XML aquando do tratamento dos pedidos de distância e tempo de deslocação ao *MapQuest*, bem como na elaboração dos relatórios de manutenção em formato de documento *Word*.

4.2.1. JANELA DE INTERAÇÃO COM O UTILIZADOR

O utilizador que pretende obter a listagem que apresenta as rotas de todo o mês para um determinado técnico depara-se com uma janela inicial ao abrir o programa. Essa janela é idêntica à apresentada na Figura 22.

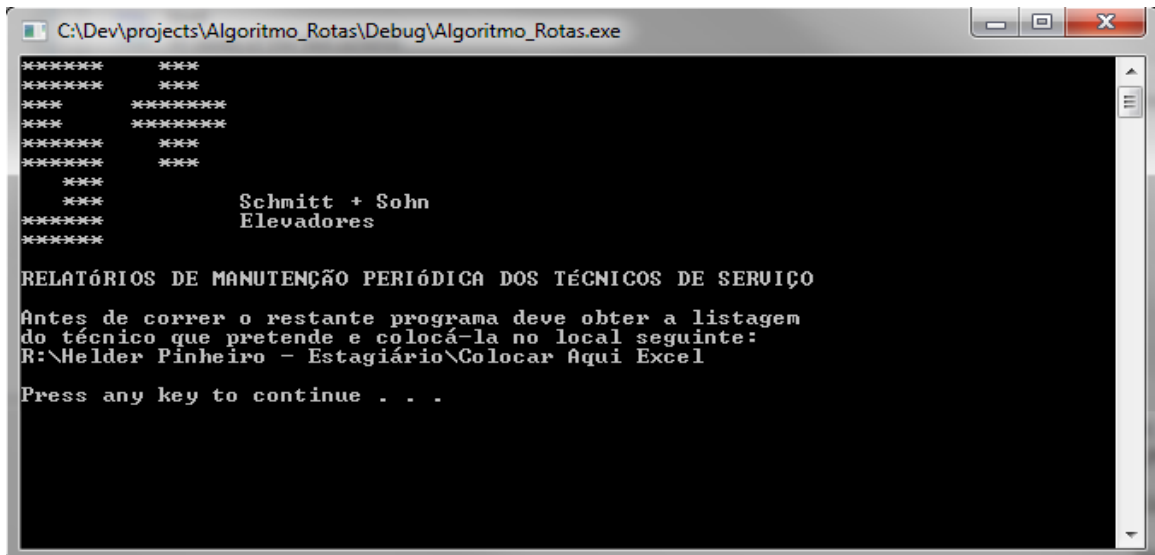


Figura 22 Janela inicial de apresentação do programa ao utilizador.

Como se pode verificar, o layout apresentado é bastante simples e intuitivo, para que o programa seja de fácil utilização e rápido acesso para a pessoa que procura obter o relatório de manutenções. Mal é aberto o programa, sabendo o utilizador qual o objectivo do mesmo, é apresentada uma mensagem indicando o endereço onde deve ser colocado o ficheiro *Excel* – “R:\Helder Pinheiro – Estagiário\Colocar Aqui Excel”. Este corresponde ao ficheiro do técnico do qual se pretende obter a listagem de manutenções mensal, obtido previamente realizando um pedido ao *software Navision*, tal como descrito na sub-subsecção 4.1.2. Assim, garante-se que todas as listas com os equipamentos dos respectivos técnicos se encontram armazenadas na mesma pasta, apenas solicitando ao utilizador que indique qual a identificação do responsável do qual pretende obter a rota de verificações.

Carregando em qualquer tecla, confirmando a acção solicitada pelo programa, este coloca duas questões ao utilizador: uma correspondente à identificação do técnico do qual se quer criar a lista de manutenções mensal; outra identificando a extensão do documento *Excel* que foi colocado no endereço indicado pelo programa.

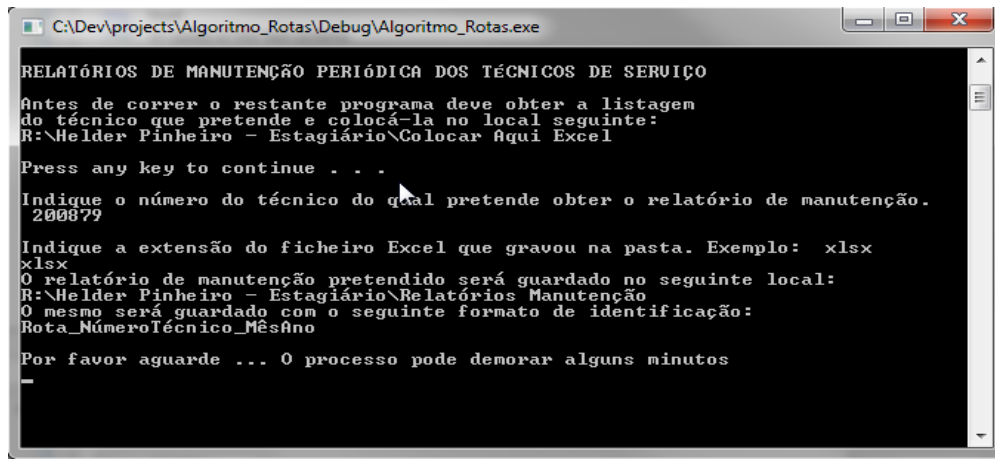


Figura 23 Janela de interação do programa com o utilizador.

Na Figura 23 podem observar-se as duas solicitações efectuadas pelo programa, tendo o utilizador respondido à primeira com o valor “200879”, valor esse que indica o número de identificação do técnico pretendido. Na segunda o utilizador indicou o valor “xlsx”, atendendo a que esta era a extensão apresentada pelo documento *Excel* que fora obtido do *Navision* e posteriormente guardado na pasta “Colocar Aqui Excel”. No final da introdução das respostas pelo utilizador o programa apresenta o endereço do local onde será colocado o relatório de manutenção do técnico resultante do algoritmo, bem como o formato da identificação do documento: “Rota_NúmeroTécnico_MêsAno”. Assim, o documento que resultar da solicitação exemplo da imagem será: “Rota_200879_MêsAno”, sendo que Mês e Ano serão duas variáveis preenchidas conforme a data do momento em que a lista foi solicitada.

No final da obtenção de todos os dados dos equipamentos e da matriz de distâncias respectiva, bem como o armazenamento de toda a informação, depois do processamento do algoritmo e da elaboração do relatório de manutenções, a janela apresentada fecha automaticamente e o utilizador apenas tem que se deslocar ao endereço que lhe foi apresentado para recolha da listagem das rotas diárias do mês do técnico.

4.2.2. RECOLHA DOS DADOS NECESSÁRIOS AO ALGORITMO

Após a obtenção do documento em *Excel* que contempla toda a informação dos equipamentos do técnico para o qual se pretende criar o relatório, e este ter sido colocado na localização indicada pelo programa, uma ligação é aberta entre o programa e a plataforma *MySQL* onde se encontra a base de dados com as tabelas nas quais são

armazenados os dados relativos aos equipamentos (“Equipamentos_def”) e à matriz de distâncias (“Distancias_def”), sendo esta terminada quando todos os dados tiverem sido transferidos para as respectivas tabelas. Estas podem ser identificadas na Figura 24, assim como outras que foram utilizadas ao longo dos testes do problema.

The screenshot shows the MySQL Administrator interface. The main window displays a list of tables in the 'test' schema. The table 'Equipamentos_def' is highlighted in blue. The table list includes the following data:

Table Name	Engine	Rows	Data length	Index length	Update time
Distancias_200879	InnoDB	2993	240 kB	0 B	
Distancias_def	InnoDB	2138	176 kB	0 B	
Distancias_GMapa	InnoDB	38	16 kB	0 B	
Distancias_OGH	InnoDB	1996	176 kB	0 B	
Distancias_Porto	InnoDB	72	16 kB	0 B	
Elev_Contract_Porto	InnoDB	13	16 kB	0 B	
Elev_Contract_Tecnic	InnoDB	120	64 kB	0 B	
Elev_teste	InnoDB	85	64 kB	0 B	
Equipamentos_def	InnoDB	269	64 kB	0 B	
Tecnicos	InnoDB	1	16 kB	0 B	
TESTES	InnoDB	107	64 kB	0 B	

Figura 24 Tabelas criadas na base de dados, incluindo testes e definitivas.

O primeiro passo corresponde à “limpeza” da tabela de equipamentos (“Equipamentos_def”), sendo esta actualizada e preenchida com as informações dos equipamentos do novo técnico. De notar que o documento *Excel* obtido com a lista de equipamentos tem a particularidade de poder exibir as suas colunas por uma ordem diferente da prevista, bem como a língua em que estas se apresentam poder variar, pelo que o código desenvolvido teve em conta essas variações. Esta tabela é copiada para uma estrutura criada no código que será acedida ao longo do processamento do algoritmo.

O passo seguinte passa pela obtenção da matriz de distâncias da carteira de equipamentos do técnico. Assim, da mesma forma que se procedeu para a tabela de equipamentos, também a tabela de distâncias (“Distancias_def”) é actualizada com os novos dados, neste caso a distância e tempo dos pares de deslocações possíveis com cada ponto de que o técnico é responsável. De notar que existindo *clusters*, ou seja, grupos com mais do que um ponto com o mesmo código-postal, basta apenas obter o cálculo ao primeiro ponto do *cluster*, uma vez que a distância aos restantes será igual ou idêntica, assim como o cálculo

dos dados no sentido inverso, ou seja, dos pontos de um grupo a outro ponto apenas será realizado uma vez, visto que os restantes também serão iguais ou idênticos.



Figura 25 Deslocações entre dois pontos distintos de um *cluster* a um mesmo ponto.

Pelo descrito no parágrafo anterior, conclui-se que as duas deslocações identificadas na Figura 25 entre dois pontos distintos de um mesmo *cluster* e o mesmo ponto de um *cluster* diferente, embora apresentem visualmente comprimentos diferentes, são consideradas como iguais, visto que o técnico deslocando-se a um ponto de um *cluster* (neste caso, rua), resolve esse ponto e os restantes desse grupo.

A obtenção da distância e respectivo tempo de deslocação entre dois pontos distintos compreende um conjunto de passos desde a criação do pedido, obtenção do resultado, tratamento do conteúdo e armazenamento da solução. Escolhendo o primeiro ponto da lista como ponto de partida e o próximo da lista como ponto de chegada é formado o primeiro par. Com este par, constrói-se o pedido a ser efectuado em formato *URL* à plataforma *MapQuest*, para que fique com o aspecto idêntico ao apresentado na sub-subsecção 4.1.3.

Os resultados de um pedido através da *API* do *MapQuest* são retornados através da página com um resultado *XML*. Por esta razão, optou-se por realizar o download de todo o código apresentado nessa resposta num documento de texto com a extensão “.xml”, para que todos os resultados fossem armazenados e o processamento posterior simplificado. A pasta de armazenamento foi chamada de “Dados do Open Street Maps”. A identificação de cada

documento é ditada pelos equipamentos envolvidos no pedido. Isto é, se o par de pontos (inicial e final) utilizados for, por exemplo, os equipamentos “E10120” (como ponto de partida) e “E10272” (como ponto de chegada), então o ficheiro é identificado como “E10120, E10272.xml”.

Após o ficheiro com o código *XML* estar armazenado, este é acedido retirando-se apenas os dados relativos à distância e ao tempo de deslocação entre os pares de pontos, identificados pelas suas respectivas *labels*: “<distance>” e “<time>”. Estes dados são armazenados na tabela de distâncias, sendo todo o processo repetido com cada par de pontos possível da carteira do técnico. Posteriormente toda a tabela é copiada para uma estrutura criada no programa, de forma idêntica à estrutura de equipamentos, para que seja acedida ao longo do processamento do algoritmo e construção das soluções.

Os passos descritos nesta sub-subsecção estão reunidos no fluxograma da Figura 26, resumindo todo o processo de obtenção dos dados de equipamentos e distâncias/tempos.

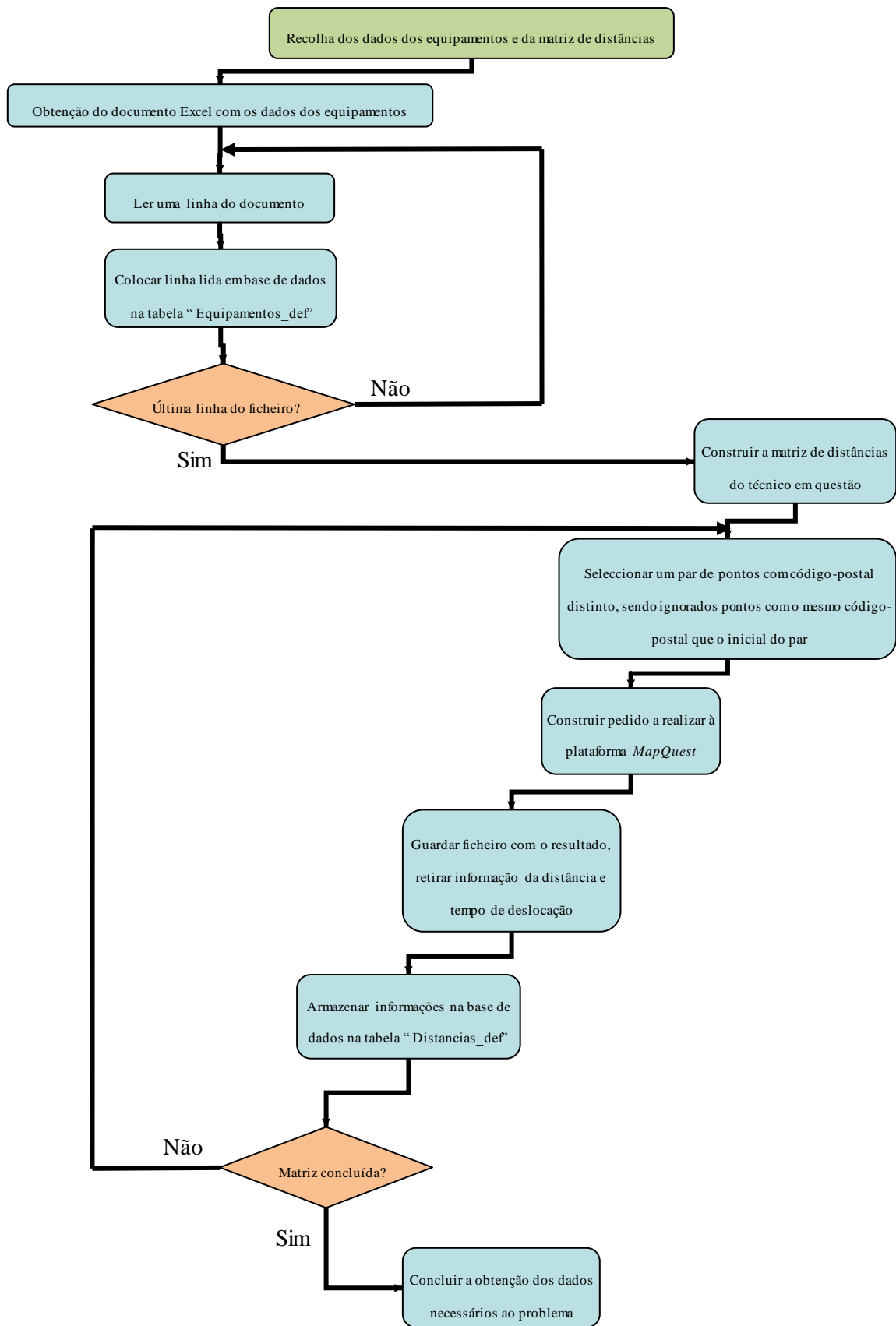


Figura 26 Fluxograma de recolha de todos os dados para o problema.

4.2.3. FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO

No algoritmo desenvolvido são criadas todas as soluções possíveis com cada um dos pontos da carteira de equipamentos do técnico (excepto em *clusters* onde apenas o primeiro ponto encontrado é testado como ponto inicial) como pontos iniciais. Quando reunidas todas as soluções, é escolhida aquela que apresenta um tempo total de rota mensal inferior a todas as outras.

Apresenta-se de seguida o processo realizado num ciclo de obtenção de uma rota diária, uma vez que todos os restantes ciclos são idênticos, sendo apenas modificadas as variáveis envolvidas, bem como aumentados os testes de verificação de *clusters* à medida que se passa para um dia seguinte. Estes testes de verificação servem para averiguar se em alguma das rotas já construídas em dias anteriores da solução ficou algum *cluster* com algum ponto do seu grupo por resolver. Se algum ponto sobrar de um grupo de equipamentos com o mesmo código-postal é testada a possibilidade da sua introdução na rota que se encontra a ser construída.

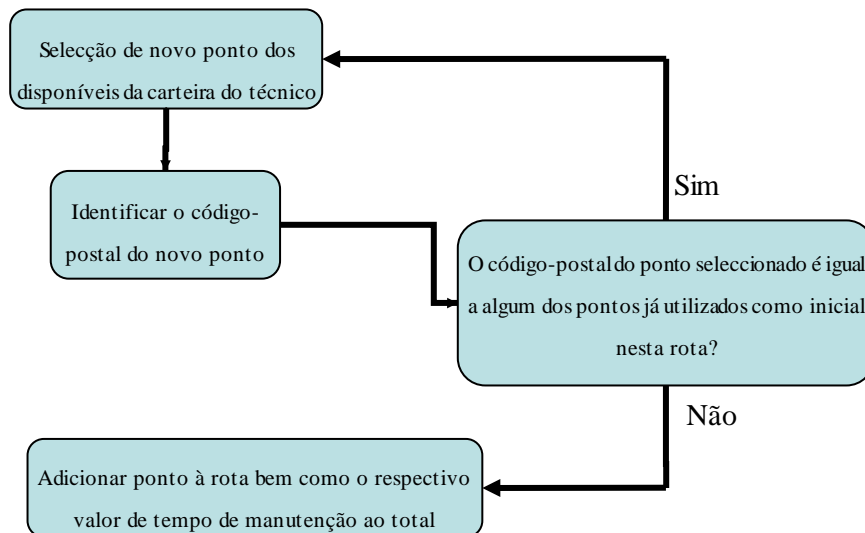


Figura 27 Fluxograma de escolha do próximo ponto a ser testado como inicial na primeira rota.

Na Figura 27 apresenta-se o fluxograma de selecção do próximo ponto a ser utilizado como inicial na primeira rota, sendo necessário que o ponto em questão possua código-postal distinto dos que já foram utilizados como ponto inicial de soluções anteriores. Depois de confirmada a condição anterior, bem como a da disponibilidade do ponto na carteira do técnico, o ponto encontrado é colocado na matriz de rotas de uma estrutura criada no programa que irá contemplar toda a rota mensal e a duração total da mesma

(tempos de manutenção aos equipamentos somados aos tempos de deslocação entre pontos). Esta estrutura conterá todas as soluções obtidas, no entanto não será daqui seleccionada a solução final do problema, mas sim de entre outras três estruturas criadas idênticas. Estas irão contemplar as três primeiras soluções do algoritmo e serão sucessivamente actualizadas à medida que melhores soluções do que as que possuem forem encontradas. Desta forma, entre elas irão encontrar-se as três melhores soluções obtidas pelo algoritmo, sendo no final seleccionada a rota que possui o menor tempo de percurso total para realizar as manutenções a todos os equipamentos da carteira do técnico. A razão pela qual foram seleccionadas três soluções e não duas prende-se com o facto de estas terem sido analisadas visualmente e em termos da qualidade de distribuição pelo decisor principal do problema, tendo-se constatado que a solução que apresentava o menor resultado (menos tempo total de percurso) era também consistentemente a que apresentava as melhores características na solução em termos de distribuição de pontos.

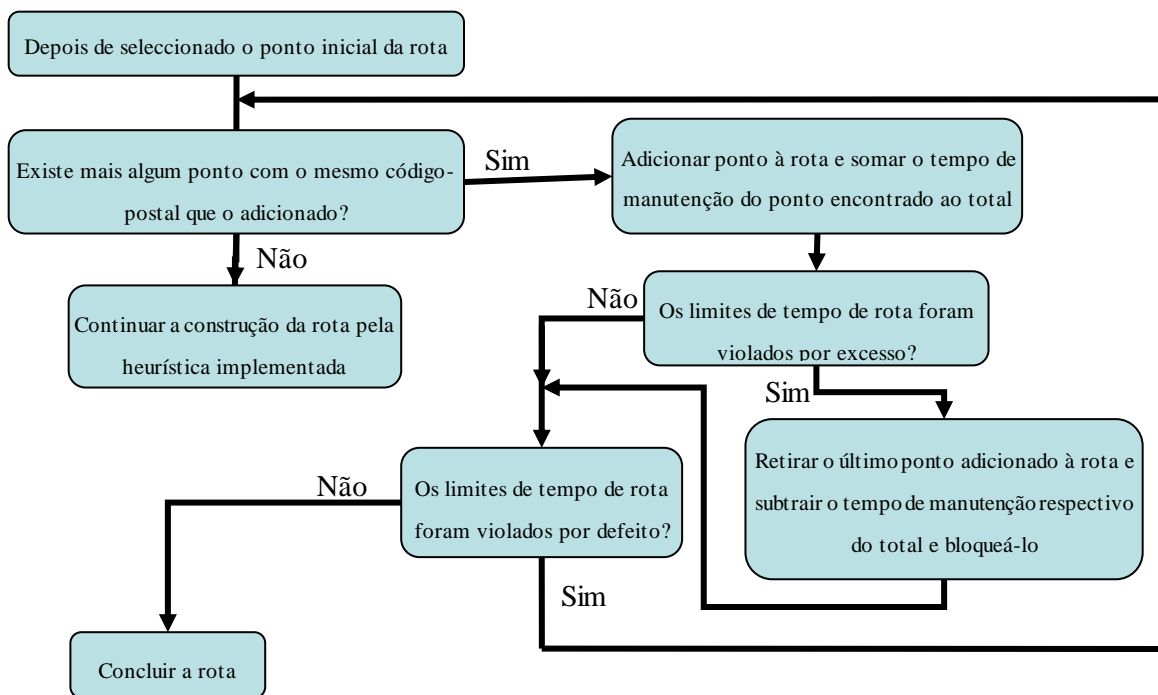


Figura 28 Fluxograma de selecção do próximo ponto a adicionar à rota com o mesmo código-postal.

Assim, o ponto encontrado pode ser incluído na rota segundo duas restrições: estando dentro dos limites do intervalo definido, concluindo-se a rota se mais nenhum ponto puder ser adicionado; se ao ser acrescentado não fizer com que a rota chegue sequer aos limites estipulados, indicando que existe a possibilidade de adicionar novo ponto à mesma, visto

ainda se encontrar incompleta, conforme se identifica na Figura 28. Nesta a violação dos limites de tempo por excesso corresponde a ultrapassar o limite máximo do intervalo (MAX_1) e por defeito a não atingir o limite mínimo do intervalo (MIN_1). Estes limites rondam as 6h estipuladas para manutenções preventivas, sendo os seus valores apresentados na Figura 29. No entanto, ao longo do texto serão utilizadas as nomenclaturas atribuídas a cada um dos extremos do intervalo para facilitar a descrição do problema. Os mesmos foram definidos com os valores indicados com base nos testes que serão descritos na subsecção 4.3, bem como pelos limites disponíveis na pior das hipóteses para o técnico.

```
#define MIN_1 21000    5h50mins
#define MAX_1 22200    6h10mins
#define MIN_2 19800    5h30mins
#define MAX_2 23400    6h30mins
```

Figura 29 Lista dos extremos definidos para os intervalos e respectivos tempos correspondentes.

Os dois segundos limites (MIN_2 e MAX_2) apenas são utilizados a partir do momento que o primeiro ponto da primeira rota do mês é seleccionado.

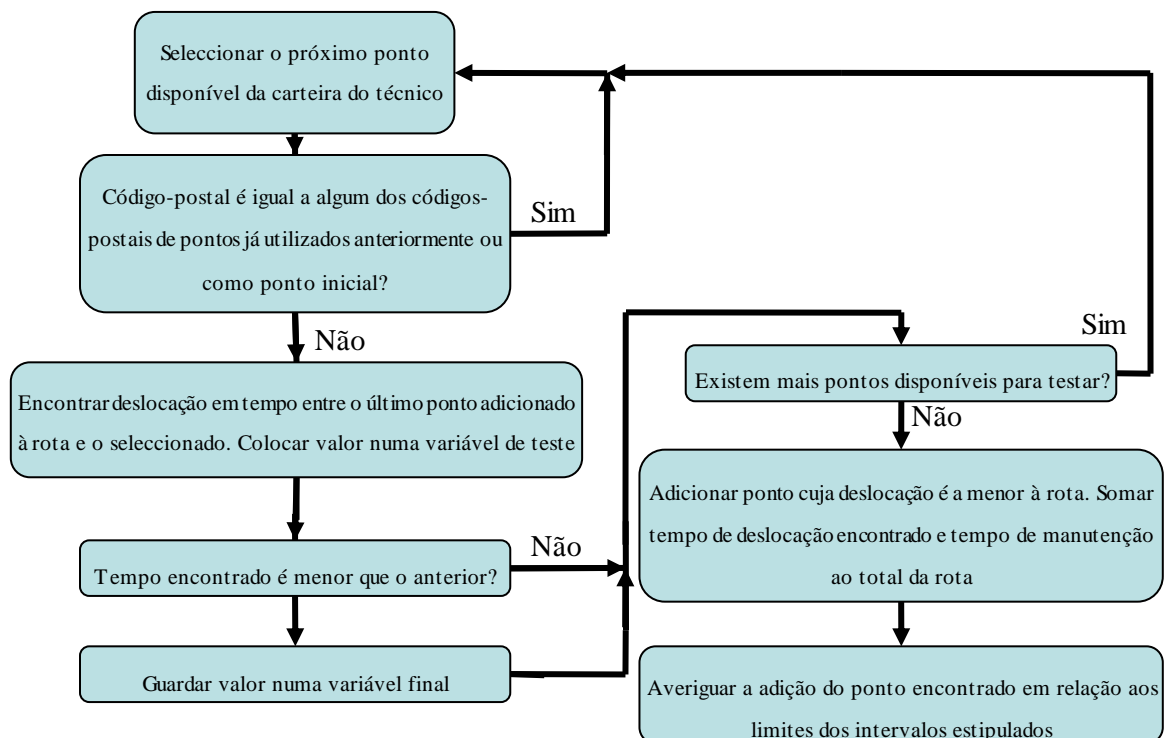


Figura 30 Seleccionar novo ponto a adicionar à rota utilizando a heurística escolhida.

No caso da rota inicial não se encontrar totalmente preenchida com apenas um ponto e o respectivo *cluster* a que pertence, caso este exista, selecciona-se novo ponto a adicionar à

rota segundo a heurística do “vizinho mais próximo” de forma idêntica à apresentada na Figura 30. Depois de encontrado o ponto com menor deslocação verifica-se se a sua adição à rota respeita as regras para que este processo seja bem sucedido, como apresentado na Figura 31.

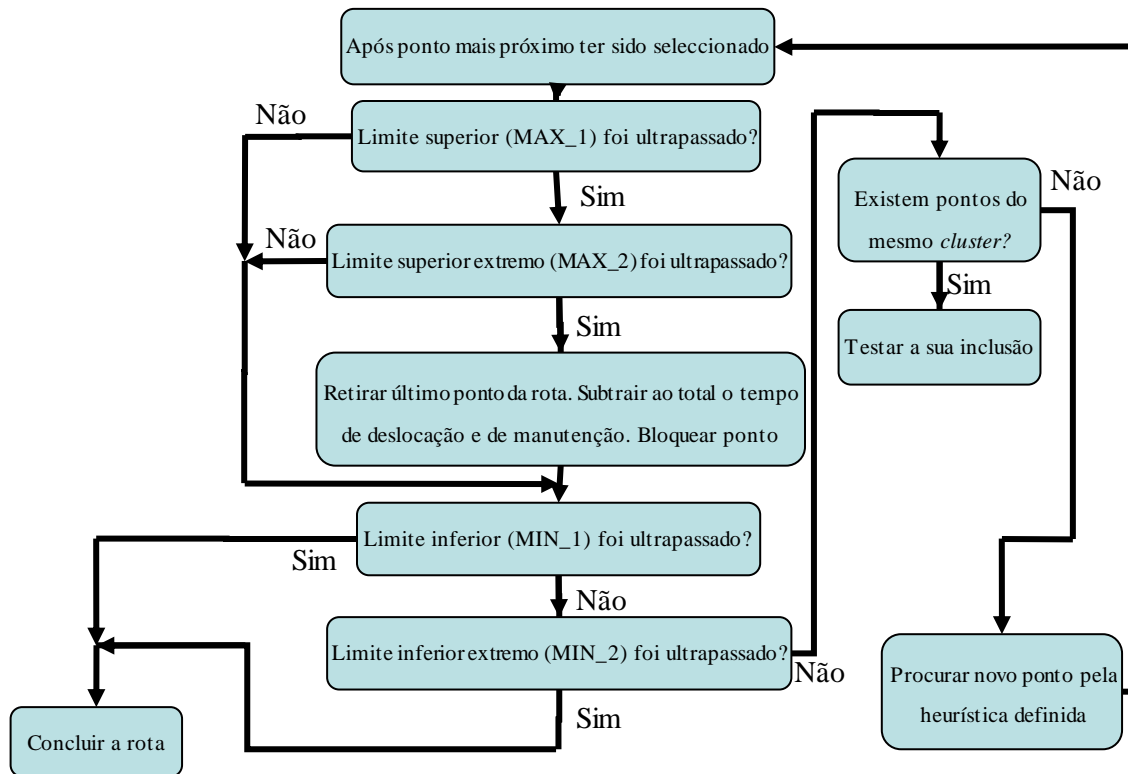


Figura 31 Verificação dos intervalos estipulados com a adição de um novo ponto.

No caso de a rota não chegar a ser concluída com o novo ponto encontrado, testa-se a inclusão dos pontos que possuam o mesmo código-postal que o ponto testado, de forma idêntica ao processo realizado para o ponto inicial no fluxograma da Figura 28.

Em qualquer das situações descritas, quer pela escolha de um vizinho mais próximo, quer pela inclusão de um ponto com o mesmo código-postal do último adicionado à rota, quer ainda (apesar de rara) pela possibilidade da rota não poder ser concluída dentro dos limites definidos, esta acabará por ser fechada e passar-se-à para um novo dia, no qual também se pretende criar uma lista de manutenções preventivas para o técnico. Assim, é aberto um novo ciclo, único, que é responsável pela elaboração da visita orientada do técnico na respectiva data, tal como foi referido no início da descrição do programa.

A abertura do novo ciclo contempla não só a inicialização de uma nova rota, a averiguação quanto à disponibilidade dos equipamentos, visto que existe a possibilidade de alguns

ficarem bloqueados na rota anterior por provocarem a violação dos limites definidos quando adicionados a esta, bem como um conjunto de testes que fazem diferenciar estes do processo realizado para a obtenção da rota do primeiro dia. Assim, para além da selecção do ponto inicial, também são necessárias verificações dos grupos de equipamentos com códigos-postais iguais. Desta forma, é criado dentro de um novo ciclo um teste primordial que apenas é realizado até que tenha sido definido o ponto de início da nova rota e os respectivos pontos com o mesmo código-postal incluídos, enquanto não fizerem com que a solução atinja os limites de conclusão, e caso o *cluster* exista.

O processo do ciclo é idêntico ao apresentado para a primeira rota, verificando-se a disponibilidade do novo ponto seleccionado testando-se se o ponto encontrado possui código-postal igual a algum dos pontos resolvidos na rota anterior (ou rotas anteriores caso se esteja a criar a rota de um dia mais avançado que o segundo), para que seja completado o *cluster* que porventura tenha ficado incompleto.

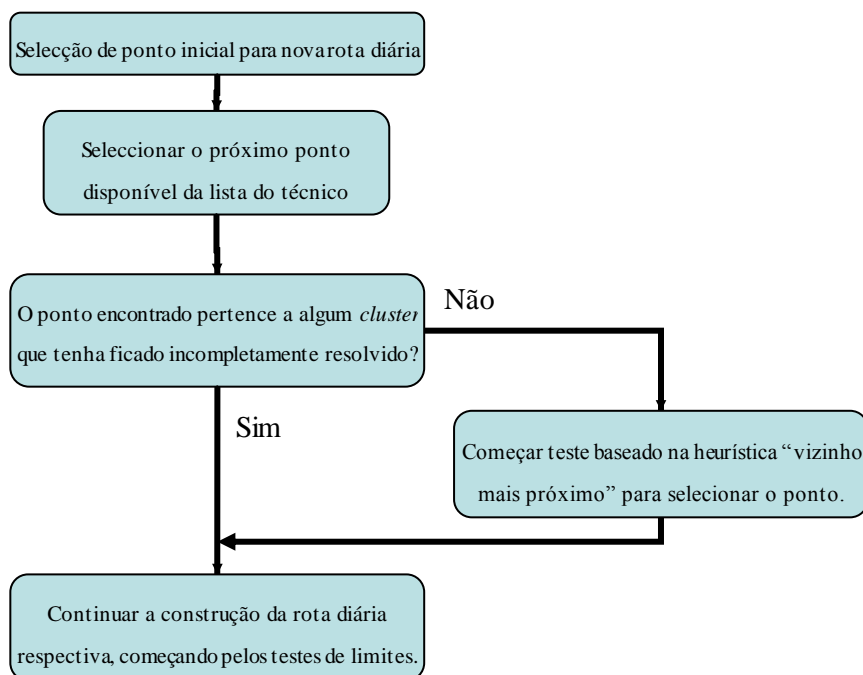


Figura 32 Selecção do novo ponto de uma rota diária que não a primeira.

A selecção apresentada na Figura 32 contempla a averiguação que é realizada de forma idêntica em cada um dos ciclos de elaboração de rota e para cada um dos dias anteriores à rota que se encontra a construir. Caso não se verifique que o ponto disponível encontrado possua o mesmo código-postal que um *cluster* anterior incompletamente resolvido, realiza-se o teste idêntico ao apresentado na Figura 30, tomando como ponto inicial o último ponto

da rota anterior. Em qualquer das situações realizam-se os posteriores testes de intervalos como na Figura 31, seguidos da adição dos pontos que pertençam ao mesmo *cluster*, caso existam, do ponto que acabou de ser adicionado. Se este não for o caso a rota é completada com outros pontos selecionados pela heurística do “vizinho mais próximo”.

Todos os ciclos envolvidos na elaboração de rotas são idênticos à descrição realizada anteriormente, sendo acrescentadas as devidas verificações sucessivas de *clusters* incompletos dos dias anteriores, nos quais já existem rotas definidas. São ainda incluídos testes nos últimos ciclos de elaboração de rotas para averiguação da disponibilidade de pontos. Quando se atinge o estado de não existência de nenhum ponto disponível, significa que todos os equipamentos se encontram distribuídos pelas rotas do mês, podendo a solução total ser fechada, pelo que estas verificações são realizadas no início de cada ciclo e sempre que um novo ponto é colocado na rota.

Depois de uma solução completa ter sido criada (todas as rotas disponíveis utilizadas ou utilização de todos os equipamentos disponíveis na carteira do técnico), o primeiro passo é confirmar exactamente essa questão: verificação da matriz de bloqueios (pontos que ficaram bloqueados por não poderem ser utilizados), averiguando se não existe nenhum ponto pendente, testando de seguida se ficaram pontos por resolver ou não da lista de equipamentos do técnico respectivo. De notar que a existência ou não de pontos sem qualquer intervenção em qualquer das vinte rotas dita o destino da solução criada nesse momento, já que se a mesma apresentar todos os equipamentos da carteira do técnico irá ser utilizada para averiguar se é uma das três melhores soluções. Caso contrário é desprezada, passando-se directamente para a criação de nova rota mensal possível, se ainda não tiverem sido criadas todas as soluções concretizáveis com os equipamentos da carteira do técnico. Desta forma, sempre que uma nova solução é criada, desde que nenhum ponto tenha ficado por verificar em algum dos dias, é testada a qualidade da solução obtida relativamente às soluções já obtidas anteriormente. As três primeiras soluções do algoritmo são colocadas nas três estruturas que conterão as três melhores soluções, sendo actualizadas à medida que novas soluções melhores sejam encontradas.

Depois de atingido o final da lista de equipamentos do técnico e já não existirem mais soluções possíveis de ser elaboradas, o programa prossegue para a selecção da melhor solução encontrada de entre as três contempladas nas três estruturas referidas anteriormente. Para armazenar a referida solução definitiva foi criada uma nova estrutura

que contém os dados da rota necessários ao preenchimento final do documento que será disponibilizado ao técnico de serviço respectivo: identificação dos equipamentos envolvidos, duração total da rota, moradas dos equipamentos, códigos-postais e tempos de manutenção dos respectivos pontos envolvidos. Sobre esta estrutura que possui a solução final definitiva são realizados os testes relacionados com o problema mencionado na sub-subsecção 4.1.10: entradas com mais do que um equipamento serem visitadas mais do que uma vez em rotas diferentes, em vez dos equipamentos envolvidos nessa entrada estarem contemplados na intervenção do mesmo dia. Esta correcção apresenta-se ilustrada no fluxograma da Figura 33.

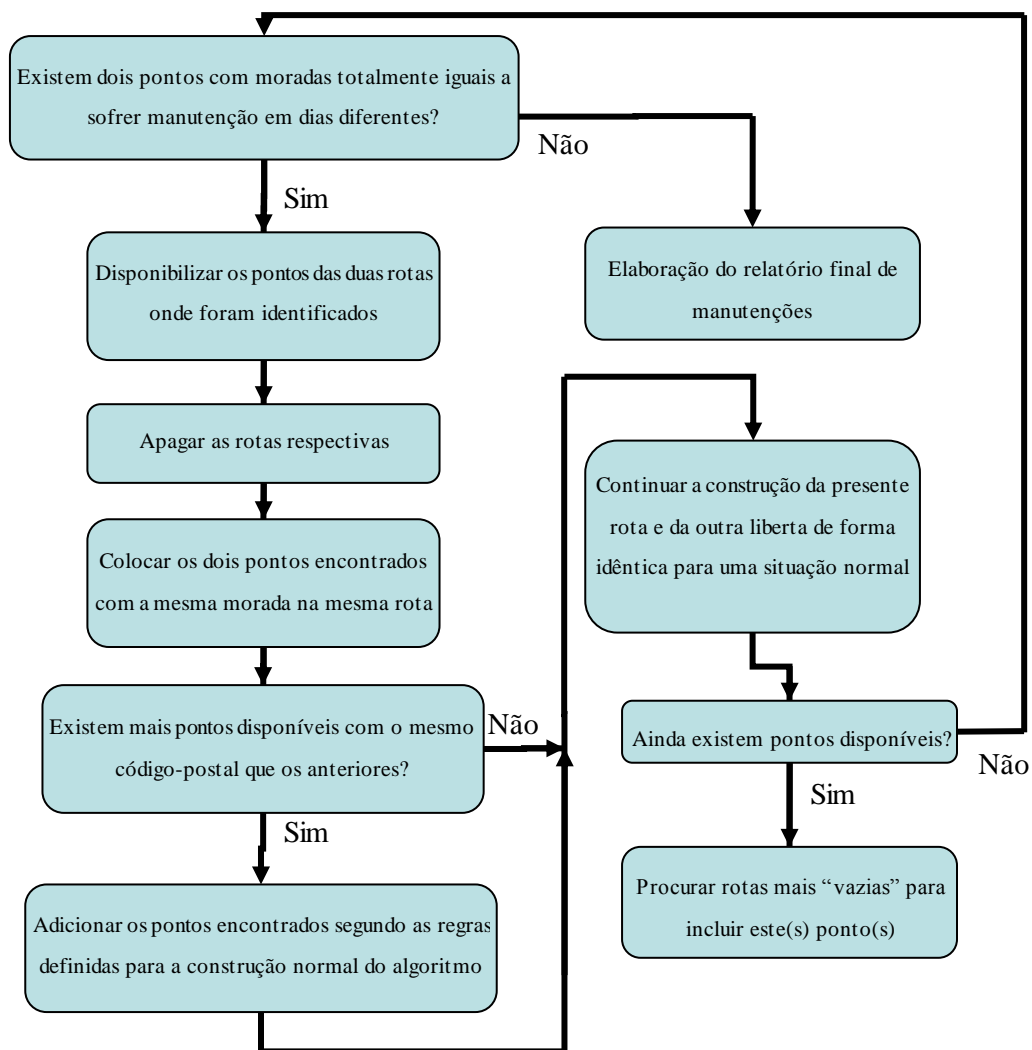


Figura 33 Resolução do problema identificado nas rotas relativo às entradas.

De referir que, na correcção das rotas, sempre que um novo ponto é encontrado pela heurística do “vizinho mais próximo” ou pela igualdade de código-postal em relação ao

anterior, testa-se a existência de algum equipamento, nos disponíveis, que possua todas as características iguais ao seleccionado, para que o problema de entradas com mais de um equipamento a ser resolvidas em mais do que um dia não volte a acontecer.

Um caso particular possível de acontecer nesta correcção às rotas é de duas rotas completas conseguir-se obter uma rota melhor distribuída e preenchida, e uma segunda rota que fique incompleta, ou seja, que não utiliza o tempo total que tem disponível para realizar manutenções de prevenção.

4.2.4. ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL DE MANUTENÇÕES

Finalizada a obtenção definitiva da solução de rota mensal para o técnico em questão, segue-se a criação do relatório em forma de lista que contempla as manutenções diárias organizadas que o responsável deve seguir.

Esta lista resulta da conjugação de vários ficheiros que possuem excertos de código *XML*, que vão sendo sucessivamente adicionados a um ficheiro final, que para além de todo o código do documento, contempla também as informações das rotas diárias. Todo este código dá origem a um ficheiro em formato *Word* que apresenta uma tabela onde se encontram os dados dos diferentes equipamentos para as diferentes rotas diárias do técnico. O nome do ficheiro segue a estrutura “Rota_NúmeroTécnico_MêsAno”, sendo que a parte identificada como “NúmeroTécnico” é substituída pela identificação do técnico respectivo e o “MêsAno” pelos respectivos mês e ano em que foi obtido o relatório. Este é guardado na pasta “Relatórios de Manutenção”.

O relatório elaborado pelo programa desenvolvido tem a estrutura apresentada no Anexo E e no Anexo F.

4.3. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Nesta subsecção serão realizadas algumas comparações que contemplam não só os novos resultados obtidos através do algoritmo desenvolvido, mas também a solução que era utilizada pelos técnicos até à implementação do novo processo. Estas comparações são realizadas não só apenas pelos valores apresentados pelas rotas diárias e o total mensal, mas também pelas deslocações efectuadas visualmente através do apoio de mapas.

De acordo com o que já foi descrito anteriormente, foram criados dois intervalos para apoio na conclusão de uma rota, sendo que o primeiro trata-se do primeiro teste de averiguação quanto ao fecho que uma rota e o segundo normalmente testa uma gama mais abrangente de valores para a conclusão da lista. No entanto este pode não ser o procedimento adoptado. Desta forma, começa-se esta apresentação de resultados pela atribuição de diferentes valores aos limites dos intervalos definidos para os testes de fecho de uma rota, realizando-se uma avaliação criteriosa quanto ao total alcançado com a carteira de um dos técnicos testados.

Tabela 3 Intervalos testados e respectivas melhores soluções encontradas com o algoritmo.

	1º Intervalo		2º Intervalo		Duração Total da Rota
	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	
1	5.500	6.500	5.000	7.000	117.709
2	5.500	6.500	5.500	7.000	117.709
3	5.556	6.500	5.500	6.944	117.794
4	5.556	6.500	5.500	7.000	117.794
5	5.556	6.500	5.556	7.000	117.794
6	5.667	6.333	5.500	6.500	117.772
7	5.750	6.250	5.667	6.333	117.853
8	5.833	6.167	5.500	6.500	117.593
9	5.833	6.167	5.583	6.417	117.693
10	5.833	6.167	5.667	6.333	117.853
11	5.833	6.167	5.750	6.250	118.019
12	5.833	6.167	5.833	6.167	118.399
13	5.833	6.333	5.500	6.417	117.654
14	5.833	6.333	5.556	6.389	117.646
15	5.833	6.333	5.556	6.667	117.792
16	5.833	6.333	5.583	6.417	117.693
17	5.833	6.333	5.583	6.500	117.759
18	5.833	6.333	5.667	6.417	117.843
19	5.833	6.333	5.667	6.500	117.759
20	5.833	6.667	5.556	6.389	117.792
21	5.917	6.083	5.833	6.167	118.396
22	6.000	6.167	5.500	6.500	117.646
23	6.000	6.333	5.500	6.500	117.593
24	6.000	6.333	5.833	6.500	117.790
25	6.389	7.167	5.833	7.333	117.794

Os valores apresentados na tabela anterior encontram-se todos em horas.

Como se verifica na Tabela 3, vários testes foram concretizados no sentido de validar as escolhas para os limites dos intervalos envolvidos nas decisões de fecho de rotas no algoritmo. Para além de se averiguar as diferenças entre pequenas mudanças nos limites extremos das gamas criadas, também foram testados valores que estavam completamente

fora de consideração do problema, como é o caso dos valores que se apresentam superiores a 23400 segundos (6 horas e 30 minutos), visto que se pretende que as seis horas estipuladas para as manutenções preventivas sejam cumpridas na medida do possível, sem grande disparidade, mas com alguma folga. Estes testes serviram apenas para clarificar dúvidas que pudessem existir quanto à não utilização do tempo restante das oito horas de trabalho diário de um técnico. De entre todos os resultados apresentados, destacam-se duas soluções com o mesmo valor total de duração de rota mensal, que são as sugestões 8 e 23 (423333 segundos, equivalentes a 117,6 horas ou a 19 dias de manutenções com 6 horas e um dia com cerca de 3 horas de manutenções), correspondendo estas ao melhor resultado encontrado. Ainda assim, existem outras possibilidades de intervalos que produziram um valor total não muito superior ao apresentado, enquanto outras sugestões elaboravam rotas mensais com mais 50 minutos do que o total da melhor solução, aproximadamente.

Entre as duas melhores soluções encontradas, escolheu-se a que é apresentada na posição 8, uma vez que se pretendia que houvesse uma pequena folga no primeiro intervalo, por forma a que as soluções estivessem o mais próximas possíveis das seis horas diárias estipuladas como regra para as manutenções preventivas de cada técnico. Por outro lado, o segundo intervalo apresentava uma gama com uma folga maior que pretendia contemplar rotas que não fossem concluídas em 10 minutos a mais ou menos do que as seis horas anteriores referidas, sendo que este intervalo ia até 30 minutos a mais ou a menos do que o tempo ideal estipulado.

Os resultados apresentados na Tabela 3 correspondem às soluções encontradas antes da aplicação da melhoria no código que impedia que uma entrada fosse visitada mais do que uma vez em rotas distintas, fazendo com que inevitavelmente o técnico se deslocasse duas vezes ao mesmo local, provocando uma repercursão na solução total. Ainda assim, como se verificará, esta solução consegue ser melhor do que a solução que era utilizada anteriormente. Será também apresentado o resultado final da rota construída pelo programa, já com as modificações, a qual adquire um tempo total de manutenções mensais com deslocações mais curto que o melhor encontrado na Tabela 3, tal como se verificará de seguida.

A comparação aqui apresentada recai essencialmente sobre os tempos totais de manutenção das rotas do mesmo técnico com a solução que era utilizada até ao desenvolvimento do novo programa e aquela que é produzida pelo algoritmo desenvolvido.

Tabela 4 Comparação entre a solução antiga e a do algoritmo para o técnico 1 (201039).

Técnico 1 - 201039	Percurso (h)	Nº de Rotas utilizadas
Rota Anterior s/ actualizações	103.400	18
Rota Anterior c/ actualizações	119.150	21
Rota Obtida c/ Algoritmo	116.320	19
Poupança total (aprox.)	2.830	2 (poupança)

Na Tabela 4 apresentam-se as durações totais dos percursos das rotas mensais do técnico 1 (201039), bem como a poupança inerente com a implementação do algoritmo desenvolvido. As duas primeiras soluções apresentadas (sem actualizações e com actualizações) podem ser conferidas no Anexo B, sendo que a diferença entre elas deve-se ao facto da primeira corresponder à lista de manutenções do técnico que foi disponibilizada pela Schmitt, a qual apresentava equipamentos que já não faziam parte da carteira do técnico (num total de 100 minutos em manutenções inerentes a dois equipamentos, bem como as deslocações a estes que contabilizavam 5 minutos), bem como a inexistência de outros que entretanto haviam sido contractados (num total de 16 equipamentos que perfazem 1050 minutos em manutenções, sem contar ainda com deslocações). A terceira solução apresentada corresponde à rota mensal obtida para o técnico através do algoritmo produzido cujo valor pode ser conferido no Anexo E.

Por análise da Tabela 4 conclui-se que ao todo se consegue poupar cerca de 2 horas e 50 minutos do total mensal que era utilizado com a metodologia da solução antiga. Esta poupança embora pareça insignificante, com a reestruturação e optimização da distribuição dos pontos pelas rotas traduz-se numa redução efectiva de cerca de dois dias na rota mensal do técnico comparativamente à solução que era utilizada até ao desenvolvimento do presente programa. De notar que no resultado apresentado por esta última não estão contabilizadas as deslocações entre os novos pontos envolvidos na rota do técnico, pelo que se essas fossem levadas em conta, provavelmente a diferença ainda seria maior do que a apresentada. Observa-se também que a rota antiga com actualizações ultrapassa os 20 dias de manutenção, condição que é crítica para meses cujos os dias úteis não ultrapassem os 20 dias (maioria). Pode ainda conferir-se que mesmo o melhor resultado apresentado para a rota antes da implementação das melhorias finais do algoritmo, que permitiram corrigir os problemas de pontos de uma mesma entrada resolvidos em dias diferentes, é melhor que a solução que era utilizada antes do desenvolvimento do algoritmo aqui apresentado.

Confirmada a melhoria na rota mensal do técnico com a utilização do algoritmo, foi ainda realizada uma comparação visual recorrendo aos mapas do *Google*, onde se apresenta a distribuição dos pontos envolvidos na carteira do técnico e dispostos segundo as suas rotas, para que fosse possível analisar as diferenças e possíveis más decisões na solução antiga, comparativamente àquela que é obtida através do novo programa. No entanto, para análise visual e a título de exemplo apenas se apresentam dois excertos correspondentes a rotas definidas na listagem antiga e a rotas da listagem obtida a partir do algoritmo, ainda antes da implementação de qualquer melhoria referente à resolução dos problemas identificados quanto à resolução de dois equipamentos de uma mesma entrada em dias diferentes.

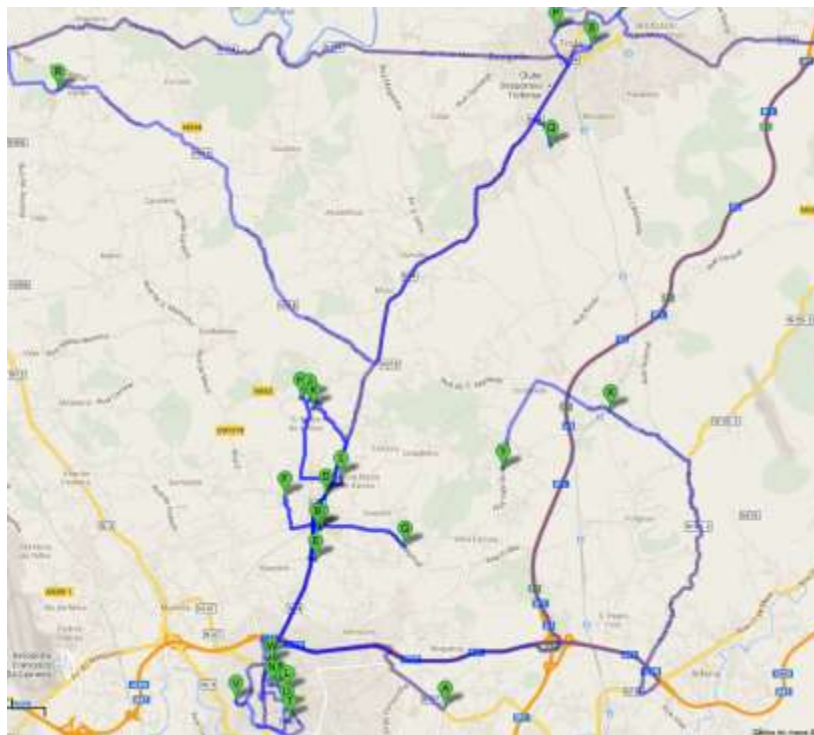


Figura 34 Parte da rota antiga – visão geral.

Na Figura 34 apresenta-se parte da rota mensal do técnico 1. É de notar que a rota de um dia tem o seu último ponto conectado ao ponto inicial da rota do dia seguinte, visto que o *GoogleMaps* apenas permite a introdução sucessiva de pontos sem qualquer divisão. Assim, na Figura 34 constata-se uma rota crítica, constituída pelos pontos P, S, Q e R, uma vez que produz uma deslocação bastante significativa, nomeadamente aquando da visita e regresso do ponto R. Esta situação pode ser resolvida se este passar a ser um dos pontos iniciais ou finais de uma rota diária, uma vez que os percursos efectuados pelo técnico até ao primeiro ponto de uma rota ou a partir do último ponto de uma rota não são contabilizados nos tempos totais.

De seguida apresenta-se uma imagem que contém um excerto da rota mensal obtida com o algoritmo antes da implementação de melhorias e correcções da melhoria. Esta parte de solução corresponde ao melhor resultado apresentado na tabela que permitiu decidir quais os limites dos intervalos a utilizar (Tabela 3).

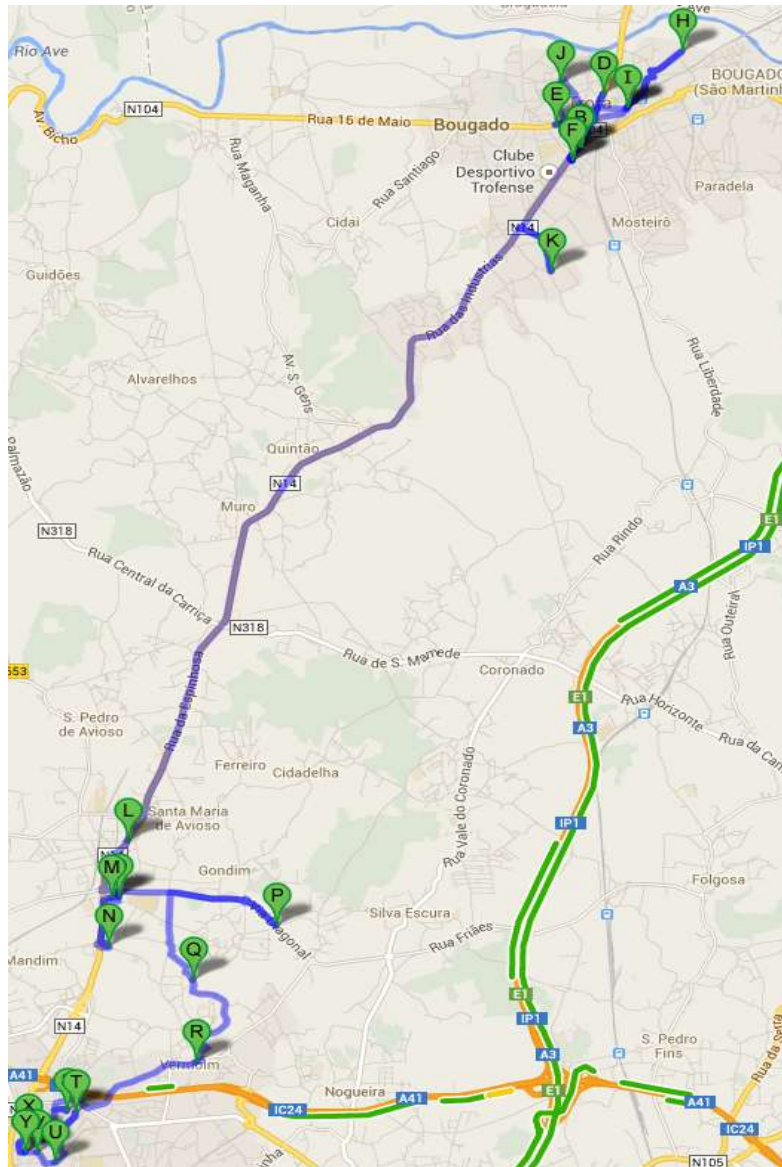


Figura 35 Parte da nova rota prévia – visão geral.

Apesar de na Figura 35 não se apresentar a rota final definitiva do técnico 1, pode verificar-se uma distribuição mais concentrada dos equipamentos da carteira do técnico, o que na medida dos possíveis confere à solução apresentada, do ponto de vista visual (o que se veio a confirmar em termos de valores concretos anteriormente), deslocações menos dispendiosas em termos de tempo de percurso, relativamente à rota antiga utilizada.

Na imagem Figura 35 os pontos são praticamente todos resolvidos por grupos, facilmente identificados pelos aglomerados de pontos que se verificam, à excepção da rota formada pelos pontos N, P, Q e R, onde as deslocações são mais significativas, assim como acontece com a rota constituída pelos pontos H, I, J, K, L e M, sendo que as deslocações iniciais desta rota justificam-se pelos pontos não terem possibilidade de ser integrados numa rota sem que faça deslocações maiores e devido ao facto da melhoria de código não ter sido implementada, evitando a deslocação do técnico mais do que uma vez a uma mesma entrada que possua mais do que um equipamento.

Principalmente com o intuito de confirmar a melhoria de resultados obtidos através do algoritmo desenvolvido, foram comparados os resultados de rota mensal concretizados pelo mesmo e aqueles que foram obtidos pelo método antigo para um outro técnico (200879). Este foi escolhido devido a ser responsável por uma carteira de equipamentos com número superior à do técnico 1 (144 do técnico 2 em relação ao técnico 1 que possuía “apenas” 135).

Tabela 5 Comparação entre a solução antiga e a do algoritmo para o técnico 2 (200879).

Técnico 2 - 200879	Percurso (h)	Nº de Rotas utilizadas
Rota Anterior s/ actualizações	110.567	19
Rota Anterior c/ actualizações	117.567	21
Rota Obtida c/ Algoritmo	115.730	20
Poupança total (aprox.)	1.837	1 (poupança)

Na Tabela 5 apresentam-se as durações totais dos percursos das rotas mensais do técnico 2 (200879), bem como a poupança atingida com a implementação do algoritmo desenvolvido. As duas primeiras soluções apresentadas (sem actualizações e com actualizações) podem ser conferidas no Anexo C, estando a diferença entre elas relacionada com o facto da primeira corresponder à lista de manutenções do técnico que foi disponibilizada pela empresa, a qual, de forma idêntica ao mencionado para o técnico 1, se encontrava desactualizada em termos de equipamentos em carteira. No entanto, esta não perdeu qualquer contracto, apenas acrescentou contractos (num total de 8 equipamentos que perfazem 420 minutos em manutenções, sem contar com deslocações a estes equipamentos). A terceira solução apresentada corresponde à rota mensal obtida para o técnico através do algoritmo produzido cujo valor pode ser conferido no Anexo F.

Observando a Tabela 5 constata-se um ganho total de cerca de 1 hora e 50 minutos do total mensal que era utilizado com a rota antigamente utilizada, traduzindo-se esta redução e reestruturação da rota mensal do técnico em menos 1 dia de manutenções (aproximadamente). De notar, mais uma vez, que no resultado indicado por esta última não estão contabilizadas as deslocações entre os novos pontos envolvidos na rota do técnico, pelo que se essas fossem levadas em conta, provavelmente a diferença ainda seria maior do que a apresentada. Mesmo sem as deslocações referidas, o número de rotas diárias da listagem antiga ultrapassava os 20 dias, condição crítica, visto que a grande maioria dos meses tem apenas 20 dias úteis, colocando esta questão um problema extra para a empresa, visto que o técnico teria que “acelerar” o seu processo de manutenções preventivas ou deixar para o mês seguinte, na pior das hipóteses.

De notar que as soluções apresentadas tanto para um técnico como para o outro em termos de tempo total de rota mensal não podem ser melhoradas muito mais em relação ao valor obtido, visto que a maior influência no tempo total da rota é maioritariamente resultante dos tempos de manutenção dos equipamentos da carteira do técnico respectivo. O papel representado pelas deslocações propriamente ditas e contabilizadas do responsável, tanto numa solução como na outra, tem muito pouca influência na solução.

5. CONCLUSÕES E MELHORAMENTOS FUTUROS

O presente projecto revelou ser muito útil para a empresa, visto que, como foi possível constatar na comparação de resultados, dos dois técnicos envolvidos nos testes realizados foi possível poupar em média 2 horas do total de cada uma das rotas mensais correspondentes relativamente às soluções que anteriormente estavam implementadas para obter as rotas. Estas poupanças traduziram-se em reduções significativas no que diz respeito ao número de dias em que o técnico realiza as manutenções a que está afecto, devido à reestruturação da rota mensal segundo determinadas metodologias. Esta reestruturação com a consequente redução do tempo gasto, fez com que para um técnico se realizassem menos dois dias de manutenções relativamente à rota que era feita até à data do desenvolvimento deste programa e menos um dia de manutenções (aproximadamente) para outro técnico em comparação com a solução que era utilizada anteriormente. Estes decréscimos nas rotas podem levar a concluir se se deve ou não atribuir mais equipamentos ao técnico em questão para que preencha no máximo os 20 dias úteis de manutenções, ou seja, realizar um balanceamento dos equipamentos pelos técnicos, averiguando de melhor

forma a carga de trabalho por que cada um é responsável. Desta forma, é possível verificar-se a eficiência do algoritmo desenvolvido para dar resposta ao problema proposto pela Schmitt, eficiência essa não só em termos de tempo, mas também no que diz respeito a distâncias percorridas, desgaste das viaturas, combustível utilizado, menos poluição, entre outros aspectos. Assim, pode concluir-se que a heurística do vizinho mais próximo escolhida para a elaboração das rotas, bem como os outros processos de decisão envolvidos no programa foram bem escolhidos, sendo que dificilmente se obtêm soluções melhores, tendo em conta que as deslocações do técnico é um dos factores que menos pesa na solução final do algoritmo criado, como se pôde verificar.

Do ponto de vista pessoal e académico permitiu convergir num mesmo trabalho três tipos de linguagens de programação (C++, *SQL* e *XML*) elevando os níveis de exigência, criando desafios até então não encontrados e que certamente foram ultrassados tendo em vista a prossecução dos objectivos.

Várias melhorias podem, no entanto, vir a ser implementadas, desde logo o armazenamento dos dados relativos a matrizes de distâncias, desde que uma plataforma eficaz e gratuita seja encontrada, para que o algoritmo não tenha que repetir pedidos sempre que se pretende obter a rota de um mesmo técnico no mês seguinte. Por outro lado, existe a possibilidade, que chegou a ser sugerida, de dividir os técnicos por equipas, fazendo com que num dia o responsável só realizasse manutenções preventivas, sem ter que se preocupar com qualquer tipo de avarias, para que assim pudesse usufruir de mais 2 horas no seu horário para cumprir mais manutenções não planeadas, evitando que essas duas horas tivessem que ser realizadas noutro dia. Ainda que a política da empresa envolva a questão de que um técnico tem que estar em constante aprendizagem e estar apto a realizar ambos os tipos de manutenção, essa questão poderia ser resolvida se numa semana ou num mês ou ainda dia sim, dia não ele só realizasse manutenções preventivas e na outra semana ou mês ou no outro dia realizasse manutenções correctivas.

Outra das possibilidades de melhoramento prende-se com o armazenamento da rota construída para um dado técnico, para que no mês a seguir, se não tivesse existido quaisquer alterações ou actualizações à carteira do mesmo, se pudesse voltar a utilizar a mesma lista sem ter que realizar novos pedidos, no entanto esta solução foi posta de parte, por enquanto, segundo indicação, visto que se pretende que os cálculos do algoritmo sejam concretizados novamente todos os meses, sempre que ele for solicitado.

Referências Documentais

- [1] Aarts, Emile H. L.; Lenstra, Jan Karel. Local Search in Combinatorial Optimization. Princeton University Press, 2003. ISBN 0-691-11522-2.
- [2] Ahmed, Zakir H. Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem using Sequential Constructive Crossover Operator. International Journal of Biometrics & Bioinformatics (IJBB), Volume 3, Issue 6, 2010.
- [3] Alba, Enrique; Dorronsoro, Bernabé. Computing nine new best-so-far solutions for Capacitated VRP with a cellular Genetic Algorithm. Information Processing Letters, Volume 98, Issue 6, 30 June 2006, Pages 225-230.
- [4] Al-dulaimi, Buthainah Fahran; Ali, Hamza A. Enhanced Traveling Salesman Problem Solving by Genetic Algorithm Technique (TSPGA). World Academy of Science, Engineering and Technology 38, 2008.
- [5] Applegate, David L. et al. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press, 2006. ISBN: 9780691129938.
- [6] Applegate, David L.; Bixby, Robert; Vasek, Chvátal; Cook, William. On the solution of Traveling Salesman Problems. Documenta Mathematica, Extra Volume ICM, 1998, III, pages 645-656.
- [7] Asahiro, Yuichi; Miyano, Eiji; Miyazaki, Shuichi; Yoshimuta, Takuro. Weighted nearest neighbor algorithms for the graph exploration problem on cycles. Information Processing Letters, Volume 110, Issue 3, 1 January 2010, Pages 93-98.
- [8] Augerat, P.; Belenguer, J.M.; Benavent, E.; Corberán, A.; Naddef, D. Separating capacity constraints in the CVRP using tabu search. European Journal of Operational Research, Volume 106, Issues 2–3, 16 April 1998, Pages 546-557.
- [9] Axiodis - Optimización de rutas. System: Logística Empresarial (2008). Disponível em: http://www.system.com.ar/magiclogic/axiodis-index_p.htm
- [10] Balas, E. & Toth, P. Branch and bound methods. In: Lawler EL, Lenstra JK, Rinnooy Kan AHG & Shmoys DB (eds). The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization, Wiley: Chichester, 1985, pp. 361–401
- [11] Balseiro, S.R.; Loiseau, I.; Ramonet, J. An Ant Colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the Time Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows. Computers & Operations Research, Volume 38, Issue 6, June 2011, Pages 954-966.
- [12] Baltz, Andreas; Srivastav, Anand. Approximation algorithms for the Euclidean bipartite TSP. Operations Research Letters, Volume 33, Issue 4, July 2005, Pages 403-410.
- [13] Basart, J.M.; Huguet, L. An approximation algorithm for the TSP. Information Processing Letters, Volume 31, Issue 2, 26 April 1989, Pages 77-81.

- [14] Batista-Galván, María; Riera-Ledesma, Jorge; Salazar-González, Juan José. The traveling purchaser problem, with multiple stacks and deliveries: A branch-and-cut approach. *Computers & Operations Research*, Volume 40, Issue 8, August 2013, Pages 2103-2115.
- [15] Böckenhauer, Hans-Joachim; Mömke, Tobias; Steinová, Monika. Improved approximations for TSP with simple precedence constraints. *Journal of Discrete Algorithms*, Volume 21, July 2013, Pages 32-40.
- [16] Burkard, Rainer E.; Dell’Amico, Mauro; Martello, Silvano. *Assignment Problems* SIAM e-books. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009. 382 pages.
- [17] Burke, Laura. “Conscientious” neural nets for tour construction in the traveling salesman problem: the vigilant net. *Computers & Operations Research*, Volume 23, Issue 2, February 1996, Pages 121-129.
- [18] Carpaneto, G.; Dell’Amico, M. & Toth, P. Exact solution of large-scale, asymmetric travelling salesman problems. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 1995, Vol. 21, pp. 394–409.
- [19] Carpaneto, G. & Toth, P. Some new branching and bounding criteria for the asymmetric traveling salesman problem. *Management Science*, 1980, Vol. 26, pp. 736–743.
- [20] Carpaneto, Giorgio; Toth, Paolo. Primal-Dual Algorithms for the assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 18, 1987, pages 137-153.
- [21] Čížniar, M.; Fikar, M.; A. Latifi, M. MATLAB Dynamic Optimisation Code DYNOPT. User’s Guide, Technical Report, KIRP FCHPT STU Bratislava, Slovak Republic, 2006.
- [22] Confecção de Circuito Impresso com Impr. Laser. Laboratório de Garagem, Março de 2014. Disponível em:
http://www.labdegaragem.com.br/wiki/index.php?title=Confec%C3%A7%C3%A3o_de_Circuito_impresso_com_Impr.Laser
- [23] Cook, William. Concorde TSP Solver [última actualização: Dezembro de 2011]. TSP. Disponível em: <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/concorde.html>
- [24] Cook, William. Milestones in the Solution of TSP Instances [última actualização: Janeiro 2005]. *The Traveling Salesman Problem*. Disponível em:
<http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/history/milestone.html>
- [25] Dantzig, G.; Fulkerson, R.; Johnson, S. Solution of large-scale Travelling-Salesman Problem. The Rand Corporation, Santa Monica, California. August 9, 1954.
- [26] Davendra, Donald. *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*. (In-Tech - 30 de Dezembro de 2010). ISBN-13: 978-953-307-426-9.
- [27] Dell’Amico, Mauro; Toth, Paolo. Algorithms and codes for dense assignment problems: the state of the art. *Discrete Applied Mathematics*, 100, 2000, pages 17-48.

- [28] Ding, Qiulei; Hu, Xiangpei; Sun, Lijun; Wang, Yunzeng. An improved ant colony optimization and its application to vehicle routing problem with time windows. *Neurocomputing*, Volume 98, 3 December 2012, Pages 101-107.
- [29] Du, Lingling; He, Ruhan. Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem. *Physics Procedia*, Volume 25, 2012, Pages 1536-1546.
- [30] Eastman, W.L. "Linear programming with pattern constraints", Ph.D. Dissertation, 1958, Harvard.
- [31] Engels, Christian; Manthey, Bodo. Average-case approximation ratio of the 2-opt algorithm for the TSP. *Operations Research Letters*, Volume 37, Issue 2, March 2009, Pages 83-84.
- [32] Experiência empresarial de 150 anos. Bem-vindo à Schmitt+Sohn Elevadores. 2014. Disponível em: http://www.schmitt-elevators.com/pt_pt/empresa/sobre_nos/experiencia_empresarial.php
- [33] Fischetti, M. & Toth, P. An additive bounding procedure for the asymmetric traveling salesman problem. *Mathematical Programming: Series A and B*, 1992, Vol. 53(2), pp. 173–197.
- [34] Fischetti, M.; Lancia, G. and Serafini, P. (2002), Exact algorithms for minimum routing cost trees. *Networks*, Volume 39, Issue 3, pages 161–173. doi: 10.1002/net.10022.
- [35] Frieze, A.M. An extension of Christofides heuristic to the k-person travelling salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, Volume 6, Issue 1, May 1983, Pages 79-83.
- [36] Gavish, B. & Srikanth, K. An optimal solution method for large-scale multiple traveling salesman problems. *Operations Research*, 1986, Vol. 34, No. 5, pp. 698–717.
- [37] Geng, Xiutang; Chen, Zhihua; Yang, Wei; Shi, Deqian; Zhao, Kai. Solving the traveling salesman problem based on an adaptive simulated annealing algorithm with greedy search. *Applied Soft Computing*, Volume 11, Issue 4, June 2011, Pages 3680-3689.
- [38] Germs, Remco; Goldengorin, Boris; Turkensteen, Marcel. Lower tolerance-based Branch and Bound algorithms for the ATSP. *Computers & Operations Research*, Volume 39, Issue 2, February 2012, Pages 291-298.
- [39] Glover, Fred; Gutin, Gregory; Yeo, Anders; Zverovich, Alexey. Construction heuristics for the asymmetric TSP. *European Journal of Operational Research*, Volume 129, Issue 3, 16 March 2001, Pages 555-568.
- [40] Google Maps. Google, 2014. Disponível em: <https://www.google.pt/maps/preview?source=newuser-ws>

- [41] Gromicho, J.; Paixão, J. & Branco, I. Exact solution of multiple traveling salesman problems. In: Mustafa Akgül, et al., editors. Combinatorial optimization. NATO ASI Series, Vol. F82. Berlin: Springer; 1992. p. 291–92.
- [42] Grotscchel, Martin; Holland, Olaf. Solution of large-scale symmetric travelling salesman problems. *Mathematical Programming*, 51, 1991, pages 141-202, North Holland.
- [43] Hassin, Refael; KeinanGreedy, Ariel. Heuristics with regret, with application to the cheapest insertion algorithm for the TSP. *Operations Research Letters*, Volume 36, Issue 2, March 2008, Pages 243-246.
- [44] Held, Michael; Karp, Richard M. The Traveling-Salesman Problem and Minimum Spanning Trees: Part II. *Mathematical Programming*, Volume 1, Issue 1, 1971, pages 6-25.
- [45] Helsgaun, Keld. An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research*, Volume 126, Issue 1, 1 October 2000, Pages 106-130.
- [46] Hoogeveen, J.A. Analysis of Christofides' heuristic: Some paths are more difficult than cycles. *Operations Research Letters*, Volume 10, Issue 5, July 1991, Pages 291-295.
- [47] Hougardy, Stefan; Wilde, Mirko. On the nearest neighbor rule for the metric traveling salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, In Press, Corrected Proof, 16 April 2014.
- [48] Jeon, Geonwook; Leep, Herman R.; Shim, Jae Young. A vehicle routing problem solved by using a hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 53, Issue 4, November 2007, Pages 680-692.
- [49] Jeong, Chang-Sung; Kim, Myung-Ho. Fast parallel simulated annealing for traveling salesman problem on SIMD machines with linear interconnections. *Parallel Computing*, Volume 17, Issues 2–3, June 1991, Pages 221-228.
- [50] Jia, Hongmei; Li, Yang; Dong, Bo; Ya, Hongying. An Improved Tabu Search Approach to Vehicle Routing Problem. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 96, 6 November 2013, Pages 1208-1217.
- [51] Johnson, David S.; McGeoch, Lyle A. "The Traveling Salesman Problem: A Case Study in Local Optimization". In E. H. L. Aarts and J. K. Lenstra. *Local Search in Combinatorial Optimization*. London: John Wiley and Sons, 1997. pp. 215-310.
- [52] Johnson, David S.; McGeoch, Lyle A.; Rothberg, E.E. (1996): Asymptotic experimental analysis for the Held-Karp traveling salesman bound. *Proceedings of the 7th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (1996)*, pages 341-350.

- [53] Jonker, Roy; Volgenant, Ton. Transforming asymmetric into symmetric traveling salesman problems: erratum. *Operations Research Letters*, Volume 5, Issue 4, October 1986, pages 215-216.
- [54] Kahng, Andrew B.; Reda, Sherief. Match twice and stitch: a new TSP tour construction heuristic. *Operations Research Letters*, Volume 32, Issue 6, November 2004, Pages 499-509.
- [55] Karapetyan, D.; Gutin, G. Lin–Kernighan heuristic adaptations for the generalized traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, Volume 208, Issue 3, 1 February 2011, Pages 221-232.
- [56] Knox, John. Tabu search performance on the symmetric traveling salesman problem. *Computers & Operations Research*, Volume 21, Issue 8, October 1994, Pages 867-876.
- [57] Kroshko, Dmitry L. Welcome to new OpenOpt home! [última atualização: 4 de Março de 2015]. OpenOpt. Disponível em: <http://openopt.org/Welcome~>
- [58] Kuo, Yiyo. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 59, Issue 1, August 2010, Pages 157-165.
- [59] Laporte, Gilbert. A Short History of the Traveling Salesman Problem. Canada Research Chair in Distribution Management, Centre of Research on Transportation (CRT) and GERAD HEC Montréal, Canada, 2006.
- [60] Laporte, G. The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 1992, Vol. 59, No. 3, pp. 345–58.
- [61] Laporte, G. & Nobert, Y. A cutting planes algorithm for the m-salesmen problem. *Journal of the Operational Research Society*, 1980, Vol. 31, pp.1017–23.
- [62] Larsen, Jesper; Clausen, Jens. Branch and Bound for TSP – Using the 1-tree relaxation. Department of Management Engineering/Operations Research, Technical University of Denmark, 1999.
- [63] Little, J.D.C.; Murty, K.G.; Sweeney, D.W.; Karel, C. "An algorithm for the traveling salesman problem", *Operations Research* 11, 1963, 972-989.
- [64] Liu, Fei; Zeng, Guangzhou. Study of genetic algorithm with reinforcement learning to solve the TSP. *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 3, Part 2, April 2009, Pages 6995-7001.
- [65] MacGregor, James N.; Chu, Yun. Human Performance on the Traveling Salesman and Related Problems: A Review. *The Journal of Problem Solving*, Volume 3, No. 2, Winter of 2011.

- [66] Mak, King-Tim; Morton, Andrew J. A modified Lin-Kernighan traveling-salesman heuristic. *Operations Research Letters*, Volume 13, Issue 3, April 1993, Pages 127-132.
- [67] MapQuest Open Beta. Map Quest, 2014. Disponível em: <http://open.mapquest.com/>
- [68] Maredia, Anne. History, Analysis, and Implementation of Traveling Salesman Problem (TSP) and Related Problems. University of Houston-Downtown, Primavera de 2010.
- [69] Matos, Armando; Moreira, Nelma. Teoria dos problemas completos na classe NP. Departamento de Ciência de Computadores, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.
- [70] Meer, Klaus. Simulated Annealing versus Metropolis for a TSP instance. *Information Processing Letters*, Volume 104, Issue 6, 16 December 2007, Pages 216-219.
- [71] Microsoft Dynamics NAV [última actualização: 26 de Fevereiro de 2014]. Wikipedia: the free encyclopedia [Internet]. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Dynamics_NAV
- [72] Monnot, Jerome. A note on the traveling salesman reoptimization problem under vertex insertion. *Information Processing Letters*, Volume 115, Issue 3, March 2015, Pages 435-438.
- [73] Nilsson, Christian. Heuristics for the Traveling Salesman Problem. Linköping University, 2004.
- [74] Open Street Map. Colaboradores do Open Street Map, 2014. Disponível em: <http://www.openstreetmap.org/#map=6/39.690/-4.307>
- [75] Padberg, Manfred; Rinaldi, Giovanni. A Branch-and-Cut Algorithm for the resolution of large-scale symmetric Traveling Salesman Problems. *Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM Review*, Volume 33, No.1, March 1991, pages 60-100.
- [76] Plotkin, Serge. CS261 – Optimization Paradigms. Lecture Notes for 2009-2010 Academic Year. January 2010.
- [77] Route Solutions. Disponível em: <http://www.routesolutions.com/>
- [78] Routyn: Vehicle Routing Optimization. Wide Scope. Disponível em: <http://www.widescope.pt/>
- [79] Serdiuk, Oleksii. About TSPSG [última actualização: 19 de Abril de 2011]. TSPSG – TSP Solver and Generator. Disponível em: <http://tspsg.info/en/about>
- [80] Shmoys, David B.; Williamson, David P. Analyzing the Held-Karp tsp bound: a monotonicity property with application. *Information Processing Letters*, Volume 35, Issue 6, 15 September 1990, Pages 281-285.
- [81] Smet, Geoffrey De; Petrvič, Lukáš; Vahala, Jirí. OptaPlanner User Guide [última actualização: Março de 2015]. jboss.Org - Community Documentation. Disponível

em: http://docs.jboss.org/drools/release/6.0.0.Beta1/optaplanner-docs/html_single/#d0e26

- [82] Toth, Paolo. Exact Algorithms for the Asymmetric Travelling Salesman Problem. DEIS, University of Bologna, Bologna, 2008.
- [83] Turkensteen, Marcel; Ghosh, Diptesh; Goldengorin, Boris; Sierksma, Gerard. Tolerance-based Branch and Bound algorithms for the ATSP. European Journal of Operational Research, Volume 189, Issue 3, 16 September 2008, Pages 775-788.
- [84] Uğur, Aybars; Aydın, Doğan. An interactive simulation and analysis software for solving TSP using Ant Colony Optimization algorithms. Advances in Engineering Software, Volume 40, Issue 5, May 2009, Pages 341-349.
- [85] Valenzuela, Christine L.; Jones, Antonia J. Estimating the Held-Karp lower bound for the geometric TSP. ELSEVIER, European Journal of Operational Research, Volume 102, Assunto 1, 1 de Outubro de 1997, págs.157-175.
- [86] Vehicle Routing Software. [última atualização: 2013]. Planning & Scheduling Software. Disponível em: <http://www.mjc2.com/vehicle-routing-software.htm>
- [87] Voudouris, Christos; Tsang, Edward. Guided local search and its application to the traveling salesman problem. European Journal of Operational Research, Volume 113, Issue 2, March 1999, Pages 469-499.
- [88] Wang, Yong. The hybrid genetic algorithm with two local optimization strategies for traveling salesman problem. Computers & Industrial Engineering, Volume 70, April 2014, Pages 124-133.
- [89] What is Navision?, 14 de Abril de 2011. Clients First: Business Solutions, 2014. Disponível em: <http://www.clientsfirst-us.com/blog/microsoft-dynamics/microsoft-dynamics-nav/what-is-navision/>
- [90] Williamson, David P. Analysis of the Held-Karp lower bound for the asymmetric TSP. Operations Research Letters, Volume 12, Issue 2, August 1992, Pages 83-88.
- [91] Wolsey, L. Heuristic analysis, linear programming, and branch and bound. Math. Prog. Study 13, 1980, 121-134.
- [92] Xu, Zhou; Xu, Liang; Rodrigues, Brian. An analysis of the extended Christofides heuristic for the image-depot TSP. Operations Research Letters, Volume 39, Issue 3, May 2011, Pages 218-223.
- [93] Yang, Jinhui; Shi, Xiaohu; Marchese, Maurizio; Liang, Yanchun. An ant colony optimization method for generalized TSP problem. Progress in Natural Science, Volume 18, Issue 11, 10 November 2008, Pages 1417-1422.
- [94] Yu, Bin; Yang, Zhong-Zhen; Yao, Baozhen. An improved ant colony optimization for vehicle routing problem. European Journal of Operational Research, Volume 196, Issue 1, 1 July 2009, Pages 171-176.

- [95] Zhang, Zizhen; Qin, Hu; Zhu, Wenbin; Lim, Andrew. The single vehicle routing problem with toll-by-weight scheme: A branch-and-bound approach. *European Journal of Operational Research*, Volume 220, Issue 2, 16 July 2012, Pages 295-304.

Anexo A. Relatório anterior resultante do programa Navision

No presente anexo apresenta-se parte de uma lista solicitada ao programa *Navision* com todos os equipamentos a sofrer manutenção preventiva no mês respectivo.



Lista de Técnicos - Manutenção Periódica / Mês Setembro 13

Delegação VB Porto / Técnico 200054 (Manuel Santos)

Nº de Ordem	Contacto / Local da Instalação	Tipo	Nº Elevador	Nº Cliente	Data
ES851410	Condomínio Parque Residencial Santo António A/C Susana Silva - Administração de Condomínios R. Gonçalves de Castro,11-1ª PT-4415-378 Pedroso Rua da Guarda, 1936 Bloco 2. Parque Residencial Santo António. PT-4415-475 Grijó	S-WSYS P5	VA106056	PD110179	0,83 IP: 12-01-10
ES851411	Condomínio Parque Residencial Santo António A/C Susana Silva - Administração de Condomínios R. Gonçalves de Castro,11-1ª PT-4415-378 Pedroso Rua da Guarda, 1918 Bloco 3. Parque Residencial Santo António. PT-4415-475 Grijó	S-WSYS P5	VA106057	PD110179	0,83 IP: 01-06-13
ES851484	CD.R.ANT.FERREIRA RANDOR,12 A/C Administração do Condomínio R.A.FERREIRA RANDOR,12-R/C OT PT-4430-017 Vila Nova de Gaia Rua Ant. Ferreira Randor, 12 PT-4430-017 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P5	VN166386	PD101287	0,83 IP: 01-05-14
ES851603	CINESIS CLINICA PSIATRICA ESPINHO,LDP RUA 23 Nº203-1ºDTº PT-4500-803 Espinho Rua 23, 203 PT-4500-803 Espinho	S-WSYS P4	VN196063	PD106730	0,67 IP: 01-07-13
ES851609	Cond. Parque Residencial Santo António, Bloco 4 A/C Susana Silva - Administração de Condomínios R. Gonçalves de Castro,11-1ª PT-4415-378 Pedroso Rua da Guarda, 1904 Bloco 4. Parque Residencial Santo António. PT-4415-475 Grijó	S-WSYS P5	E10123	PD110421	0,83 IP: 01-06-13
ES851610	Cond. Parque Residencial Santo António, Bloco 7 A/C Susana Silva - Administração de Condomínios R. Gonçalves de Castro,11-1ª PT-4415-378 Pedroso Rua da Guarda, 1864 Bloco 7. Parque Residencial Santo António PT-4415-475 Grijó	S-WSYS P5	E10124	PD110422	0,83 IP: 01-06-13
ES851809	CD.R.JOSE MONT.C.PORUGAL,650 A/C Domínio Continuo, Lda. Loja do Condomínio Persephoj R. 25 Abril nº. 1650 PT-4415-079 Persephoj Rua José Monteiro Castro Portugal, 650. Nº 650 PT-4405-568 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P2 C2000	VN199068	PD108154	0,00 IP: 01-08-13
ES851810	CD.R.JOSE MONT.C.PORUGAL,662 A/C Domínio Continuo, Lda. Loja do Condomínio Persephoj R. 25 Abril nº. 1650 PT-4415-079 Persephoj Rua José Monteiro Castro Portugal, 662 Nº 662 PT-4405-568 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P4 C2000	VN199069	PD108155	0,67 IP: 01-08-13
ES851811	CD.R.JOSE MONT.C.PORUGAL,674 A/C Domínio Continuo, Lda. Loja do Condomínio Persephoj R. 25 Abril nº. 1650 PT-4415-079 Persephoj Rua José Monteiro Castro Portugal, 674 Nº 674 PT-4405-568 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P4 C2000	VN199070	PD108156	0,67 IP: 01-08-13
ES851931	Modelo Continente Hipermercados, S.A. CCT143E0750 (Modelo São Félix da Marinha) A/C Modelo Continente Hipermercados, S.A. R.Particular de 5ª António Apertado 161 Rua dos Limites - Modelo São Félix da Marinha PT-4410-005 São Félix da Marinha	S-WSYS P6 C2000	E10491	PD112962	1,00 IP: 01-05-14
ES851982	Condomínio do prédio sito na Rua Rio de Almeida, 73 A/C Unissal - Sociedade Adm. Imobiliária, Lda. Rua Luís António Gomes, 28 PT-4715-810 Braga Rua Rio de Almeida, 73 PT-4400 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P5 C2000	E10951	PD112224	0,83 IP: 01-06-15
ES852089	BA - Fábrica de Vidros Barbosa B Almeida, SA Av. Vasco Gama, 8001 - Ap.3027 PT-4430-755 Avintes Av. Vasco da Gama, 8001 Monta-cargas do Edifício PT-4400 Vila Nova de Gaia	S-WSYS P4	E11206	PD111496	0,67 IP: 01-05-14
ES852270	Condomínio do prédio sito na Av. 24, 249 Av. 24, 249 PT-4500-203 Espinho Avº 24, 249 PT-4500-203 Espinho	S-WSYS P5	E11724	PD111578	0,83 IP: 01-11-13

Serviço de manutenção efectuado. Cumprimento integral do disposto nos nr.os 1,2,4 e 5 do artº 3º do Dec.-Lei 320/2002 de 28 de Dezembro.

Verificado	Técnico	Supervisor	Chefe SAV	Chefe Delegação
Data/Assinatura				

Anexo B. Relatório improvisado antigo de manutenções do técnico 1

No presente anexo, constituído por quatro partes, apresenta-se a lista desactualizada dos equipamentos do técnico 1 (201039 – número de identificação) distribuídos pelos diferentes dias do mês, com os cálculos que permitem obter o resultado para a rota mensal do responsável em questão com a respectiva carteira de equipamentos actualizada, possibilitando assim uma comparação o mais fiável possível com os resultados obtidos através do programa desenvolvido. Esta era a solução que o técnico utilizava para realizar as suas manutenções preventivas ao longo do mês.

121		Rui Martins (201839)	Rua da Serra 717, Alfena							Total (horas)	60.15	118.77	100.42	8072.45		667	Deslocações	
Nº	Morada	Localização - Código Postal/Cidade	Tipo	Carga nominal	Velocidade	Peso	Tipo Port	WVE	Acesso	Critério Navision (min)	Critério Preço (min)	Critério Técnico (min)	Valor contrato mensal	Sequência	km	Horas / dia	mins	km
WI160117	Rua Luis de Camões, 157	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	25.00	27.99	45	29.39	1	34	5.25	0	0
WI160118	R.LUIS CAMOES,139	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	28.86	45	30.31	1			0	0
WI160119	Urb das Guardedeiras,Bloco 121	PT-4470 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	28.86	45	30.31	1			0	0
WI160120	Rua Luis de Camões, 103	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	25.00	28.86	45	30.31	1			0	0
WI160462	Rua Luis de Camões, 161	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	44.11	45	46.32	1			0	0
WI160463	R.LUIS CAMOES,167	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	44.11	45	46.32	1			0	0
WI190587	Rua Luis de Camões, 104	PT-4470-615 Maia	HPI	300	0.5	6	DT	N	6	27.67	53.34	45	56.01	1			0	0
WI160506	Alameda Gonçalo Mendes da Maia	PT-4470-007 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	33.19	50	34.85	2	34	4.83	0	0
WI160480	Alameda Gonçalo Mendes da Maia	PT-4470-007 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	33.19	50	34.85	2			0	0
WI160461	Alameda Gonçalo Mendes da Maia	PT-4470-607 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	33.19	50	34.85	2			5	2.2
WI167742	Rua Luis de Camões, 80	PT-4470-615 Maia	HPI	300	0.5	6	DT	N	6	27.67	52.17	45	54.78	2			6	2.3
WI190596	Alameda Gonçalo Mendes da Maia	PT-4470-670 Maia	HPI	300	0.6	6	DT	N	6	27.67	58.77	50	62.75	2			5	2.2
WI191666	Rua Luis de Camões, 126	PT-4470-615 Maia	HPI	300	0.6	5	DT	N	5	25.00	46.67	45	49.00	2			0	0
WI197103	Alameda Augusto Moreira Dias,	PT-4470-018 Maia	SP	500	0.6	5	S2	N	5	25.00	67.56	50	70.94	3			0	0
WI197104	Alameda Augusto Moreira Dias,	PT-4470-018 Maia	SP	500	0.6	5	S2	N	5	25.00	63.87	50	67.06	3	0	0		
WI197105	Rua Augusto Moreira Dias, 18	PT-4470-008 Moreira Maia	SP	500	0.6	6	S2	N	6	27.67	59.80	50	62.79	3	0	0		
WI197106	Rua Augusto Moreira Dias, 18	PT-4470-008 Moreira Maia	SP	300	0.6	6	S2	N	6	27.67	59.80	50	62.79	3	0	0		
WI197107	R.AUGUSTO MOREIRA DIAS,72 - BL	PT-4470-008 MOREIRA MAIA	SP	300	0.6	6	S2	N	6	27.67	70.72	50	74.26	3	0	0		
WI197108	R.AUGUSTO MOREIRA DIAS,72 - BL	PT-4470-008 MOREIRA MAIA	SP	300	0.6	6	S2	N	6	27.67	70.73	50	74.27	3	0	0		
WI101014	R. Fernando Carvalho de Sá,167	PT-4470-587 Maia	SP	300	1	8	S2	N	8	33.00	42.22	50	64.96	4	41	6.42	0	0
WI101015	R. Fernando Carvalho de Sá,167	PT-4470-587 Maia	SP	500	1	8	S2	N	8	33.00	42.22	50	64.96	4			0	0
WI101016	R.Fernando Carvalho de Sá, 195	PT-4470-587 Maia	SP	300	1	8	S2	N	8	33.00	42.22	50	64.96	4			0	0
WI101017	R.Fernando Carvalho de Sá, 195	PT-4470-587 Maia	SP	500	1	8	S2	N	8	33.00	42.22	50	64.96	4			0	0
WI101018	Alm.Augusto Moreira Dias, 60	PT-4470-587 Maia	SP	500	1	10	S2	N	10	38.33	49.09	60	72.17	4			0	0
WI101019	Alm.Augusto Moreira Dias, 60	PT-4470-587 Maia	SP	300	1	10	S2	N	10	38.33	49.09	60	72.17	4			10	6.4
WI104037	Praceta Pálio de Sta. Luzia,26	PT-4470-000 Maia	KGA	50	0.4	2	HT	N	2	7.67	24.92	20	26.16	4			12	7
WI191681	Rua das Guardedeiras, 232	PT-4470-608 Maia	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.00	38.73	45	45.66	4			0	0
E12642	Rua Banda Musical Moreira, 56	PT-4470-197 Maia	SP	320	0.6	5	DT	N	5	21.67	39.87	45	41.86	5			3	1.1
WI191510	Rua Padre Manuel Silva, 82	PT-4470-618 Moreira da Maia	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	44.19	50	46.40	5			4	1.6
WI191697	Rua Mestre Clara, 164	PT-4470-615 Maia	SP	300	0.6	5	S2	N	5	21.67	48.77	50	51.21	5	4	1.6		
WI192557	Rua Padre Manuel Silva 44	PT-4470-618 Maia	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	54.22	50	56.94	5	0	0		
WI193529	Rua Padre Manuel Silva, 94	PT-4470-618 Maia	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	51.11	50	53.66	5	3	1.1		
WI193621	R. Banda Musical Moreira, 50	PT-4470-587 Maia	SP	300	0.8	9	DT	N	9	32.33	44.62	50	46.85	5	0	0		
WI193622	R. Banda Musical Moreira, 50	PT-4470-587 Maia	SP	300	0.8	9	DT	N	9	32.33	47.10	50	49.50	5	0	0		
E11559	R. Clotilde Ferreira Cruz, 217	PT-4470-163 Maia	SP	320	1	7	S2	N	7	30.33	35.45	50	37.18	6	32	6.00	0	0
E11560	R. Clotilde Ferreira Cruz, 239	PT-4470-163 Maia	SP	320	1	8	S2	N	8	33.00	35.45	50	37.17	6			0	0
E11561	R. Clotilde Ferreira Cruz, 217	PT-4470-163 Maia	SP	320	1	7	S2	N	7	30.33	35.45	50	37.18	6			0	0
E11562	R. Clotilde Ferreira Cruz, 239	PT-4470-163 Maia	SP	320	1	8	S2	N	8	33.00	35.45	50	37.17	6			3	1.2
WI100061	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	KGA	50	0.4	2	HT	N	2	9.86	32.61	20	34.24	6			0	0
WI100062	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	KGA	50	0.4	2	HT	N	2	9.86	32.61	20	34.24	6			1	0.85
WI105031	R BARÃO S.JANUARIO,33	PT-4470-136 MAIA	SI_2045	500	1	7	S2	S	7	51.86	84.59	60	108.39	6			0	0
WI105032	R BARÃO S.JANUARIO,33	PT-4470-136 MAIA	SI_2045	630	1	7	S2	S	7	51.86	84.59	60	108.40	6			0	0

WV167178	Rua D. João IV, 58 - B1 A	PT-4785-304 S. Martinho Bougado	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	44,54	45	46,77	7	41	4,83	0	0
WV167179	Rua D. João IV, 33 - B1 B	PT-4785-304 S. Martinho Bougado	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	44,54	45	46,77	7			1	0,21
WV167322	Rua Castelo, 319	PT-4785-130 Trofa	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	42,92	50	50,07	7			0	0
WV167323	Rua Castelo, 319	PT-4785-130 Trofa	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	42,92	50	50,07	7			0,717	0,16
WV193500	Rua D. Pedro V, 1153	PT-4785-309 Trofa	SP	300	0,6	7	S2	N	7	30,33	34,03	50	35,73	7			0,983	0,55
WV193501	Rua D. João VI, 57	PT-4785-309 Trofa	SP	300	0,6	7	S2	N	7	30,33	35,61	50	37,39	7			0	0
E16836	Rua D. Pedro V, 948	PT-4758-308 Trofa	SP	300	1	11	DT	S	11	37,67	38,10	70	45,00	8	41	5,58	0	0
E16837	Rua D. Pedro V, 948	PT-4758-308 Trofa	SP	300	1	12	DT	S	12	45,33	38,10	70	45,00	8			2	0,7
WV160048	R.D.PEDRO V,512	PT-4785-307 São Martinho Bougado	SP	375	0,6	6	DT	N	6	24,33	39,04	45	45,99	8			0	0
WV192653	R.D.PEDRO V,555	PT-4785-306 São Martinho Bougado	SP	300	0,8	7	DT	N	7	27,00	52,75	50	55,39	8			0	0
WV192654	R.D.PEDRO V,535	PT-4785-306 São Martinho Bougado	SP	300	0,8	7	DT	N	7	27,00	50,48	50	53,01	8			0	0
WV192655	Rua D. Pedro V, 519	PT-4785-306 São Martinho Bougado	SP	300	0,8	7	DT	N	7	27,00	50,48	50	53,01	8			0	0
WV167606	Rua S. Martinho, B1 7, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9	41	5,25	0	0
WV167607	Rua S. Martinho, B1 6, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9			0	0
WV167608	Rua S. Martinho, B1 5, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9			0	0
WV167609	Rua S. Martinho, B1 4, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9			0	0
WV167610	Rua S. Martinho, B1 3, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9			0	0
WV167611	Rua S. Martinho, B1 2, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9			0	0
WV167612	Rua S. Martinho, B1 1, Edif. A. Sampaio	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	35,21	45	36,97	9	0	0		
E10253	Rua Manuel Vieira Nunes Cruz	PT-4475-669 Maia	SI_2045	500	1	6	S2	S	6	37,67	64,78	50	88,95	10	45	6,33	0	6,1
E14885	Travessa Serafim da Cruz, 23	PT-4475-670 Maia	SP	320	1	5	DT	N	5	75,00	38,00	45	45,00	10			1	0,35
WV103016	R. Prof. Lafayette Rod. Vieira	PT-4475-646 Maia	SI_2045	630	1	3	S2	S	3	29,67	107,87	45	135,81	10			2	0,8
WV106041	R. Eng. Frederico Ulrich	PT-4475-705 Maia	HP	1600	0,5	2	SZ4	N	2	32,57	144,30	50	170,91	10			4	1,5
WV167504	Rua da Fonte Cova,	PT-4475-831 Maia	SP	300	0,5	3	DT	N	3	16,33	42,33	45	44,44	10			5	1,8
WV196001	Rua António Silva Mouta, 93	PT-4475-107 Maia	SP	300	0,6	5	DT	N	5	21,67	46,23	45	48,54	10			6	2,9
WV197026	Rua Via Diagonal, 37	PT-4475-627 Maia	SPF	500	0,6	6	S2	N	6	29,33	42,86	50	50,00	10	0	0		
WV197027	Rua Via Diagonal, 37	PT-4475-627 Maia	SPF	500	0,6	6	S2	N	6	29,33	42,86	50	50,00	10	0	0		
E16853	Rua Nova de Quirós, 206	PT-4475-712 Maia	SOWSTIGE	320	0,2	2	DT	N	2	10,33	38,10	25	45,00	11	55	5,33	6	2,6
WV167241	Rua Dr. Carlos Silva Mouta, 394	PT-4475-620 Maia	SP	300	0,6	6	DT	N	6	27,67	38,10	45	45,00	11			5	2,3
WV194563	Rua Távessa, 111	PT-4478-824 Maia	HPI	300	0,5	5	S2	N	5	28,33	49,09	50	51,55	11			0,8	0,28
WV196146	R.PAIÇO 134-144-S.PEDRO AVIOSO	PT-4478-824 Maia	SP	300	0,6	5	S2	N	5	25,00	60,45	50	63,42	11			0	0
WV196147	R.PAIÇO 134-144-S.PEDRO AVIOSO	PT-4478-824 Maia	SP	300	0,6	6	S2	N	6	27,67	60,46	50	63,43	11			0	0
WV198088	R.DO PAIÇO,5676	PT-4475-715 S. PEDRO AVIOSO	SP	300	0,6	5	S2	N	5	25,00	57,37	50	60,24	11			0	0
WV198089	R.DO PAIÇO 5676	PT-4475-715 S. PEDRO AVIOSO	SP	300	0,6	4	S2	N	4	22,33	57,37	50	60,24	11	0	0		
WV100033	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	HPI	630	0,6	4	S2	N	4	33,00	212,86	50	243,50	12	31	7,33	0	0
WV100034	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	HPI	630	0,6	4	S2	N	4	33,00	212,86	50	243,50	12			0	0
WV100035	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	HPI	630	0,6	4	S2	N	4	33,00	212,86	50	243,50	12			0	0
WV100036	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	SP	630	0,6	5	S2	N	5	32,14	212,86	45	243,50	12			0	0
WV100037	Pr. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	SP	630	0,6	5	S2	N	5	32,14	212,86	45	243,50	12			0,7	0,26
WV143314	Rua Padre António, 81	PT-4478-010 Maia	SP	375	0,8	7	DT	N	7	30,33	26,66	50	28,00	12			0	0
WV160268	Rua Padre António, 97	PT-4478-136 Maia	SP	300	0,6	8	DT	N	8	29,67	44,06	50	46,26	12	0,22	0,13		
WV160309	Rua Simão Bolívar, 41 - B1 C	PT-4478-214 Maia	SP	300	0,6	9	DT	N	9	35,67	48,03	50	50,44	12	0	0		
WV160390	Rua Simão Bolívar, 27	PT-4478-214 Maia	SP	300	0,6	9	DT	N	9	35,67	35,39	50	37,16	12	0	0		

E15749	Rua da Paz - Hospital Privado da Trofa	PT-4785-143 Trofa	AOH	1600	1	4	S2	S	4	76.50	123.81	50	150.00	13	50	4.67	4	1.6
VN103055	R. Antero Quental/C/ R.Ramalho	PT-4785-285 Fozes	HPI	320	0.5	3	S2	N	3	23.00	19.93	45	41.86	13			6	2.6
VN106020	Rua Trofa Velha, 543	PT-4785-716 Trofa	HP-P	2000	0.4	2	S24	N	2	34.71	115.19	50	142.41	13			20	14.9
VN143981	S. Bento de Vairão	PT-4485-660 Vairão	SPF	525	0.4	4	S2	N	4	24.00	46.90	45	49.25	13			18	13.7
VN193532	Rua S. Martinho - Edifício D.	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	39.87	45	41.86	13			0	0
VN193533	Rua S. Martinho - Edifício D.	PT-4785-359 São Martinho Bougado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	39.87	45	41.86	13			0	0
VA105001	Rua Avelino Santos Leite, 235	PT-4470-149 Maia	SP	320	1	7	S2	N	7	30.33	37.56	50	39.44	14	32	5.83	0	0
VN160994	Rua Avelino Santos Leite, 12	PT-4470-149 Maia	HPI	300	0.55	6	DT	N	6	27.67	42.85	45	45.00	14			0.93	0.35
VN160998	R. António Oliveira Braga, 111	PT-4470 Maia	HPI	300	0.6	4	DT	N	4	22.33	41.78	45	43.87	14			5	2.2
VN166435	Rua do Souto, 161 A	PT-4470-215 Maia	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	23.38	45	24.55	14			0	0
VN166436	Rua do Souto, 165 A	PT-4470-215 Maia	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.00	23.38	45	24.55	14			4	1.4
VN199009	R.DOMINGOS LUIS BARREROS TOME	PT-4470-273 Maia	SP	630	1	8	S2	N	8	33.00	49.79	60	52.28	14			0	0
VN199010	R.DOMINGOS LUIS BARREROS TOME	PT-4470-273 Maia	SP	630	1	8	S2	N	8	33.00	49.79	60	52.28	14	0	0		
VN167258	Rua do Horizonte, 1166	PT-4750-532 Fonteleite	SPF	300	0.6	3	DT	N	3	18.00	33.91	45	35.60	15	48	4.92	0.63	0.6
VN495024	Rua Horizonte Bl.1 Ent.1543	PT-4750-524 S.R.Coronado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	38.10	50	45.00	15			0	0
VN495025	Rua Horizonte Bl.2 Ent.1553	PT-4750-524 S.R.Coronado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	38.10	50	45.00	15			0	0
VN495026	Rua Horizonte Bl.3 Ent.1563	PT-4750-524 S.R.Coronado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	38.10	50	45.00	15			0	0
VN495027	Rua Horizonte Bl.4 Ent.1573	PT-4750-524 S.R.Coronado	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	38.10	50	45.00	15			4	2.7
VN497044	LG. FEIRA NOVA	PT-4480-005 S. III. CORONADO	SP	300	0.6	5	S2	N	5	25.00	62.80	50	65.73	15			0	0
VN100038	Pt. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	SP	630	0.6	5	S2	N	5	32.14	212.86	45	243.50	16	35	5.42	0	0
VN100039	Pt. Dr. José Vieira Carvalho	PT-4474-006 Maia	SP	630	0.6	5	S2	N	5	32.14	212.86	45	243.50	16			7	2.8
VN101051	Rua Padre Luis Campos, 686	PT-4470-324 Maia	HPI	500	0.5	4	S2	N	4	25.67	69.66	45	96.82	16			0	0
VN101052	Rua Padre Luis Campos, 686	PT-4470-324 Maia	HPI	1350	0.5	3	S24	N	3	42.43	69.66	50	96.82	16			0	0
VN101053	Rua Padre Luis Campos, 686	PT-4470-324 Maia	HPI	2500	0.5	2	S24	N	2	36.86	69.66	50	96.82	16			8	4
VN106074	Rua Nicolau Nesson, 20 Lt.3	PT-4470-474 Maia	ISJ_2045	630	1	2	S2	S	2	27.00	45.46	45	63.73	16			2	0.85
VN167295	Praça Almeida Negreiros, 28	PT-4425-612 Maia	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	26.17	45	21.18	16	0	0		
VN160951	Rua Simão Bolívar,71 - Bloco E	PT-4470 Maia	SP	500	1	15	DT	N	15	48.33	73.01	70	76.66	17	32	7.00	0	0
VN160952	Rua Simão Bolívar,71 - Bloco E	PT-4470 Maia	SP	500	1	15	DT	N	15	48.33	73.01	70	76.66	17			0	0
VN166209	Rua Simão Bolívar 87, BIF	PT-4470 Maia	SP	300	1	15	DT	N	15	48.33	70.59	70	74.12	17			0	0
VN166210	Rua Simão Bolívar 87, BIF	PT-4470 Maia	SP	300	1	15	DT	N	15	48.33	70.59	70	74.12	17			0	0
VN166465	Rua Simão Bolívar, 103 -BIG	PT-4470-214 Maia	SP	300	1	14	DT	N	14	50.67	70.59	70	74.12	17			0	0
VN166466	Rua Simão Bolívar, 103 -BIG	PT-4470-214 Maia	SP	300	1	14	DT	N	14	50.67	70.59	70	74.12	17			0	0

Anexo C. Relatório improvisado antigo de manutenções do técnico 2

No presente anexo, constituído por quatro partes, apresenta-se a lista desactualizada dos equipamentos do técnico 2 (200879 – número de identificação) distribuídos pelos diferentes dias do mês, com os cálculos que permitem obter o resultado para a rota mensal do responsável em questão com a respectiva carteira de equipamentos actualizada, possibilitando assim uma comparação o mais fiável possível com os resultados obtidos através do programa desenvolvido. Esta era a solução que o técnico utilizava para realizar as suas manutenções preventivas ao longo do mês.

136	Muro (200879)	Rua Santa Bárbara, 252, Fânzeres, Gondomar										Total (horas)	63.63	113.45	168.17	8196.72	870	Destocações	
Nº	Morado	Localização - Código Pasm/Cidade	Tip	Carga horária	Velocidade	Posic.	Tip. Port.	VVVF	Acessor.	Critério Navagem (min)	Critério Preço (min)	Critério Técnico (min)	Valor contrato mensal	Sequência	km	horas / dia	mms	km	
VN105023	Rua Prof. Joaquim Bastos, 6	PT-4200-604 Porto	SP	320	1	8	S2	N	8	27.67	57.88	50	82.68	1	56	6.57	0	0	
VN105024	Rua Prof. Joaquim Bastos, 6	PT-4200-604 Porto	SP	320	1	8	S2	N	8	27.67	57.88	50	82.68	1	56	6.57	0	0	
VN105025	Rua Prof. Joaquim Bastos, 36	PT-4200-604 Porto	SP	320	0	8	S2	N	8	33.00	68.83	50	94.18	1	56	6.57	0	0	
VN105026	Rua Prof. Joaquim Bastos, 36	PT-4200-604 Porto	SP	450	0	8	S2	N	8	33.00	68.83	50	94.18	1	56	6.57	0	0	
VN105027	Rua Prof. Joaquim Bastos, 66	PT-4200-604 Porto	SP	320	1	10	S2	N	10	38.33	79.96	50	105.86	1	56	6.57	0	0	
VN105028	Rua Prof. Joaquim Bastos, 66	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	10	S2	N	10	38.33	79.96	50	105.86	1	56	6.57	0	0	
VN105029	Rua Prof. Joaquim Bastos, 102	PT-4200-604 Porto	SP	320	10.25	8	S2	N	8	33.00	68.83	50	94.18	1	56	6.57	0	0	
VN105030	Rua Prof. Joaquim Bastos, 102	PT-4200-604 Porto	SP	450	10.25	8	S2	N	8	33.00	70.77	50	102.51	1	56	6.57	0	0	
VN105076	Rua Antero de Quental, 37B	PT-4200-000 Porto	SP	450	1	8	S2	N	8	27.67	51.92	50	75.45	2	56	5.83	0	0	
VN105077	Rua Antero de Quental, 37B	PT-4200-000 Porto	SP	320	1	8	S2	N	8	27.67	51.92	50	75.45	2	56	5.83	2	1	
VN105078	R. Prof. Joaquim Bastos, 31	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	7	S2	N	7	30.33	51.92	50	75.45	2	56	5.83	0	0	
VN105079	R. Prof. Joaquim Bastos, 31	PT-4200-604 Porto	SP	630	1	7	S2	N	7	30.33	51.92	50	75.45	2	56	5.83	0	0	
VN105080	R. Prof. Joaquim Bastos, 67	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	51.93	50	75.45	2	56	5.83	0	0	
VN105081	R. Prof. Joaquim Bastos, 67	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	51.93	50	75.45	2	56	5.83	0	0	
VN105017	R.FRANCISCO SENA ESTEVES,58	PT-4200-385 PORTO	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	70.97	50	97.10	3	56	7.50	0	0	
VN105018	R.FRANCISCO SENA ESTEVES,58	PT-4200-385 PORTO	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	70.97	50	97.10	3	56	7.50	0	0	
VN105019	R.FRANCISCO SENA ESTEVES,22	PT-4200-385 PORTO	SP	450	1	10	S2	N	10	38.33	82.80	50	109.52	3	56	7.50	0	0	
VN105020	R.FRANCISCO SENA ESTEVES,22	PT-4200-385 PORTO	SP	450	1	8	S2	N	10	38.33	82.80	50	109.52	3	56	7.50	1	0.077	
VN105021	R.PROF JOAQUIM BASTOS,223	PT-4200-604 PORTO	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	70.97	50	97.10	3	56	7.50	0	0	
VN105022	R.PROF JOAQUIM BASTOS,223	PT-4200-604 PORTO	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	70.97	50	97.10	3	56	7.50	0	0	
VN105082	R. Prof. Joaquim Bastos, 169	PT-4200-604 Porto	SP	630	1	8	S2	N	8	33.00	54.71	50	78.38	3	56	6.57	0	0	
VN105083	R. Prof. Joaquim Bastos, 169	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	54.72	50	78.38	3	56	6.57	0	0	
VN105084	R. Prof. Joaquim Bastos, 169	PT-4200-604 Porto	SP	450	1	8	S2	N	8	33.00	54.72	50	78.38	3	56	6.57	0	0	
VN105040	Trav. Silva Porto, 132 Ent. A	PT-4250-475 Porto	SP	630	1	10	S2	S	10	38.33	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105041	Trav. Silva Porto, 132 Ent. A	PT-4250-475 Porto	SP	1800	1	10	S2	S	10	40.00	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105042	Trav. Silva Porto, 112 Ent. B	PT-4250-475 Porto	SP	630	1	10	S2	S	10	38.33	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105043	Trav. Silva Porto, 112 Ent. B	PT-4250-475 Porto	SP	1800	1	10	S2	S	10	40.00	71.75	50	95.96	4	56	6.57	1	0.090	
VN105044	Trav. de Monsanto, 88 Ent. C	PT-4250-286 Porto	SP	630	1	10	S2	S	10	38.33	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105045	Trav. de Monsanto, 88 Ent. C	PT-4250-286 Porto	SP	1800	1	10	S2	S	10	40.00	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105046	Trav. de Monsanto, 56 Ent. D	PT-4250-286 Porto	SP	630	1	9	S2	S	9	35.67	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN105047	Trav. de Monsanto, 56 Ent. D	PT-4250-286 Porto	SP	1800	1	9	S2	S	9	37.33	71.75	50	95.96	4	56	6.57	0	0	
VN104045	Trav. Silva Porto, 51	PT-4250-286 Porto	ISL_2040	450	1	9	S2	S	9	45.67	84.62	60	121.94	5	58	6.42	0	0	
VN104047	Rua Silva Porto, 410	PT-4250-286 Porto	ISL_2040	450	1	9	S2	S	9	45.67	84.62	60	121.94	5	58	6.42	0	0	
VN104048	Rua de Monsanto, 582	PT-4250-286 Porto	ISL_2040	450	1	9	S2	S	9	45.67	81.78	60	118.27	5	58	6.42	0	0	
VN104051	R. MONSANTO, 584	PT-4250-286 PORTO	ISL_2040	450	1	8	S2	S	8	43.00	92.47	60	119.68	5	58	6.42	2	0.05	
VN106020	Praça 9 de Abril, 175	PT-4200-422 Porto	SP	300	0.6	8	DT	N	8	29.67	35.86	50	37.65	5	58	6.42	0	0	
VN106021	Praça 9 de Abril, 175	PT-4200-422 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.00	35.86	50	37.68	5	58	6.42	1	0.05	
VN106081	Rua de Monsanto, 306	PT-4250-287 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	39.97	45	41.97	5	58	6.42	0	0	

VN104853	Rua do Monte dos Burgos, 510	PT-4250-318	BL_2040	320	1	5	S2	S	5	35.98	47.62	45	70.88	8	53	4.83	1	0.4
VN196066	Lar Monte dos Burgos, 116	PT-4250-309 Porto	SP	600	0.6	2	S2	N	2	13.67	73.93	40	77.83	6			0	0
VN196068	Lar Monte dos Burgos, 116	PT-4250-309 Porto	SP	750	0.6	2	S2	N	2	15.33	73.93	40	77.82	6			1	0.22
VN196432	Rua Martins Garmento, 54	PT-4250-283 Porto	HR	375	0.6	5	DT	N	5	21.67	49.07	45	51.52	6			2	0.22
VN195957	Lar de Monte dos Burgos	PT-4250-309 Porto	SP	1500	0.5	2	S2	N	2	16.67	76.84	40	60.66	8			0	0
VN199115	Lar Monte dos Burgos	PT-4250-309 Porto	HR	800	0.5	3	S2	N	3	24.67	89.99	40	109.45	6			0	0
VN199116	LAR DE MONTE DOS BURGOS	PT-4250-309 PORTO	KGA	50	0.4	2	HT	N	2	7.67	31.24	20	32.81	6			0	0
VN199117	LAR DE MONTE DOS BURGOS	PT-4250-309 PORTO	KGA	50	0.4	2	HT	N	2	7.67	31.24	20	32.81	6			0	0
E12245	Rua Serpa Pinto, 669	PT-4250-466 Porto	SP	320	0.6	5	DT	N	5	21.67	39.07	45	41.96	7			0	0
VN198141	Rua Serpa Pinto, 799	PT-4250-466 Porto	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	25.79	45	27.66	7	0	0		
VN198142	Rua Serpa Pinto, 799	PT-4250-466 Porto	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	25.79	45	27.66	7	1	0.55		
VN193383	Praca Exercicio Libertador #0	PT-4250-204 Porto	SP	300	0.8	4	DT	N	4	19.66	34.31	45	36.83	7	2	0.85		
VN198438	Rua S. Denis, 96	PT-4250-425 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	41.30	45	43.36	7	0	0		
VN197242	Rua S. Denis, 114	PT-4250-425 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	43.98	45	46.18	7	2	0.85		
VN197372	Travessa S. Denis, 45	PT-4250-441 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	34.55	50	36.28	7	0	0		
VN192631	R. LEOTE REGO, 172/178	PT-4250-259 Porto	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	59.07	45	52.57	8	13	11.6		
VN194076	Rua Serpa Pinto, 538	PT-4250-464 Porto	SP	300	1	7	S2	N	7	30.33	57.06	50	59.92	8	0	0		
VN194079	Rua Serpa Pinto, 538	PT-4250-464 Porto	SP	300	1	7	S2	N	7	30.33	57.07	50	59.93	8	1	0.25		
VN194888	Rua do Nassau, 138	PT-4250-332 Porto	SP	300	1	6	S2	N	6	27.67	55.36	50	58.13	8	2	0.9		
VN198003	Rua Ribeiro de Sousa, 167	PT-4250-407 Porto	SP	300	0.6	6	S2	N	6	27.67	52.16	50	54.76	8	0	0		
VN198004	Rua Ribeiro de Sousa, 167	PT-4250-407 Porto	SP	300	0.6	6	S2	N	6	27.67	52.16	50	54.76	8	3	1.1		
VN198005	Rua Ribeiro de Sousa, 219	PT-4250-466 Porto	HR	300	0.4	3	S2	N	3	23.66	52.15	50	54.76	8	0	0		
VN143945	R.9 ABRIL, 617	PT-4250-344 Porto	SP	320	0.6	7	DT	N	7	27.66	23.75	45	24.93	9	1	0.01		
VN198086	R.9 ABRIL,618-612	PT-4250-344 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	39.37	45	31.69	9	0	0		
VN198087	R.9 ABRIL,618-612	PT-4250-344 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	39.37	45	31.69	9	0	0		
VN198092	R.9 ABRIL, 632	PT-4250-344 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	25.19	45	26.45	9	0	0		
VN198093	R.9 ABRIL, 632	PT-4250-344 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	25.19	45	26.45	9	0	0		
VN198095	R.9 ABRIL, 634	PT-4250-344 PORTO	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	34.43	50	36.15	9	0	0		
VN198096	R.9 ABRIL, 634	PT-4250-344 PORTO	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	34.43	50	36.15	9	1	0.091		
VN197415	Rua 9 de Abril, 531	PT-4250-349 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	42.76	50	44.89	9	0	0		
VN197416	Rua 9 de Abril, 531	PT-4250-349 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	42.77	50	44.91	9	0	0		
E17489	Rua da Constituição, 1599	PT-4250-169 Porto	SP	320	0.6	5	DT	N	5	21.67	42.66	45	45.60	10	4	1.6		
VN1439	Rua Constituição 1306	PT-4250-161 Porto	SP	300	0.5	5	DT	N	5	21.67	22.66	45	24.62	10	3	1.3		
VN143254	Rua Antero de Gental, 639	PT-4290-666 Porto	SP	500	0.5	3	DT	N	3	16.33	24.76	40	26.60	10	1	0.13		
VN143952	Rua Antero de Gental, 746	PT-4290-666 Porto	SP	300	0.6	6	DT	N	6	24.33	40.40	45	42.43	10	1	0.13		
VN196248	Rua Antero Gental, 639	PT-4290-666 Porto	HL	600	0.5	5	S2	N	5	25.99	78.52	45	82.45	10	1	0.45		
VN192691	R. CURHA JUNDR,212	PT-4250-185 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	41.70	45	42.82	10	3	1		
VN199091	R.CONSTITUÇAO,208 3	PT-4250-170 PORTO	KGA	5	0.4	2	HT	N	2	7.67	42.11	20	44.22	10	0	0		
VN199092	R.CONSTITUÇAO,208 3	PT-4250-170 PORTO	KGA	5	0.4	2	HT	N	2	7.67	42.11	20	44.22	10	0	0		
E19842	Rua de Antero Cândido, 277	PT-4190-600 Porto	BL_2040_X	630	1	4	S2	S	4	32.33	102.23	60	126.00	11	5	1.8		
VN1C-06AJE1	R.FARIA GUMARAES,742	PT-4290-291 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	43.25	50	45.41	11	0	0		
VN1C-06B01	R.FARIA GUMARAES,742	PT-4290-291 Porto	SP	300	0.6	7	DT	N	7	27.66	43.25	50	45.41	11	2	0.8		
VN190066	Rua Antero Cândido, 334	PT-4290-675 Porto	HR	320	0.5	5	S2	N	5	28.33	65.70	45	90.96	11	4	1.5		
VN143329	R.FARIA GUMARAES,687	PT-4290-291 Porto	SP	375	0.6	7	DT	N	7	27.66	23.45	45	24.62	11	0	0		
VN143950	R.FARIA GUMARAES,621	PT-4290-291 Porto	SP	300	0.6	8	DT	N	8	29.67	22.89	45	24.84	11	0	0		
VN143951	R.FARIA GUMARAES,621	PT-4290-291 Porto	SP	300	0.6	8	DT	N	8	29.67	22.90	45	24.84	11	1	0.8		
VN192583	Rua Covelo, 285	PT-4290-239 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	38.10	45	40.66	11	0	0		
VN101636	Travessa Monte S. João, 196	PT-4200-408 PORTO	BL_2040	320	1	5	S2	S	5	35.98	89.26	50	118.13	12	0	0		
VN101638	Travessa Monte S. João, 126	PT-4200-408 PORTO	BL_2040	320	1	5	S2	S	5	35.98	85.03	50	113.70	12	3	1		
VN101046	R.ALVARO CASTELOS,455	PT-4200-046 PORTO	BL_2040	320	1	5	S2	S	5	35.98	82.80	50	118.71	12	0	0		
VN101041	R.ALVARO CASTELOS,435	PT-4200-046 PORTO	BL_2040	320	1	5	S2	S	5	35.98	83.31	50	118.71	12	2	0.8		
VN197932	Rua Cunha, 33	PT-4290-251 Porto	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.66	36.07	40	37.67	12	2	1.1		
VN199646	Rua Visconde Setúbal, 142	PT-4290-487 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	45.85	45	48.15	12	4	1.7		
VN194859	Rua de Cunha, 418	PT-4250-250 Porto	SP	375	0.6	5	S2	N	5	25.99	69.26	45	63.27	12	0	0		

E10272	Rua Oscar da Silva, 169	PT-4200-434 Porto	SP	320	0,6	5	DT	N	5	21,67	41,72	45	43,80	13	40	5,42	2	0,85		
VN160107	Rua Aval Cma, 129	PT-4200-107 Porto	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	34,30	45	36,11	13			0	0		
VN160108	Rua Aval Cma, 129	PT-4200-107 Porto	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	34,30	45	36,11	13			0	0		
VN160890	R.AVAL CMA, 157	PT-4200-107 Porto	SP	300	0,6	8	DT	N	8	29,67	30,53	50	32,96	13			0	0		
VN160891	R.AVAL CMA, 157	PT-4200-107 Porto	SP	300	0,6	8	DT	N	8	33,00	30,53	50	32,96	13			2	0,85		
VN167091	Rua Oscar Silva, 211	PT-4200-434 Porto	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	40,02	45	42,82	13			0	0		
VN167092	Rua Oscar Silva, 211	PT-4200-434 Porto	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	40,02	45	42,82	13			0	0		
E10120	Rua Eng. Guilherme Bonfim	PT-4200-317 Porto	SP	320	0,6	5	DT	N	5	21,67	46,93	45	49,28	14			37	6,50	0	0
E10121	Rua Eng. Guilherme Bonfim	PT-4200-317 Porto	SP	320	0,6	5	DT	N	5	21,67	46,93	45	49,28	14	0	0				
E10641	Rua Eng. Guilherme Bonfim Barreiros, 268	PT-4200-317 Porto	SP	320	0,6	4	DT	N	4	19,00	41,72	40	43,80	14	0	0				
E17680	Rua Eng.º Guilherme Bonfim Barreiros 268	PT-4200-317 Porto	Sp	300	0,6	4	DT	N	4	19,00	38,10	40	40,00	14	0	0				
VN101074	R.Eng. Guilherme Bonfim Barreiros	PT-4200-317 Porto	(SI_2040)	320	1	5	S2	S	5	35,00	95,02	50	123,01	14	0	0				
VN104023	Rua Eng. Guilherme Bonfim	PT-4200-317 Porto	(SI_2040)	450	1	6	S2	S	6	37,67	52,14	50	76,65	14	1	0,892				
VN107020	Rua Oscar da Silva, 88	PT-4200-432 Porto	(SI_2040)	320	1	10	S2	S	10	48,33	64,35	60	87,57	14	0	0				
VN107021	Rua Oscar da Silva, 88	PT-4200-432 Porto	(SI_2040)	320	1	10	S2	S	10	48,33	64,35	60	87,57	14	0	0				
VA105034	Rua Aval de Baixo, 151	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	40,46	55	42,49	15	37	7,33	0	0		
VA105035	Rua Aval de Baixo, 151	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105036	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105037	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105038	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105039	Rua Aval de Baixo, 169	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	30,33	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105040	Rua Aval de Baixo, 205	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	30,33	40,46	55	42,49	15			0	0		
VA105041	Rua Aval de Baixo, 205	PT-4200-104 Porto	SP	320	0,6	7	DT	N	7	30,33	40,46	55	42,49	15			0	0		
VN143929	R.OSCAR SILVA, 42	PT-4200-432 Porto	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	28,86	45	30,31	16	37	5,42	0	0		
VN143930	Rua Oscar Silva, 30	PT-4200-432 Porto	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	27,49	45	28,87	16			1	0,28		
VN160265	R. Dr. Joaquim Pires Lima, 117	PT-4200-350 Porto	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	30,53	45	32,96	16			0	0		
VN160266	R. Dr. Joaquim Pires Lima, 117	PT-4200-350 Porto	SP	300	0,6	7	DT	N	7	27,00	30,53	45	32,96	16			0	0		
VN160892	Rua Dr.Joaquim Pires Lima, 135	PT-4200-350 Porto	SP	300	0,6	8	DT	N	8	29,67	37,65	50	39,54	16			0	0		
VN160893	Rua Dr.Joaquim Pires Lima, 135	PT-4200-350 Porto	SP	300	0,6	8	DT	N	8	29,67	37,66	50	39,54	16			1	0,22		
VN166409	Rua Pereira Reis, 405	PT-4200-448 Porto	HPI	525	0,6	3	S24	N	3	16,33	44,16	45	46,37	16			0	0		
E13590	Rua de Augusto Lessa, 669	PT-4200-107 Porto	HPI	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	37,55	55	39,43	17			37	4,50	0	0
E13591	Rua de Augusto Lessa, 669	PT-4200-107 Porto	HPI	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	37,55	55	39,43	17	0	0				
E13592	Rua Augusto Lessa, 653	PT-4200-107 Porto	HPI	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	37,55	55	39,43	17	0	0				
E13593	Rua Augusto Lessa, 653	PT-4200-107 Porto	HPI	320	0,6	7	DT	N	7	27,00	37,55	55	39,43	17	1	0,823				
VN167006	Rua Augusto Lessa, 678A	PT-4200-098 Porto	SP	300	0,6	6	DT	N	6	24,33	38,48	50	40,41	17	0	0				
E16747	Rua Monte S. João, 118 C	PT-4200-406 Porto	HPI	300	0,6	5	S2	N	6	31,00	16,19	50	27,00	18	57	3,25			0	0
E16748	Rua Monte S. João, 144 A	PT-4200-406 Porto	HPI	300	0,6	6	S2	N	6	31,00	20,95	50	32,00	18					0	0
E16749	Rua Monte S. João, 128 B	PT-4200-406 Porto	HPI	300	0,6	6	S2	N	6	31,00	20,95	50	32,00	18					4	1,6
VN198085	Rua S. Verissimo, 111/115	PT-4200-495 Porto	SP	300	0,6	5	S2	N	5	25,00	44,19	45	46,40	18			0	0		

E10303	Rua Igreja de Paranhos, 85	PT-4200-329 Porto	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.00	41.72	40	43.80	19	57	3.50	2	1			
VW100066	Rua S. Dinis, 76	PT-4250-425 Porto	SP	630	0.6	3	S2	N	3	19.67	4.61	45	4.84	19			4	1.6			
VW160329	R. CARLOS MAA, 258	PT-4200-150 Porto	SP	300	0.6	5	DT	N	5	21.67	42.47	45	44.59	19			3	1.2			
VW160440	Travessa Ferreira, 101	PT-4200-297 Porto	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.00	33.79	40	35.48	19			0	0			
VW160441	Travessa Ferreira, 121	PT-4200-297 Porto	SP	300	0.6	4	DT	N	4	19.00	33.79	40	35.48	19			0	0			
TOTALS																					
Equipamentos em falta												Tempos de Manutenção									
												6490		984		109.00		94.00		40.74	
E19316												45 mins									
												mins		6490		8540.00		94.00			
E19858												45 mins									
												segs		389400		382400.00		5640			
E20886												45 mins									
																Total da Rota		398040.00			
VW104046												60 mins									
VW104048												60 mins									
VW104050												60 mins									
VW104052												60 mins									
VW160061												45 mins									
																				423240.00 segs	
TOTAL												420 mins									
												25200 segs									
<p>Visto que da carteira do técnico não saíram quaisquer equipamentos, não é necessário retirar qualquer tempo de manutenção nem qualquer deslocação.</p> <p>Desta forma o total definitivo da solução sem as deslocações aos equipamentos que entraram para a lista de pontos do técnico apresentado é: 423240.00 (sem desloc.)</p>																					
De notar:																					
Ainda falta incluir os tempos de deslocações aos equipamentos que faltam nesta lista da carteira do técnico!!!!!!!																					

Anexo D. Tabela constituída pelos equipamentos do técnico

Neste anexo é apresentada uma parte da tabela que contempla todos os equipamentos do técnico do qual se pretende obter o relatório de manutenções.

ID_Elev	Duto	Morada	Morada_Coord	Contato	O_Tecnico	Cod_Posit	Temp_Merul	Periodidade
E10720	Ponto	Rua Eng. Guilherme Borfim	41.165936;-8.93984	1	200879	PT-4200-317 Ponto	45	1
E10121	Ponto	Rua Eng. Guilherme Borfim	41.165936;-8.93986	1	200879	PT-4200-317 Ponto	45	1
E10272	Ponto	Rua Oscar de Silva, 189	41.167801;-8.939365	1	200879	PT-4200-434 Ponto	45	1
E10303	Ponto	Rua Igreja de Paqueta, 85	41.170376;-8.601723	1	200879	PT-4200-329 Ponto	40	1
E10841	Ponto	Rua Eng. Guilherme Borfim	41.165936;-8.93986	1	200879	PT-4200-317 Ponto	40	1
E10842	Ponto	Rua de Antonio Cândido, 277	41.16446;-8.607466	2	200879	PT-4100-000 Ponto	80	1
E12245	Ponto	Rua Serra Frio, 689	41.166532;-8.620405	1	200879	PT-4250-489 Ponto	45	1
E13690	Ponto	Rua de Augusto Lessa, 689	41.169932;-8.602488	1	200879	PT-4200-107 Ponto	56	1
E13691	Ponto	Rua de Augusto Lessa, 689	41.169932;-8.602489	1	200879	PT-4200-107 Ponto	55	1
E13692	Ponto	Rua Augusto Lessa, 683	41.169932;-8.60249	1	200879	PT-4200-107 Ponto	55	1
E13693	Ponto	Rua Augusto Lessa, 683	41.169932;-8.602491	1	200879	PT-4200-107 Ponto	55	1
E16747	Ponto	Rua de Monte de São João, 118 C	41.169448;-8.605202	2	200879	PT-4200-045 Ponto	50	1
E16748	Ponto	Rua Monte de São João, 144 A	41.169448;-8.605203	2	200879	PT-4200-046 Ponto	50	1
E16749	Ponto	Rua Monte de S. João, 128 B	41.169448;-8.605204	2	200879	PT-4200-046 Ponto	50	1
E17409	Ponto	Rua de Constituição, 1999	41.163471;-8.617079	1	200879	PT-4250-189 Ponto	45	1
E17880	Ponto	R. Eng. Guilherme Borfim	41.165936;-8.93987	1	200879	PT-4200-317 Ponto	40	1
E19116	Ponto	Rua Luz Sotero, 202	41.171378;-8.603965	2	200879	PT-4200-285 Ponto	45	1
E19588	Ponto	Rua 9 de Abril, 912	41.170111;-8.619589	2	200879	PT-4250-345 Ponto	45	1
E20836	Ponto	Largo S. Doms	41.167801;-8.615566	2	200879	PT-4250-434 Ponto	45	1
VAA16034	Ponto	Rua Avial de Branco, 151	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16035	Ponto	Rua Avial de Branco, 151	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16036	Ponto	Rua Avial de Branco, 189	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16037	Ponto	Rua Avial de Branco, 189	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16038	Ponto	Rua Avial de Branco, 189	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16039	Ponto	Rua Avial de Branco, 189	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1
VAA16040	Ponto	Rua Avial de Branco, 205	41.167719;-8.939518	1	200879	PT-4200-104 Ponto	55	1

Anexo E. Página inicial do relatório de manutenção obtido para o técnico 1 através do programa

No presente anexo apresenta-se a página inicial com o *layout* pretendido para o documento que contempla a lista de rotas diárias de manutenções preventivas que o técnico 1 (201039 – Número de identificação) tem que realizar.

Lista otimizada de Técnicos – Manutenção Periódica / Mês Abril 2014

ID Técnico: 201039



Duração total prevista para a rota do presente mês: 116,32(horas) - 19 dias de manutenção

Dia definido para a manutenção	Nº. Equipamento / Critério (mins)	Localização / Código-Postal	Duração total do dia (horas)	Verificação
Dia 1	E16941 80	Av.Infante D Henrique,307 BI.E PT-4785-169 Trofa	6,50	
	E16942 80	Av.Infante D Henrique,307 BI.E PT-4785-169 Trofa		
	E16936 70	Rua D. Pedro V,948 PT-4785-308 São Martinho Bougado		
	E16937 70	Rua D. Pedro V,948 PT-4785-308 São Martinho Bougado		
	VN167178 45	Rua D. João VI, 45 - Bloco A PT-4785-308 São Martinho de Bougado		
	VN167179 45	Rua D. João VI, 33 - Bloco B PT-4785-308 São Martinho de Bougado		
Dia 2	VN193501 50	Rua D. João VI, 57 PT-4785-308 Trofa	6,10	
	VN143981 45	S. Bento de Vairão PT-4485-660 Vairão		
	E14885 45	Travessa Serafim Cruz, 23 PT-4475-670 Maia		
	VN103016 45	R. Prof. Lafayette Rod. Vieira PT-4475-646 Maia		
	E15749 50	Rua da Paz - Hospital Privado PT-4785-143 Coroa TRF		
	E16801 20	Rua Crasto, 996 PT-4475-026 Maia		
	VN103055 45	R. Antero Quental C/ R.Ramalho PT-4785-285 Finzes		
VN191681 45	Rua das Guardadeiras, 232 PT-4470-608 Maia			
Dia 3	E18613 80	Praceta do Sobreiro, 13 PT-4470-372 Maia	6,17	
	E18614 80	Praceta do Sobreiro, 13 PT-4470-372 Maia		
	E18615 80	Praceta do Sobreiro, 30 PT-4470-372 Maia		
	E18616 80	Praceta do Sobreiro, 30 PT-4470-372 Maia		
	E10253 50	Rua Manuel Vieira Nunes Cruz, PT-4475-669 Maia		
Dia 4	E12642 45	Rua Banda Musica Moreira, 56 PT-4470-605 Maia	6,08	

Anexo F. Página inicial do relatório de manutenção obtido para o técnico 2 através do programa

No presente anexo apresenta-se a página inicial com o *layout* pretendido para o documento que contempla a lista de rotas diárias de manutenções preventivas que o técnico 2 (200879 – Número de identificação) tem que realizar.

Lista otimizada de Técnicos – Manutenção Periódica / Mês Abril 2014

ID Técnico: 200879



Duração total prevista para a rota do presente mês: 115,73(horas) - 20 dias de manutenção

Dia definido para a manutenção	Nº. Equipamento / Critério (mins)	Localização / Código-Postal	Duração total do dia (horas)	Verificação
Dia 1	VN160066 45	R.9 ABRIL,618-612 PT-4250-344 Porto	6,19	
	VN160067 45	R.9 ABRIL,618-612 PT-4250-344 Porto		
	VN160092 45	R.9 ABRIL,632 PT-4250-344 Porto		
	VN160093 45	R.9 ABRIL,632 PT-4250-344 Porto		
	VN166055 50	R.9 ABRIL,634 PT-4250-344 PORTO		
	VN166056 50	R.9 ABRIL,634 PT-4250-344 PORTO		
	VN100066 45	Rua S. Dinis, 76 PT-4250-425 Porto		
	VN166439 45	Rua S. Dinis, 96 PT-4250-425 Porto		
Dia 2	VN167242 45	Rua S. Dinis, 114 PT-4250-425 Porto	6,29	
	E20686 45	Largo S. Dinis PT-4250-424 Porto		
	VN160383 45	Praça Exército Libertador,60 PT-4250-204 Porto		
	VN143945 45	Rua de 9 Abril, 617 PT-4250-350 Porto		
	E12245 45	Rua Serpa Pinto, 669 PT-4250-468 Porto		
	VN194080 50	Rua do Niassa, 139 PT-4250-332 Porto		
	VN167415 50	Rua 9 Abril, 531 PT-4250-349 Porto		
	VN167416 50	Rua 9 Abril, 531 PT-4250-349 Porto		
Dia 3	VN194078 50	Rua Serpa Pinto, 538 PT-4250-464 Porto	6,10	
	VN194079 50	Rua Serpa Pinto, 538 PT-4250-464 Porto		
	VN160141 45	Rua Serpa Pinto, 799 PT-4250-468 Porto		
	VN160142 45	Rua Serpa Pinto, 799 PT-4250-468 Porto		