

IO 2011  
15º Congresso da Associação Portuguesa  
de Investigação Operacional

Livro de Actas

18 a 20 de Abril de 2011  
Faculdade de Economia da  
Universidade de Coimbra

Este volume contém os artigos submetidos e apresentados no 15º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, realizado em Coimbra, Portugal, de 18 a 20 de Abril de 2011.

**Título: Livro de Actas do 15º Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional, IO2011**

Coordenadores:  
**Domingos Cardoso e João Clímaco**

Edição:  
**INESC-Coimbra**

Produção e Design:  
**Luís Alçada, Abril de 2011**

ISBN: **978-989-95055-4-4**  
Depósito Legal: **325755/11**

Impressão: Ediliber-Editora de Publicações e Artes Gráficas, Lda. – Coimbra

## Índice

<i>Comissão de Organização</i> .....	iii
<i>Comissão de Programa</i> .....	v
<i>Índice</i> .....	vii
<i>Nota Editorial</i> .....	ix
<i>Ana Paula Teixeira, Maria Manuel Nascimento, Helena Monteiro</i> <i>Programação Linear: uma experiência na Escola de Verão de Matemática</i> .....	1
<i>André Lopes Fradinho, Maria Isabel Gomes, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Optimization of Batteries Sustainable Distribution Network with Reverse Flows</i> .....	13
<i>Andreia Filipa Antunes, Margarida Moz</i> <i>Optimização do Escalonamento de Enfermeiros numa Unidade Hospitalar</i> .....	25
<i>Andreia Zanella, Ana S. Camanho, Teresa G. Dias</i> <i>Countries environmental performance assessment</i> .....	37
<i>Carlos Alberto Rodrigues, Maria Helena Correia</i> <i>Problema de definição de rotas na prestação de serviços de exploração de sistemas de saneamento</i> .....	53
<i>Clara Vaz, Ana S. Camanho</i> <i>Evolução do desempenho de lojas de retalho ao longo do tempo utilizando o índice de Malmquist</i> .....	65
<i>Cláudia Duarte, J. Valério de Carvalho, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Car sequencing approaches: a literature survey</i> .....	79
<i>Elsa Silva, Filipe Pereira e Alvelos, José Manuel Valério de Carvalho</i> <i>Problema integrado de corte bidimensional e dimensionamento de lotes</i> .....	91
<i>Frederico Gonçalves, Sónia R. Cardoso, Susana Relvas, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Optimization of a Distribution Network using Electric Vehicles: a VRP Problem</i> .....	103
<i>Isabel M. Horta, Ana S. Camanho, Jorge Moreira da Costa</i> <i>Assessment of performance and innovation of Portuguese construction companies</i> .....	115
<i>Leão José Fernandes, Susana Relvas, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Optimal Network Design of Petroleum Supply Chains</i> .....	129
<i>Manuel Rodrigues, Mónica Oliveira, Teresa Peña</i> <i>Developing Methods to Evaluate Benefits and Costs of Arterial Spin Labeling in Alzheimer's Disease</i> .....	141
<i>Maria Cláudia Sávio Masiero, Edméa Cássia Baptista, Aguiinaldo Aparecido Vieira, Vanusa Alves de Sousa</i> <i>Uma variação da função Lagrangiana Aumentada Barreira Modificada para resolução de problemas de Programação Não Linear</i> .....	153
<i>Marisa Oliveira, Eduarda Pinto Ferreira, A. Miguel Gomes</i> <i>Rect-TOPOS: Uma heurística construtiva para a minimização da área da envolvente rectangular no Posicionamento de formas com componentes rectangulares</i> .....	165

<i>Mónica D. Oliveira, Teresa C. Rodrigues, Carlos A. Bana e Costa, Armando Brito de Sá</i> <i>Prioritizing Health Care Interventions: A Multicriteria Resource Allocation Model to Inform the</i> <i>Choice of Community Care Programmes.....</i>	177
<i>Níssia Carvalho Rosa Bergiante, Mariana Vieira Rangel Nunes, João Carlos Correia Baptista</i> <i>Soares de Mello</i> <i>Índice Técnico para Pentatlo Moderno baseado em DEA.....</i>	187
<i>Nuno Miguel Santana, Maria Isabel Gomes, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Supply Chain Optimization: Application to a real case.....</i>	199
<i>Reinaldo Castro Souza, André Luís Marques Marcato, Bruno Henriques Dias, Fernando Luíz</i> <i>Cyrino Oliveira</i> <i>Operação Ótima de Sistemas Hidrotérmicos com Geração de Cenários Hidrológicos Através de</i> <i>Modelos Auto-Regressivos Periódicos identificados via Bootstrap.....</i>	213
<i>Sandra Silva, Luís Alçada-Almeida, Luís Dias</i> <i>Avaliação da Gestão de Efluentes em Explorações Leiteiras: uma abordagem com integração de</i> <i>Análise Multicritério num Sistema de Informação Geográfica.....</i>	225
<i>Sónia R. Cardoso, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa, Susana Relvas</i> <i>Optimal Network Design of Supply Chains with Reverse Flows.....</i>	237
<i>Tânia Pinto-Varela, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa, Augusto Queiroz Novais</i> <i>A Goal Programming Approach for the Retrofit of Supply Chain Networks.....</i>	249
<i>Tânia Rodrigues Pereira Ramos, Maria Isabel Gomes, Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa</i> <i>Solving a multi-product, multi-depot vehicle routing problem by a hybrid method.....</i>	261
<i>Tiago Costa Gomes, Filipe Pereira e Alvelos, Maria Sameiro Carvalho</i> <i>Modelação e optimização de cadeias de abastecimento de biomassa florestal.....</i>	275
<i>Vítor Mendonça, António J. L. Rodrigues</i> <i>Adaptive forecasting methods for time series with complex trend patterns.....</i>	287
<i>Índice de Autores.....</i>	299

## **Problema de definição de rotas na prestação de serviços de exploração de sistemas de saneamento**

*Carlos Alberto Rodrigues<sup>a</sup>, Maria Helena Correia<sup>b\*</sup>*

<sup>a</sup>*Luságua – Serviços Ambientais S.A., Braga, Portugal*  
[carlosrodrigues@lusagua.pt](mailto:carlosrodrigues@lusagua.pt)

<sup>b</sup>*Faculdade de Economia e Gestão – Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal*  
[mcorreia@porto.ucp.pt](mailto:mcorreia@porto.ucp.pt)

*\* Corresponding Author*

### **Resumo**

Este trabalho aborda as questões fundamentais inerentes ao planeamento da prestação de serviços em regime descentralizado, no contexto da exploração de sistemas de saneamento básico. As fases de identificação de pontos de falha, o isolamento do problema, a procura da melhor solução técnica, a implementação em termos operacionais e os resultados em termos de mais-valias constituem as vertentes fundamentais do estudo realizado. O planeamento das actividades de operação e manutenção foi identificado como um dos pontos de falha no desenho do serviço, sendo o planeamento das rotas das equipas operacionais um factor crucial na gestão efectiva do processo de prestação de serviços. A aplicação das técnicas seleccionadas foi orientada por objectivos de aumento da qualidade e capacidade de resposta, associados à diminuição dos custos totais, sem negligenciar a qualidade do serviço prestado.

Os resultados apresentados enquadram-se na operação de uma empresa de serviços responsável pela gestão de contrato de exploração de sistemas de saneamento com tipologia descentralizada, no município de Braga.

O sistema de planeamento desenvolvido permitiu que a organização prestadora de serviços se tornasse capaz de cumprir as premissas assumidas de aumento da qualidade do serviço e capacidade de resposta acompanhada de uma diminuição dos custos totais.

**Palavras-chave:** Gestão de operações em serviços, logística, problema de rotas de veículos.

## 1- Introdução

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento da subcontratação de determinados serviços por parte de organizações públicas e privadas em regime de *outsourcing*. Este processo permite às organizações aumentar a eficácia e eficiência da gestão de determinadas operações [Clark, 2008]. Os prestadores de serviço criaram áreas particulares de saberes, e reposicionaram a sua estratégia, de modo a oferecer ao cliente um pacote de serviços especializados para satisfação das suas expectativas e necessidades.

O presente trabalho considera o caso de um cliente público que optou pela subcontratação da execução de um serviço específico - a exploração de estações de elevação e tratamento de águas residuais urbanas -, de entre a globalidade dos serviços desempenhados na sua área de actividade – a gestão municipal de águas e resíduos. Como exploração entende-se, neste contexto, a execução de serviços de operação e manutenção, realizadas nas instalações do cliente. A opção pela estratégia de subcontratação de serviços justifica-se, no presente caso, não só pelo atrás referido, mas também pelo facto de, na maior parte nos casos, os clientes municipais optarem por investir em sistemas de tratamento de águas residuais avançados, com equipamento de processo complexo e específico e, contrariamente ao que seria de esperar, não possuírem recursos humanos dotados de capacidade técnica (muitas vezes, por falta de verba para investimento em formação) para colocar em prática programas operacionais e de manutenção concordantes com o investimento realizado.

Os contratos de serviços de operação e manutenção neste sector, permitem, ao cliente, dispor dos serviços de técnicos dotados de conhecimentos especializados, ficando a cargo do prestador de serviços a responsabilidade de garantir o cumprimento dos requisitos legais do cliente e requisitos nacionais em vigor [Hartman, 2003].

O trabalho desenvolvido tem como enquadramento o desenho de contratos de prestação de serviços e pretende apoiar o planeamento e execução das actividades de operação (tarefas de limpeza, conservação e controlo) e manutenção (tarefas de cariz correctivo e preventivo) de sistemas de saneamento básico, em termos de optimização de percursos de entrega do serviço. Desta forma, pretendeu-se seleccionar os melhores meios que se traduzam, para o gestor de contrato, na redução de custos de exploração, ao nível do

consumo de combustível, desgaste de viaturas e percentagens de alocação de recursos humanos às várias instalações alvo de contrato. Assumindo-se o objectivo de melhoria da performance da prestação de serviços, foram seleccionados métodos quantitativos de apoio à decisão para melhorar/optimizar os percursos de execução dos serviços de exploração.

Nesta secção, pretendeu-se caracterizar genericamente a envolvente do trabalho realizado, descrevendo-se o tipo de contrato de prestação de serviços em causa e definindo-se as directrizes que deram início à análise e formulação do problema em estudo. Na secção seguinte apresenta-se a organização prestadora de serviços, descrevendo-se o seu enquadramento sectorial, e definem-se os contornos reais do problema que se pretendeu resolver. A secção 3 descreve o método de solução adoptado na resolução do problema em causa. Na secção 4, apresentam-se os resultados operacionais alcançados. Por fim, na secção 5, conclui-se com a apresentação das principais conclusões do trabalho e a formulação de propostas para o desenvolvimento de projectos futuros neste sector de prestação de serviços.

## **2- Descrição do caso empresarial**

Quando a entrega de determinada tipologia de serviços a clientes tem como necessidades a deslocação a uma ou mais instalações, alvo de contrato, uma importante consideração a ter no desenho do serviço, é a aplicação/desenvolvimento de modelos de optimização/melhoria dos circuitos de execução dos serviços, de modo a minimizar a distância e/ou o tempo percorrido [Fitzsimmons, 1994]. O transporte é considerado um elemento de extrema importância na cadeia de fornecimento de produtos e serviços. A logística, sobretudo do lado empresarial, relaciona-se estreitamente com o transporte, uma vez que este confere ao produto/serviço/matéria-prima uma mudança posicional, aproximando-o do mercado, por forma a que cada trajecto, quando eficiente e devidamente concebido, gere um ganho efectivo de valor [Carvalho, 2004].

No presente estudo, o serviço a realizar localiza-se no concelho de Braga, sede do distrito homónimo, inserido na região do Minho. Tem uma área de aproximadamente 183,51 Km<sup>2</sup> (dados do INE), distribuída por 62 freguesias. O cliente do serviço é a empresa pública municipal AGERE - Empresa de Águas, Efluentes e Resíduos de

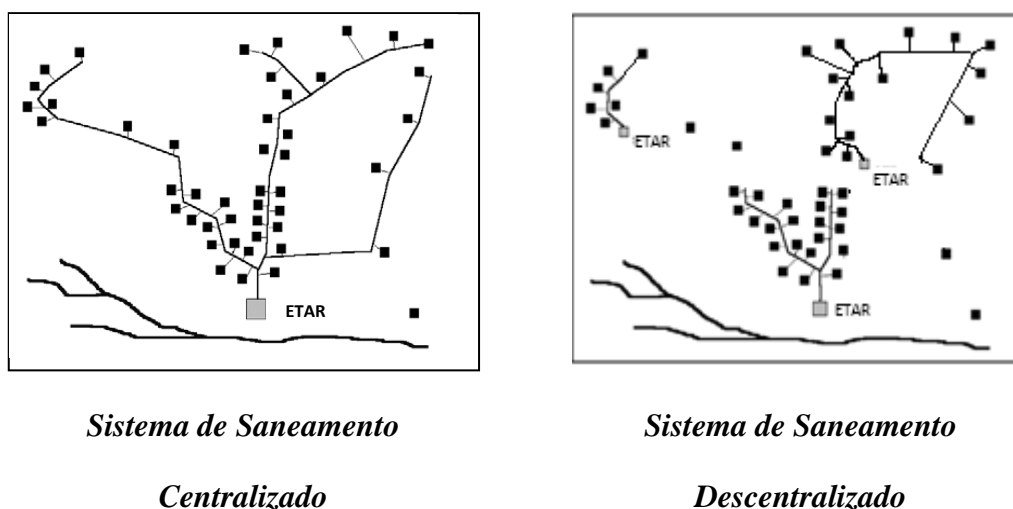
Braga, EM, que surgiu da transformação dos Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento em empresa pública municipal, no dia 1 de Janeiro de 1999, com o objectivo de melhor servir os munícipes do concelho.

Em 2008 a EMASISA - Exploração e Manutenção de Sistemas Ambientais Lda, empresa prestadora de serviços da área ambiental, mais concretamente no sector de abastecimento de água e saneamento de águas residuais, arrancou com dois contratos de prestação de serviços no Município de Braga, cujo objectivo consistia, resumidamente, na exploração do sistema de saneamento municipal, constituído por 37 estações elevatórias (EE) e 10 estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Cada uma das infra-estruturas de saneamento básico alvo de contrato incorpora um conjunto de equipamentos electromecânicos e processos de tratamento que têm de ser alvo de actividades específicas, operacionais e de manutenção.

Os serviços de operação considerados no âmbito do contrato englobam a prestação de todos os serviços (actividades e tarefas) necessários e convenientes com vista a assegurar o melhor rendimento possível das instalações. Para realização destas actividades, o prestador de serviços possui um gestor de contrato (engenheiro especialista), um engenheiro coordenador e quatro equipas de operacionais formadas, cada uma, por dois elementos. Os serviços de manutenção abrangem a resolução de problemas inesperados que possam vir a ocorrer nas instalações do cliente (normalmente detectadas pelas equipas operacionais e/ou pelo cliente) e a realização de acções programadas. Deste modo, no caso dos serviços de manutenção, as actividades encontram-se divididas em duas áreas funcionais, com especificidades próprias e requerendo tratamento independente: a manutenção correctiva e a manutenção preventiva. A programação de funções de manutenção correctiva implica a previsão de horas de manutenção a realizar na correcção de avarias imprevistas. No caso da manutenção preventiva, o número de horas é previamente conhecida, com base no *Plano Anual de Manutenção Preventiva* dos equipamentos de todas as instalações, sendo as ordens de trabalho entregues aleatoriamente às equipas operacionais.

No momento da concepção de sistemas de saneamento básico, coloca-se a questão quanto à tipologia de sistema a adoptar para servir um município, ou parte dele. Normalmente, esta decisão implica um grande conhecimento do município alvo,

consistindo fundamentalmente na opção entre uma tipologia centralizada ou descentralizada (Figura 1).



**Figura 1** – Tipologias de serviço de recolha e tratamento de águas residuais em regime centralizado (uma ETAR) e descentralizado (três ETAR's).

Existem vários problemas associados à centralização de sistemas de saneamento básico sendo a tipologia descentralizada uma clara alternativa ao sistema convencional, em locais com densidade populacional reduzida.

As características económicas e demográficas do Município de Braga determinaram a adopção da tipologia de sistemas de saneamento de águas residuais em regime descentralizado. Apesar de, em termos de custos de manutenção (reparações/substituições de equipamento), este tipo de sistema apresentar custos baixos, em termos de custos operacionais o mesmo não se verifica, assumindo aqui a dispersão geográfica das instalações a explorar um papel fundamental. A distribuição geográfica das instalações por diferentes zonas do município obriga à elaboração de um planeamento mais complexo da execução dos diferentes trabalhos, mais especificamente, em termos de desenho de circuitos e alocação de recursos para a execução dos serviços de operação e manutenção. Desta forma, o planeamento dos circuitos de execução dos serviços de operação e manutenção torna-se uma fase de extrema importância na gestão efectiva deste processo de prestação de serviços.

Inicialmente, os serviços de exploração eram realizados de acordo com um plano que agrupava as instalações do município em 8 rotas (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub> e R<sub>8</sub>), sendo

estas rotas divididas por 4 equipas operacionais (A, B, C e D). Este plano de exploração foi elaborado com base exclusiva na experiência do gestor operacional e em dados recolhidos no terreno, considerando como base 8 horas de trabalho diário. A sua elaboração considerou as distâncias entre instalações e o tempo médio de percurso entre as mesmas, pressupondo ainda o cumprimento de algumas premissas, parcialmente devidas a requisitos contratualizados com o cliente, nomeadamente, a imposição de visita diária a todas as instalações e a natureza das tarefas operacionais a realizar, com tempos de operação médio diferente. A definição deste plano de exploração terá sido feita de modo estritamente empírico, quer em termos de alocação das instalações e rotas às equipas operacionais, quer em termos de realização das tarefas programadas.

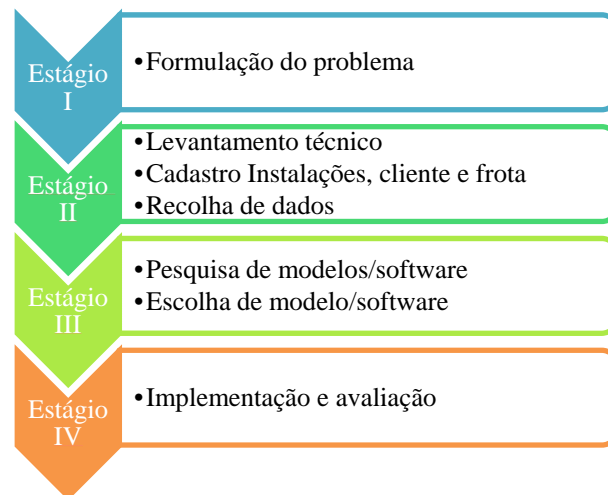
### **3- Definição do problema e método de solução**

Com o trabalho realizado pretendeu-se desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no âmbito da gestão de contratos de prestação de serviços de operação e manutenção de sistemas de saneamento básico, considerando as características do caso em estudo, descritas na secção anterior. Assim, o problema consiste na determinação de um conjunto de rotas que permita visitar diariamente todas as estações consideradas no contrato de serviços de exploração e executar as tarefas contratadas. Cada rota deverá ser realizada por apenas um veículo, considerando-se que todas as rotas terminam e acabam num mesmo ponto – depósito de veículos. O objectivo assumido na definição destas rotas consiste na minimização da distância percorrida diariamente, garantindo-se o cumprimento dos requisitos referidos – todas as estações são visitadas e todas as tarefas realizadas. Neste contexto, foram implicitamente assumidos objectivos de minimização dos recursos despendidos na execução do serviço relativos, fundamentalmente, à distância percorrida (Km/ano), consumo combustível (litros/ano), afectação dos colaboradores (% horas.homem) e tempo despendido entre instalações (h/ano) sem descurar a conservação, ou mesmo melhoria da qualidade do serviço prestado ao cliente e indirectamente à população.

Importa salientar que a abordagem apenas foi realizada aos serviços operacionais da organização prestadora de serviços, pois quando falamos nos serviços de manutenção, a complexidade de análise aumenta uma vez que o problema terá que ser decomposto em

dois sub-problemas com características distintas: gestão pontual de avarias (manutenção correctiva) e gestão programada da manutenção de equipamentos.

No processo de desenvolvimento do método de solução podem distinguir-se os 4 estágios sequenciais representados na Figura 2.



**Figura 2** - Metodologia de resolução do problema.

Na execução do Estágio II foi utilizada uma ferramenta de *Global Positioning System* (GPS) que permitiu cadastrar todas as instalações do cliente (alvo do contrato) em termos de georeferenciação no modelo de ortofotomapas. O GPS *Amaryllo*<sup>1</sup> permitiu retirar no terreno as coordenadas das instalações, definir circuitos e planear percursos. A grande vantagem da utilização deste GPS reside na possibilidade de exportação de dados directamente para o software *Google Earth*, através da latitude e longitude de cada nó (coordenadas geográficas descritas em graus, minutos, segundos - *DMS*). Desta forma, foi possível catalogar as quarenta e sete instalações do cliente.

O problema em causa foi identificado com um problema de rotas de veículos (*Vehicle Routing Problem* – *VRP*) [Vigo, 2002]. O problema de rotas de veículos tem como objectivo determinar um conjunto de rotas que cobrem um conjunto pré-definido de nós, com o objectivo de minimização de custos relativamente aos recursos afectos,

<sup>1</sup> *Amaryllo's Trip Tracker* é um pequeno dispositivo que utiliza a tecnologia de navegação por satélite para monitorar e registar informação sobre uma viagem/deslocação. O equipamento tem um *display* no qual é continuamente monitorizada a velocidade actual, a velocidade máxima, a velocidade média, tempo de deslocação e distância percorrida relativamente ao percurso. <http://www.amaryllo.com/almooj/sports-products/amaryllo-trip-tracker-gps-sports-device-6.html>).

considerando a localização de um ou mais pontos de origem (centros de distribuição, armazéns, depósitos), de forma a visitar a globalidade dos nós, respeitando restrições duração do percurso e capacidade dos veículos. O problema de rotas de veículos clássico pode ser considerado como uma evolução que o modelo do caixeiro-viajante (*Traveling Salesman Problem* - TSP) sofreu ao longo dos anos, constituindo uma generalização deste último [Bellmore, 1968]. O problema real que se pretendeu resolver exigiu a consideração adicional do tempo de execução do serviço em cada nó, enquadrando-se, desta forma, no caso particular do problema de rotas de veículos com janelas de tempo (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*– VRPTW, na terminologia anglo-saxónica).

Os problemas de rotas de veículos são considerados problemas *NP – difícil*, tendo sido desenvolvidas ao longo do tempo várias abordagens à sua resolução, desde técnicas exactas a técnicas heurísticas e metaheurísticas [Cordeau, 2007].

O estudo destes problemas tem vindo a ser alvo de atenção crescente, à medida que a definição das rotas de veículos de forma otimizada ganha cada vez mais protagonismo devido à abertura dos mercados e aumento de competitividade associada. Desta forma, custos relacionados com deslocalização de viaturas começam a ter um peso cada vez maior na globalidade dos custos das organizações prestadoras de serviços em regime descentralizado.

O principal obstáculo associado à resolução dos problemas de rotas de veículos reside na sua elevada complexidade computacional. Para a resolução do problema em questão foi utilizado o software comercial *Viamente Route Planner*, da VIAMENTE s.r.l.<sup>2</sup> A escolha deste software orientou-se fundamentalmente por critérios de disponibilidade de licença e adequação ao problema a resolver, contemplando um conjunto de premissas de elevada importância para a sua resolução:

- ✓ planeamento e optimização de escalas de serviço;
- ✓ utilização eficiente do transporte e serviços de terreno com uma ideal alocação dos recursos;
- ✓ optimização da gestão de frotas e gestão de serviços de campo; e

---

<sup>2</sup> Fonte: <http://vrp.viamente.com/>

- ✓ minimização de custos e recursos, e maximização do seu nível de serviço.

O módulo de optimização do *VRP Planner* utiliza técnicas exactas (*branch-and-bound* e *branch-and-cut*) para construir o circuito inicial e, em seguida, utiliza técnicas heurísticas especiais de melhoria dos circuitos baseadas na troca entre os nós a visitar, tendo como objectivo a melhoria do circuito global.

O processo de obtenção da solução consistiu fundamentalmente nas seguintes tarefas:

- Carregamento de dados, efectuado em ficheiro *Excel* facultado no *site* da VIAMENTE, com dados relativos ao tempo de serviço, janela do tempo de trabalho, tempo de deslocação e distância percorrida, referentes à execução dos serviços operacionais;
- Cadastro de dados e sua importação para o *VRP Planner*, com marcação do ponto inicial e final dos percursos e todos os nós e veículos existentes;
- Resolução do problema de optimização dos percursos de acordo com as premissas assumidas;
- Exportação e interpretação de dados, com as diferentes rotas marcadas nos mapas finais a cor distinta e pormenorizadas em modelo de ortofotomapas, subdivididas por diferentes circuitos.

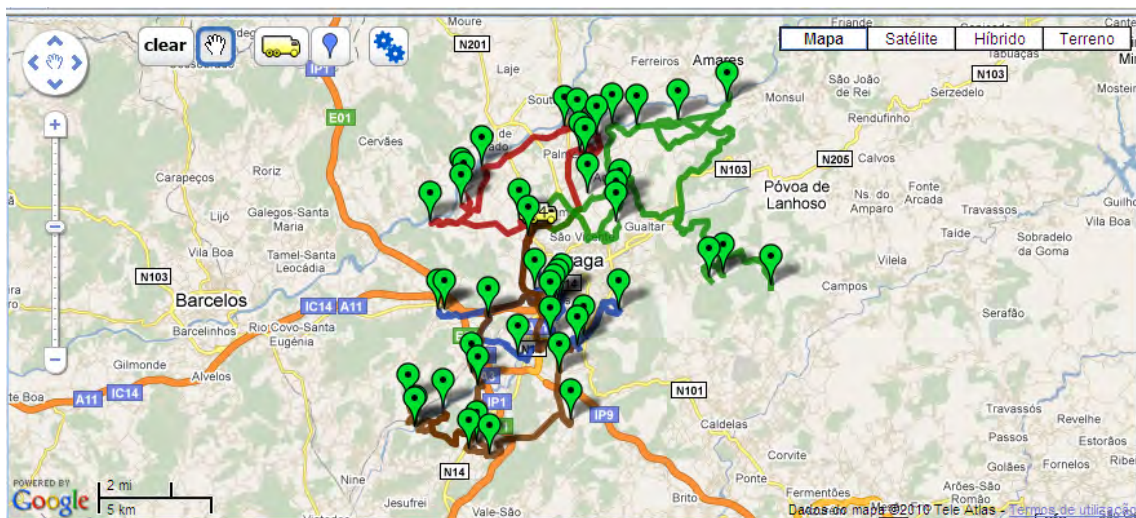
#### **4- Resultados operacionais**

O Quadro 1 apresenta os tempos e distâncias relativamente a três fases do processo de resolução do problema: situação inicial, solução computacional e implementação da solução. Esta última fase seria crucial para avaliar a solução em termos de mais-valias de planeamento e execução de operações, tendo-se decidido proceder à sua implementação prática com registo de tempos efectivos de deslocação e de serviço, e distância real percorrida entre cada instalação.

<i>Variável em Estudo</i>	<i>FASE I – Situação Inicial</i>	<i>FASE II – Resultado da Optimização</i>	<i>FASE III – Implementação da solução</i>
N.º de veículos utilizados:	4/4	4/4	4/4
N.º de nós cobertos:	47/47	47/47	47/47
Tempo total de trabalho:	33 hr 55 min	34 hr 23 min	15 hr 59 min
Tempo total de condução:	6 hr 23 min	6 hr 45 min	6 hr 23 min
Tempo total de serviço:	27 hr 32 min	27 hr 38 min	9 hr 36 min
Total de Distância Circuitos:	211 Km	191 Km	184 Km

**Quadro 1** - Resumo dos resultados em termos de tempos e distância.

Conforme pode ser observado no quadro, o *VRP Planner* foi capaz de identificar circuitos que acabaram por se tornar mais curtos em termos de distância total percorrida, conseguindo-se uma diminuição em cerca de 10%. Em alternativa ao plano empírico de 8 rotas inicialmente considerado, a nova solução define o agrupamento das 47 estações em apenas 4 rotas. A Figura 3 representa graficamente estas 4 rotas.



**Figura 3** – Representação gráfica da solução.

Note-se, no entanto, que esta redução da distância é acompanhada de um acréscimo do tempo total de condução. Os desvios de sentido inesperado no tempo total de condução, entre a Fase II (resultado da otimização) e as Fase I e III justificam-se, em parte, pelo facto da base cartográfica do *Google Maps* não se encontrar actualizada, sendo as equipas operacionais capazes de identificar trajectos alternativos, mais curtos e/ou mais rápidos. Por outro lado, o valor final do tempo de condução irá depender necessariamente da velocidade média assumida. O *VRPPlanner*, à semelhança do que

acontece no *Google Maps*, atribui velocidades médias em função do tipo de itinerário/estradas a percorrer, sendo os valores ajustados após *feed-back* dos clientes. Para o problema em questão, e dada natureza rural dos trajectos, o *VRP Planner* assumiu uma velocidade média de 30 km/h na realização dos percursos, sendo esta velocidade geralmente excedida pelas equipas operacionais.

A justificação da redução do tempo total de serviço entre a Fase II e a Fase III não se relaciona directamente com o objectivo da optimização, mas deve-se ao facto dos tempos de serviço inicialmente associados a cada tipo de instalação (dados recolhidos no campo), não estarem efectivamente a ser cumpridos. Este facto poderá ser resultado da pressão que o gestor de contrato colocou nas equipas operacionais quanto à necessidade de otimizar a prestação de serviços em termos de logística, tendo sido esta informação erradamente interpretada, o que resultou no incumprimento parcial das tarefas planeadas. Acresce a este facto a possibilidade de os mapas de operação estarem sobredimensionados em termos de tempos de execução de tarefas, devendo proceder-se à sua correcção.

## **5- Conclusões e desenvolvimentos futuros**

O trabalho desenvolvido pretendeu demonstrar as potencialidades da logística na gestão de contratos de serviços no contexto do sector de saneamento básico, permitindo apoiar o planeamento das operações com vista à racionalização dos custos directos associados, fundamentalmente, à gestão da frota de veículos e alocação de pessoal. Os resultados obtidos reflectem-se em termos de custo na gestão de recursos, gestão de operações e gestão económico-financeira do contrato.

A técnica de planeamento desenvolvida requer apenas que o prestador de serviços conheça as instalações em termos de execução de tarefas operacionais e a sua georreferenciação, permitindo apoiar decisões relativas à gestão de contrato de prestação de serviços no planeamento de operações futuras.

O estudo desenvolvido constituiu uma base para futuros trabalhos numa perspectiva de evolução para uma plataforma global que, utilizando como base um *software* de optimização de rotas, funcione como ferramenta integradora de optimização da globalidade dos serviços, considerando ambas as subáreas de actividade identificadas no

sector de exploração de sistemas de saneamento básico: serviços de operação e manutenção. A gestão informática destas actividades (por exemplo, via web/PDA), implicaria que cada viatura dispusesse de um sistema GPS com a finalidade de permitir o controlo em tempo real do dia-a-dia das equipas, através do conhecimento prévio do plano de instalações a visitar mensalmente, elaborado por georreferenciação em ortofotomapas.

A aplicação da metodologia desenvolvida não se confina ao contexto da exploração de sistemas de saneamento básico adoptado no âmbito deste trabalho, estendendo-se, de forma natural, a toda a actividade de prestação de serviços com características similares à abordada.

## 6- Referências

- Carvalho, J. M. C. d. (2004). *Logística*, Edições Sílabo, Lda. 3.<sup>a</sup> Edição, 189-221, ISBN: 972-618-279-4.
- Clark, R. J. (2008). *Service Operations Management - Improving Service Delivery*, Prentice Hall. ISBN: 978-1-4058-4732-2.
- Fitzsimmons, J. A., Fitzsimmons, M. J. (1994). *Service Management for Competitive Advantage*, MacGraw-Hill International Editions. ISBN: 0-07-021217-1.
- Vigo, D., Toth, Paolo (2002). *The Vehicle Routing Problem*, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM, Philadelphia.
- Bellmore, M., Nemhauser, G. L. (1968). *The traveling salesman problem: A survey*. Operations Research. vol. 16, pp. 538-558.
- Cordeau, J-F, Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., Vigo, D. (2007). Vehicle Routing, In Barnhart, C., Laporte, G. (Eds.), *Handbook in OR & MS*. vol.14, pp 367-428.
- Hartman, R. (2003). Contracting Water and Wastewater Utility Operations. How-to Guide No. 8, 1-18.