



Projeto de Mestrado de Decisão Económica Empresarial

Heurística *greedy* sequencial para definição de frequências e rotas: aplicação a um problema real de transporte fluvial



Ricardo José Deitado Tavares

Júri

Orientação: Prof. Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato

Presidente: Prof. Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão

Vogais: Prof. Doutora Lígia Duque Batista Amado e Prof. Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato

Janeiro de 2012

Índice

1. Motivação.....	6
2. Introdução.....	7
3. Enquadramento do problema.....	9
4. O problema de transporte público fluvial.....	13
5. Modelo de programação linear binária.....	17
6. Método de Resolução.....	19
6.1 Heurística <i>greedy</i> sequencial.....	19
6.2 Pseudo-código.....	19
7. Dados.....	21
8. Resultados.....	23
8.1 Resposta à Questão 1 - Dado o sistema atual qual a frequência ótima do serviço?	23
8.2 Resposta à Questão 2 - Qual a frequência do serviço se houver uma taxa de ocupação de pelo menos 50%?	25
9. Conclusão.....	28
9.1 Comentários à Questão 1.....	28
9.2 Comentários à Questão 2.....	28
9.3 Conclusões e pistas para continuação do trabalho.....	29
Bibliografia.....	30
Anexo 1 – Exemplos dos dados utilizados em Excel.....	32
Anexo 2 – Questão 1.....	33
Anexo 3 – Questão 2.....	35

Lista de figuras

Figura 1 – Rotas atuais da Transtejo.....	14
Figura 2 – Rede de rotas	15

Lista de tabelas

Tabela 1 – Frota da Transtejo	14
Tabela 2 – Frota a considerar na formulação do PTF	15
Tabela 3 – Início do serviço por navio Questão 1	23
Tabela 4 – Início do serviço por navio Questão 2	25
Tabela 5 – Exemplo da procura por minuto	32
Tabela 6 – Exemplo dos parâmetros para cálculo da procura da tabela 5	32
Tabela 7 – Frequências do serviço por ligação Questão 1	33
Tabela 8 – Resultados apurados por ligação - Questão 1	34
Tabela 9 – Frequências do serviço por ligação Questão 2	35
Tabela 10 – Resultados apurados por ligação - Questão 2	36

Resumo:

Os problemas de transporte e de redes são estudados há centenas de anos, tendo despertado a atenção de pesquisadores para a investigação operacional. Contudo, rapidamente se veio a perceber que os problemas de transporte facilmente assumem uma grande complexidade dada a quantidade de variáveis e hipóteses que são necessárias considerar para a sua formalização, tornando frequentemente imprescindível o recurso a heurísticas para a sua resolução.

No caso estudado neste projeto, o problema passa pela determinação das rotas e frequências de um serviço de transporte público fluvial de passageiros.

São brevemente apresentadas algumas metodologias para problemas de transporte similares, contudo os respetivos autores desenvolveram métodos de resolução que não são passíveis de aplicabilidade direta ao problema de transporte fluvial analisado.

Assim, apresenta-se uma heurística *greedy* sequencial desenvolvida no âmbito deste projeto para a determinação de rotas e frequências. A heurística é baseada num modelo simples de programação linear binária. A heurística *greedy* sequencial foi aplicada ao problema obtido a partir de dados reais de uma empresa da região de Grande Lisboa e Vale do Tejo de transporte fluvial de passageiros. Os resultados retirados da experiência computacional são comparados com os valores reais.

Palavras-chave: transporte fluvial de passageiros, planeamento tático, frequências e rotas, heurística *greedy* sequencial.

Title: “Sequential greedy heuristic for defining routes and frequencies: application to a real public ferries problem.”

Abstract:

Transport and network design problems have been studied for hundreds of years, having attracted attention to the study of operations research. However, transport problems can frequently assume a great complexity, given the amount of variables and assumptions that are necessary for their formalization, thus demanding the use of heuristics.

In the case studied in this project, the problem calls for allocating routes and calculating frequencies for a public ferry passenger service.

Some methodologies to tackle similar transportation problems are briefly presented, however the solution methods developed by the different authors are not directly adapted to the above mentioned public ferry transportation problem.

Thus, we present a new sequential greedy heuristic developed for this project to determine routes and frequencies. The heuristic is based on a simple binary linear programming model. The sequential greedy heuristic was applied to the public ferry transportation problem with

data obtained from a real company in the region of Grande Lisboa e Vale do Tejo that offers passenger transport by public ferries. The results from the computational experience are compared with the actual figures.

1. Motivação

A Transtejo é uma empresa pública que efetua o transporte fluvial de passageiros entre as margens do rio Tejo através de navios motorizados.

O serviço prestado pela Transtejo reitera elevada importância dada a evolução demográfica e económica da Grande Lisboa e Vale do Tejo que atualmente depende de infraestruturas rodoviárias, ferroviárias e fluviais, como as proporcionadas pela Transtejo, para satisfazer o fluxo diário pendular da população.

Sendo a Transtejo uma empresa pública e dada a conjuntura económica adversa do país, a tolerância perante a ineficiência que está associada à imagem das empresas de transportes públicos é, atualmente, bastante reduzida. Assim, é evidente que qualquer ganho de eficiência operacional será valorizado não só pelo utente como pelos contribuintes em geral.

A Transtejo, tal como outras empresas públicas de transporte de passageiros, foi incluída no perímetro da Administração Central. A contribuição das empresas públicas de transporte para o défice público tem sido bastante relevado. Como consequência, todas as empresas públicas de transporte estão a ser pressionadas para avaliar a viabilidade das suas ligações.

Deste modo, a motivação para estudar as frequências das travessias de algumas rotas que a Transtejo atualmente efetua, justifica-se com a vontade de estudar um problema real utilizando conhecimentos aprendidos durante o Mestrado de Decisão Económica e Empresarial para analisar as mesmas.

Além de mais, o facto de ser um utilizador assíduo há vários anos do serviço da Transtejo, fez com que a motivação para este estudo também fosse do foro pessoal.

2. Introdução

A investigação operacional estuda problemas que surgem da coordenação de atividades, e apesar de ter sido durante o período da 2ª Grande Guerra Mundial que se desenvolveu e afirmou, esta teve o seu início na revolução industrial durante o século XIX.

Como tal, há várias décadas, a investigação operacional tem sido chamada a resolver uma grande variedade de problemas de otimização na área dos transportes públicos, tendo sido cativada por este tipo de problemas devido à dimensão e complexidade que os mesmos assumem aquando dum cenário real (Barnhart e Laporte, 2007).

A complexidade que lhes é característica surge da consideração dos inúmeros grupos de intervenientes, estando muitas vezes sujeitos a preferências individuais e restrições muito limitativas. Assim, é necessário satisfazer todos os interesses conciliando os vários grupos, nunca esquecendo o custo total das operações.

O principal objetivo dos prestadores do serviço de transporte público é oferecer à população um serviço de boa qualidade que permita ao utente viajar facilmente dentro da sua zona urbana a uma tarifa adequada ao seu nível de rendimentos. Desta forma, estes têm uma missão social, que visa reduzir a poluição e o congestionamento nas estradas, bem como facilitar a mobilidade da população. Os prestadores são sujeitos ainda a restrições orçamentais que os forcem a otimizar os recursos da forma mais eficiente possível.

Deste modo, em geral pretende-se determinar a forma de oferecer um serviço de boa qualidade que satisfaça as necessidades dos utentes, tendo uma articulação adequada dos recursos humanos e mecânicos e estando sujeito a uma restrição orçamental.

Considerando todos os parâmetros e condicionalismos reais surgem problemas de planeamento de serviço de transporte público com uma dimensão exagerada quando abordados como um todo. Dada a complexidade do processo, regularmente os algoritmos exatos exigem recursos computacionais inoportáveis. Por este motivo, os problemas de planeamento são usualmente subdivididos em problemas de menor dimensão que são resolvidos sequencialmente em várias fases.

Segundo Dubois et al. (1979) o processo de planeamento subdivide-se em três grandes fases, planeamento estratégico, tático e operacional, sendo que durante as operações poderá ser considerada a existência de uma quarta fase para além das referidas, o controlo e replaneamento em tempo real.

A fase de planeamento estratégico define-se pelas decisões de longo prazo como o desenho da rede de rotas. Os problemas estratégicos visam maximizar a qualidade do serviço estabelecendo quais as rotas necessárias para satisfazer os fluxos pendulares sob restrições orçamentais.

Nos problemas de planeamento tático consideram-se as questões relacionadas com o serviço oferecido ao utente. Ou seja, quais as frequências do serviço nas rotas definidas na fase de planeamento estratégico, a sua adequabilidade face à procura e os custos da satisfação desta. Estes problemas são normalmente resolvidos numa base sazonal, com atualizações ocasionais.

Os problemas de planeamento operacional dizem respeito às operações que devem ser realizadas para oferecer o serviço proposto a um custo mínimo. Estes incluem uma ampla variedade de subproblemas, tais como escalonamento de navios, escalonamento das tripulações, ocupação de estaleiros nas horas de não funcionamento e manutenção. O resultado destes problemas é muito influenciado pelas opções tomadas na fase do planeamento tático.

Pode ser necessário resolver estes problemas em diferentes intervalos temporais, que podem ir de uma vez por mês, para o escalonamento das tripulações dos navios, a uma vez por dia, para a definição do estaleiro para atracar o navio no final do serviço.

Finalmente, os problemas de controlo em tempo real permitem gerir perturbações ao plano, sendo usadas várias estratégias por parte do coordenador de operações. Estes problemas são resolvidos em tempo real durante as operações e visam minimizar o impacto das mesmas.

Em todas as fases as restrições orçamentais são tomadas em consideração, inicialmente no planeamento estratégico num sentido lato, sendo consideradas gradualmente de forma mais estrita conforme a resolução dos problemas se encaminha para os pormenores operacionais.

No caso concreto do transporte fluvial o processo de planeamento subdivide-se em planeamento estratégico aquando da definição das ligações que satisfarão as necessidades da população numa perspetiva de longo prazo, em tático na definição da frequência do serviço, e em operacional quando são escalonados navios, tripulações, horas de manutenção, e locais de repouso noturno dos navios.

Em diante, no capítulo 3 são revistos sucintamente alguns problemas de transporte. No capítulo 4 é apresentado o problema de transporte público fluvial em estudo, seguindo-se o modelo de programação linear binária utilizado na heurística *greedy* sequencial e também o respetivo algoritmo de resolução nos capítulos 5 e 6, respetivamente. No capítulo 7 é descrito como foram obtidos e tratados os dados que, através da aplicação do referido algoritmo, produziram os resultados apresentados no capítulo 8 e que, conseqüentemente, deram origem às conclusões e comentários demonstrados no capítulo 9.

3. Enquadramento do problema

Tomando por base o capítulo 2 da obra Banhart e Laporte (2007), apresenta-se problemas desenvolvidos por autores reconhecidos na área da investigação operacional que permitem contextualizar este projeto. Tal como referido no capítulo anterior, os problemas de transporte subdividem-se em fases do processo de planeamento de modo a ser possível a sua resolução nos casos práticos. A fase de planeamento estratégico é a primeira subdivisão a ser tratada, sendo que dela deve resultar uma rede de rotas que satisfaça a procura dos utentes. Como tal, os fatores determinantes nesta fase são a procura e a capacidade de determinar quais as rotas necessárias para a satisfação da mesma.

Para a resolução de um problema que se enquadra nesta fase, de desenho de rede de rotas, é construída uma matriz de procura $O-D$ que afeta a procura de uma origem a um destino. De seguida, é definido um grafo composto por nodos e arcos. O conjunto de nodos representa os pontos de origem e destino considerados na matriz $O-D$, e o conjunto de arcos representa as ligações diretas entre as mesmas origens e destinos. As sequências de arcos que satisfaçam simultaneamente todas as restrições compõem o conjunto de rotas. Apesar de ser transversal a todos os problemas a existência de restrições relativamente à dimensão da frota e à capacidade de lugares da frota, as restrições dependem do problema em concreto. Assim, poderão existir restrições relativamente a transbordos, comprimento máximo de rota, cobertura mínima e/ou máxima da rede, regularidade de frequências, restrições orçamentais, entre outras.

A função objetivo, tal como as restrições, depende da orientação do problema, contudo normalmente é formulada como a minimização do custo do operador ou do tempo total dos passageiros na rede. Por vezes, poderão também surgir problemas multiobjectivo, com vista à determinação de uma solução que resulte do equilíbrio da eficiência financeira do operador com a utilidade do utente.

O problema de desenho da rede de rotas é NP-difícil (Magnanti e Wong, 1984), como resultado, as abordagens que têm sido desenvolvidas para o problema dependem de técnicas heurísticas. Assim, métodos heurísticos podem ser usados, por exemplo, para construir o esqueleto principal das rotas sendo estas depois expandidas para abranger todo o conjunto de nodos na rede.

Uma vez que todas as rotas são definidas entra-se na fase de planeamento tático. Segundo Lampkin e Saalmans (1967) as frequências podem ser determinadas por minimização do tempo total de viagem dos passageiros, calculado como a soma dos elementos da matriz $O-D$, representados por D_{ij} , multiplicados pelos tempos de viagem, $T_{ij}(f)$, sujeita a uma restrição sobre a dimensão da frota total, representada por B , ou seja, por resolução do problema:

minimizar

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} D_{ij} T_{ij}(f) \quad (3.1)$$

sujeito a

$$\sum_{r \in R} [RT_r f_r] \leq B \quad (3.2)$$

$$f_r \geq 0, \forall r \in R. \quad (3.3)$$

Nesta formulação, N representa o conjunto dos nodos, R o conjunto de rotas, RT_r o tempo de ida e volta na rota r , f_r a frequência na rota r e f o vector das frequências de todas as rotas. O tempo $T_{ij}(f)$ inclui o tempo médio de espera, como uma função das frequências das rotas que servem a origem i , representadas pelo vector f e qualquer transferência sobre o caminho mais curto que serve o par (i, j) . Para resolver este problema pode ser utilizado um procedimento de busca aleatória baseada no gradiente.

Hasselström (1981) abordou o problema de desenho da rede de rotas e frequências (estratégico e tático) dividindo o processo de definição de rotas em duas etapas. Contudo ressalta-se que a rede de rotas e as frequências são determinadas simultaneamente. Na primeira etapa uma proposta inicial da rede é gerada, na segunda etapa esta rede de rotas é refinada e efetua-se uma avaliação detalhada das rotas, seguindo-se a afetação de passageiros às mesmas.

O problema da definição da rede de rotas na primeira etapa, segundo Hasselström, é assim formulado:

maximizar

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} D_{ij} \quad (3.4)$$

sujeito a

$$D_{ij} = K_{ij} e^{-\beta C_{ij}(f)}, \quad \forall i, j \in N \quad (3.5)$$

$$\sum_{r \in R} C_r f_r \leq C, \quad (3.6)$$

$$\sum_{r \in R} f_r \delta_{rs} \geq \Delta_s, \quad \forall s \in S \quad (3.7)$$

$$f_r \in F, \quad \forall r \in R. \quad (3.8)$$

Neste modelo a procura direta, D_{ij} , é determinada a partir de um modelo gravitacional tradicional com o parâmetro β , onde todos os termos que não dependem da estrutura das rotas ou frequências são incluídos em K_{ij} , constante para cada origem e destino (equação (3.5)). Os restantes elementos são representados por $C_{ij}(f)$, função do vector de frequências f . O termo $C_{ij}(f)$ representa o custo geral e inclui os tempos de espera e de transferência conforme a procura que consta da matriz $O-D$. Novamente, a frequência de cada rota r é denotada por f_r , sendo R o conjunto de rotas possíveis e N o conjunto de origens e destinos. Para determinar R uma rede inicial é gerada para enumerar todas as

possíveis rotas que servem cada par de terminais. Seguidamente, um conjunto de regras heurísticas é utilizado para identificar as rotas de inferior qualidade deste conjunto. Desta forma, o objetivo do problema traduz-se na maximização do número de passageiros dados pela função de procura (expressão (3.4)).

Como restrições, Hasselström considera uma restrição orçamental que inclui um orçamento C e um custo por veículo a realizar cada rota c_r (restrição (3.6)). Além disso, existe uma frequência mínima exigida de serviço para cada zona de $s \in S$, dado por Δ_s , em que S é o conjunto das zonas (restrição (3.7)). Se uma rota r serve a zona s , isto é indicado com um parâmetro binário δ_{rs} . Finalmente, as restrições (3.8) impõem que as frequências devem pertencer a um conjunto viável F (por exemplo, conjuntos inteiros não negativos).

Deste modo, a definição da proposta inicial do conjunto das rotas e frequências obtém-se através da resolução do problema (3.4)-(3.8), com um método que usa programação matemática para maximizar o fluxo de passageiros. Nesta primeira etapa, todas as rotas comuns são utilizadas para determinar os tempos de espera e os tempos de transferência. As rotas com frequências muito baixas podem, posteriormente, vir a ser suprimidas do conjunto de soluções.

Na segunda etapa é feita uma afetação de passageiros às rotas já existentes com a heurística de Andreasson (1977). A partir desta afetação de passageiros vários refinamentos das rotas são considerados. Além disso, um novo problema é formulado para re-otimização das frequências, utilizando a dimensão da frota como restrição. Esta otimização é resolvida através de relaxação Lagrangeana.

Hasselström efetuou um estudo com 50 ligações de autocarro, 10 de rotas de elétrico e um serviço de autocarros expresso. A metodologia foi depois implementada num *software* comercial para resolver problemas reais.

Através das abordagens retratadas é possível verificar a importância da fase do planeamento estratégico na solução de todo o problema de transporte. Em toda a literatura o planeamento estratégico é a fase sobre a qual se escreve mais, sendo normalmente a determinação de frequências (planeamento tático) uma simplificação do problema formalizado para o desenho da rede de rotas.

Visto que o problema de seguida apresentado recai sobre o planeamento tático e operacional, ou seja, sobre a determinação de frequências e escalonamento de veículos, é necessário aprofundar o conceito de rota específico para o caso em estudo.

De facto, o conceito de rota no planeamento estratégico poderá ser distinto de rota no planeamento tático e operacional, pois ao nível estratégico depreende-se que uma rota seja o ponto a partir do qual se inicia o percurso para a satisfação da procura até ao ponto onde esta é efetivamente satisfeita. Desta forma, no planeamento estratégico não é

considerado qualquer trajeto que seja necessário efetuar antes ou depois da satisfação da procura.

Ao nível tático e operacional a rota é a ligação que um veículo de transporte percorre, desde a origem até ao destino, incluindo trajetos em que não é satisfeita qualquer procura, mas que são necessários para o bom funcionamento do serviço. Desta forma, conclui-se que o conceito de rota no planeamento estratégico é mais estrito.

Tomando como exemplo o transporte fluvial, as viagens que os navios têm de efetuar do cais de repouso noturno até ao cais de início de serviço, apesar de serem ligações a considerar no planeamento tático e operacional incluindo-se na rota do navio, não se consideram no planeamento estratégico.

Neste capítulo, foram utilizadas referências bibliográficas não muito recentes, contudo estas abordagens do problema de desenho de rede rotas e determinação de frequências continuam bastante atuais. O problema ainda é atualmente objeto de estudo e investigação como se pode verificar, por exemplo, no artigo recentemente publicado de Poorzahedy e Safari (2011).

4. O problema de transporte público fluvial

A Transtejo é uma empresa pública que tem como missão a prestação do serviço de transporte público fluvial de passageiros e possui veículos com padrões elevados de qualidade e segurança. O serviço da Transtejo rege-se segundo critérios de sustentabilidade económico-financeira, social e ambiental.

A combinação de todos estes requisitos faz com que o serviço ótimo varie consoante os fatores que se privilegiam mais. Assim, dado o momento de forte austeridade que se vive em Portugal, prevê-se que sejam mais privilegiados os fatores económicos do prestador de serviço do que os sociais, daí ser oportuno responder às seguintes questões:

1. Dado o sistema atual qual a frequência ótima do serviço?
2. Qual a frequência do serviço se houver uma taxa de ocupação de pelo menos 50%?

Na primeira questão o objetivo passa por fazer uma comparação face ao atual sistema implementado.

Na segunda questão pretende-se equacionar um cenário em que se privilegia as questões económicas do prestador de serviço, tentando avaliar qual o impacto de uma imposição de ocupação de 50%, face à atual frequência do serviço que, segundo o Relatório de Contas de 2009 da Transtejo (documento público disponível em www.transtejo.pt), regista uma taxa de ocupação de 30%.

Estas questões inserem-se nas fases de planeamento tático e operacional e vão ser respondidas no contexto de um problema real de transporte público fluvial que será de seguida apresentado.

A Transtejo tem atualmente implementada uma rede de rotas que privilegia o fluxo pendular das regiões urbanas circundantes, à capital. Esta rede de rotas é caracterizada por não ter terminais intermédios nas principais ligações.

Assim, assumindo que a necessidade da totalidade dos utentes é satisfeita por esta atual rede de rotas, não será necessário desenvolver a fase de planeamento estratégico, adotando-se a rede já existente.

Atualmente a Transtejo opera nas ligações apresentadas na figura 1.

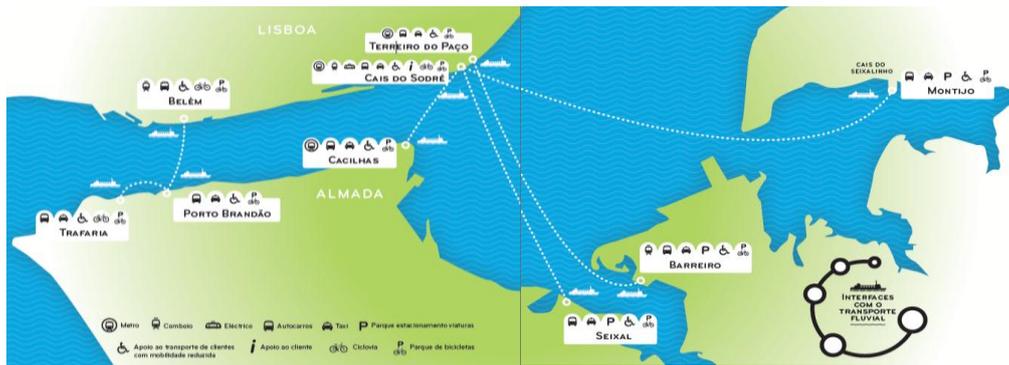


Figura 1 – Rotas atuais da Transtejo – retirado do Relatório de Contas de 2009

De modo a simplificar o estudo do problema, de todas as ligações exibidas na figura 1, apenas serão consideradas as ligações *Seixal - Cais do Sodré*, *Montijo - Cais do Sodré* e *Cacilhas - Cais do Sodré*. Optou-se por estas ligações, visto que são as ligações que têm em comum a origem e o destino Cais do Sodré.

O operador é caracterizado por ter, nestas ligações, navios com capacidades a variar entre 300 a 600 lugares sentados, sendo que, em termos de velocidade a percorrer as ligações, todos os navios demoram aproximadamente o mesmo tempo. A frota de embarcações que serve os passageiros da Transtejo encontra-se representada na tabela 1.

TIPO	TOTAL DE EMBARCAÇÕES	LOTAÇÃO DE PASSAGEIROS		LOTAÇÃO VIATURAS	MÉDIA IDADE (ANOS)
		Nº DE EMBARCAÇÕES			
CATAMARÁ	20	500 =	8	-	7,5
		291 =	2	-	
		600 =	9	-	
		146 =	1	-	
FERRIES	2	380 =	1	10	54
		351 =	1	30	
CLASSE ALEMÁ	4	280 =	2	-	51
		297 =	1	-	
CACILHEIROS	7	480	-	-	28
CONVENCIONAIS	2	1000	-	-	17

Tabela 1 – Frota da Transtejo- retirado do Relatório Contas de 2009

Nem todos os navios acima estão alocados às travessias em estudo. Desta forma, considerando a observação como utente feita aos navios da Transtejo, serão considerados para esta análise apenas os referidos na tabela 2.

Tipo	Total de Embarcações	Lotação de Passageiros	
		N.º de Embarcações	
Catamarãs	8	 = 500	6
		 = 291	2

Tabela 2 – Frota a considerar na formulação do PTF - retirado do Relatório Contas de 2009

Em resumo, existem ao todo seis terminais (Seixal, Montijo, Cacilhas, Cais Sodré 1, 2 e 3), três em cada margem do rio Tejo. O navio de transporte de passageiros proporciona a travessia de uma margem para a margem oposta do rio. Na rede da figura 2 os nodos representam as origens e destinos e os arcos representam as ligações marítimas entre os mesmos. Ressalta-se que as ligações marítimas representadas na figura 2 não constantes da figura 1 são auxiliares e pressupõem viagens em vazio.

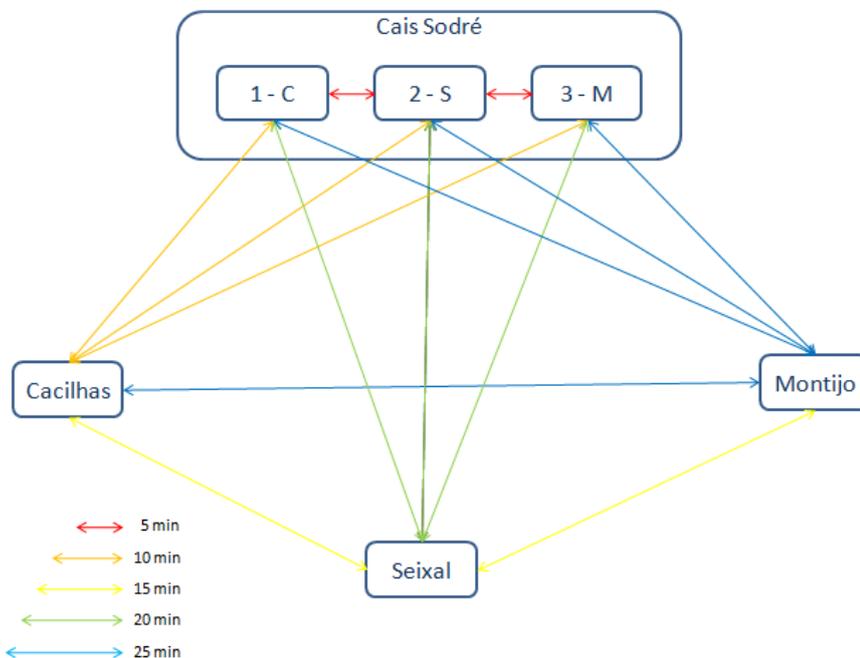


Figura 2 – Rede de rotas

Tal como foi referido, apenas será desenvolvida a fase de planeamento tático e operacional que se resume ao estudo e otimização da frequência do serviço em cada terminal de procura e a afetação de procura aos navios.

A procura de cada terminal é desconhecida, contudo, com base na observação diária dos fluxos dos terminais como utente e nos dados constantes do Relatório de Contas de 2009, é possível concluir que a procura deste meio de transporte incide substancialmente nas horas de ponta, atingindo e, por vezes, superando a capacidade de lugares sentados dos navios. No período complementar a procura cai para níveis muito reduzidos face aos verificados no período de maior intensidade de passageiros.

O fluxo matinal em direção à capital é bastante superior ao fluxo no sentido inverso no mesmo período, sendo esta tendência invertida ao final da tarde, quando a maioria dos utentes regressa dos seus empregos cumprindo, assim, o percurso pendular típico.

Dado que a Transtejo não facultou dados reais da procura para cada terminal e que a rede de rotas já se encontra definida e a ser executada diariamente, é possível através de suposições e estatísticas determinar qual a procura de cada rota, para o período em questão (ver capítulo 7).

Se considerarmos os três referidos trajetos de forma independente e formalizarmos o problema segundo os princípios de Lampkin e Saalmans (1967), conclui-se facilmente que o fator determinante será a quantidade de navios a operar em cada trajeto.

Desta forma, o valor ótimo do problema será o máximo de vezes que os navios do operador conseguirem percorrer o trajeto, dado o tamanho da frota do operador. A resolução deste problema permite minimizar o tempo de espera ou custo do utente.

Inspirado em Hasselström (1981), este problema passará pela definição de rotas para cada navio com base em rácios de eficiência que dependem da procura e da capacidade do operador, determinando simultaneamente as frequências do serviço e, assim, otimizando a rede.

Desta forma, dadas as ligações entre os terminais, o tempo necessário para percorrer cada ligação, a capacidade de cada navio e a procura de cada terminal, o problema de transporte público fluvial (PTF) estudado neste projeto consiste em definir as rotas diárias dos navios da frota afeta às ligações em causa e conseqüentemente suas frequências, maximizando a procura satisfeita face ao tempo necessário para percorrer as rotas e impondo restrições ao nível de lotação mínima do navio.

Para resolver o PTF desenvolveu-se uma heurística *greedy* sequencial com base num modelo simples de programação linear binária.

O processo de afetação de navios às ligações e de determinação de frequências desenvolve-se ao longo do período de planeamento considerado das 6h00 às 23h59. Este processo inicia-se sempre que um navio chega a um terminal (nodo) sendo calculada a procura dos vários terminais naquele momento. De seguida, é considerado o tempo total para satisfazer a procura e a taxa de ocupação do navio. Este cálculo é depois comparado para todos os navios a operar naquele momento que possam cumprir aquela rota, de modo a determinar a melhor opção entre todas.

Formula-se no próximo capítulo o modelo que permite alocar o navio ao trajeto que poderá satisfazer de forma mais eficiente, considerando a capacidade do navio e o tempo que o mesmo demorará a percorrer a rota.

5. Modelo de programação linear binária

O modelo simples de programação linear binária (MSPLB) desenvolvido para a heurística *greedy* sequencial tem como objetivo a escolha da rota ótima para um determinado navio. Esta rota pode ser um arco que satisfaça a procura de um cais ou a combinação de dois arcos em que existe uma viagem (1º arco) em vazio até um cais e de seguida ser feita uma segunda viagem que satisfaça a procura desse mesmo cais (2º arco).

A formulação deste modelo depende dos parâmetros fornecidos pela rede de rotas, em concreto os arcos R , que dependem do cais s de partida do navio u (no conjunto de arcos não se usa a designação de navio, nem noutros parâmetros para não sobrecarregar). A definição de R advém da ineficiência que seria considerar a rota que acabou de ser efetuada pelo navio sem que ele satisfizesse a procura no sentido inverso. Por exemplo, se considerarmos um navio que acabou de satisfazer a rota Cais Sodré > Seixal, este navio terá como cais de partida o Seixal, sendo que se se afetasse novamente ao mesmo navio a rota Cais Sodré > Seixal sem que este satisfizesse a rota Seixal > Cais Sodré geraria uma situação de ineficiência, pois o navio realizaria uma viagem em vazio do Seixal ao Cais Sodré para depois satisfazer a rota alocada Cais Sodré > Seixal. Assim, apesar do navio percorrer a rota Seixal > Cais Sodré, fá-lo-ia em vazio, não satisfazendo a procura do cais de partida. A forma de contornar esta situação foi a definição de diferentes redes de rotas dependendo do cais de partida do navio (s).

Assim, temos $U = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ que representa o conjunto dos índices inteiros representativos dos navios a considerar, $N = \{1,2,3,4,5,6\}$ representa o conjunto dos cais disponíveis na rede de rotas para o navio u (supondo $s \in N$) e $R = \{1,2,3,4,5,6\}$ o conjunto de arcos (as rotas).

Dada a rede de rotas, os parâmetros P_{ij} (procura do arco (i, j)), e o tempo T_{ij} (tempo para um navio fazer o percurso correspondente ao arco (i, j)) são conhecidos, bem como a capacidade de ocupação em lugares sentados do navio u dada por C_u para todos os arcos $(i, j) \in R$. O valor PT_{ij} deriva dos parâmetros conhecidos por aplicação do rácio $\frac{P_{ij}}{T_{ij}}$.

O rácio da procura pelo tempo necessário para percorrer a rota, PT_{ij} , permite conciliar a maximização da procura e a minimização do tempo necessário para a satisfação da mesma. Deste modo, seleciona-se a rota que o navio poderá percorrer e satisfazendo o maior número possível de utentes com a menor quantidade de recursos.

A rota ótima para um determinado $u \in U$ será identificada pelas variáveis x_{ij}^u , com $i = \{1,2,3,4,5,6\}$ e $j = \{1,2,3,4,5,6\}$. A variável x_{ij}^u define-se como uma variável que assume o valor de 1 caso a origem i e o destino j definam a rota a executar pelo navio u , e 0 caso contrário.

Ao nível do planeamento de rota para cada navio $u \in U$ podemos calcular o valor da função objetivo (Z_u) mais elevado dadas as restrições de lotação mínima e de rotas através da seguinte formalização:

maximizar

$$Z_u = \sum_{j \in N} PT_{sj} x_{sj}^u \quad (5.1)$$

sujeito a

$$\sum_{j \in N} x_{sj}^u = 1 \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{sj}^u P_{sj} - 0,5 * C_u \geq 0 \quad (5.3)$$

$$x_{sj}^u \in \{0,1\}, \quad \forall (s,j) \in R. \quad (5.4)$$

Neste modelo a função (5.1) representa os rácios entre a procura e o tempo para as possíveis rotas do navio u , a restrição (5.2) impõe a escolha de uma rota para o navio u , a restrição (5.3) define que seja ocupada pelo menos metade da capacidade do navio. As restrições (5.4) definem as variáveis do problema.

Este problema poderia ser resolvido por um processo de ordenação das rotas para o navio u , contudo optou-se por usar um *solver* de otimização.

6. Método de Resolução

6.1 Heurística *greedy* sequencial

De seguida propõe-se uma heurística *greedy* sequencial para resolver o PTF e dar resposta às questões propostas, com a integração do modelo simples de programação linear binária (5.1) – (5.4) de maximização definido no capítulo 5. Seguindo um processo similar ao proposto por Israeli e Ceder (1986), a heurística inicia-se quando um navio chega a um terminal ou entra ao serviço.

Começando no momento inicial do período diário de planeamento, escolhe-se um navio e inicia-se o processo que se pode resumir em quatro etapas.

Na primeira etapa para o navio \bar{u} é atribuído aleatoriamente um terminal (nodo) $\bar{s} \in N$, caso seja a primeira travessia do dia, caso contrário, considera-se o terminal em que se encontra ou em que se irá encontrar após cumprida a rota em curso. Na segunda etapa, com base no terminal \bar{s} atribuído, e ainda com a agravante temporal, caso o navio esteja a completar uma rota (j', \bar{s}) , calcula-se o tempo necessário para percorrer todas as rotas $(\bar{s}, j) \in R$. Obtidos os rácios de procura tempo de cada rota $(\bar{s}, j) \in R$ é aplicado o MSPLB, para calcular a rota ótima a ser satisfeita pelo navio \bar{u} , representada por $(\bar{s}, \bar{j}) \in R$. Na terceira etapa repete-se a primeira e segunda etapas para todos os navios $u \in U$. Na quarta etapa, se a rota (\bar{s}, \bar{j}) , ótima para o navio \bar{u} ($x_{\bar{s}\bar{j}}^{\bar{u}} = 1$), é tal que $Z_{\bar{u}} = \max_{u \in U} Z_u$, então é atribuída essa rota ao navio \bar{u} ; caso contrário, volta-se à primeira etapa, mas a rota (\bar{i}, \bar{j}) tal que $Z_{\bar{u}} = \max_{u \in U} Z_u$ é excluída de todas as redes de R onde figura e o respetivo navio \bar{u} não é mais considerado no processo relativo ao navio \bar{u} . Repetem-se os passos anteriores até ser atribuída a \bar{u} uma rota $(\bar{s}, j) \in R$. O processo descrito repete-se até ao final do período.

6.2 Pseudo-código

O pseudo-código proposto de seguida tem como objetivo auxiliar a compreensão do funcionamento da heurística. Assim, o passo 1 corresponde à inicialização da heurística, o passo 2 coincide com a primeira etapa da descrição da heurística na seção anterior, o passo 3 coincide com a segunda e terceira etapas e o passo 4 corresponde à quarta etapa.

{Para cada minuto são dados os parâmetros sendo que o período de planeamento vai das 6h00 até às 23h59}

1. Definir U

Definir $c_u, \forall u \in U$

Escolher \bar{u} e definir o conjunto R

Iniciar o relógio, no primeiro minuto, ou seja, às 6h00

2. Atribuir \bar{s} , aleatoriamente ou ler registo de \bar{u}

Determinado R , calcula os valores de $P_{\bar{s}j}, C_{\bar{s}j}$ no minuto corrente

Resolver MSPLB para \bar{u} com dados do minuto corrente

3. Resolver MSPLB para restantes u tal como no passo 2

4. Se $Z_{\bar{u}} \geq Z_u, \forall u \in U$ atribuir (\bar{s}, \bar{j}) a registo \bar{u} , ir para passo 5
Caso contrário, remover \bar{u} tal que $Z_{\bar{u}} \geq Z_u, \forall u \in U$, remover (\bar{i}, \bar{j}) de todos os R e voltar ao passo 2.
5. Voltar ao passo 2 para o minuto em que um novo navio \bar{u} chegar a um terminal.
Se 23h59 então FIM

7. Dados

Os dados necessários para a execução da heurística *greedy* sequencial proposta são a procura de cada terminal, o tamanho da frota, as capacidades dos navios da frota e o tempo de percurso de cada origem a cada destino. No anexo 1, a título de exemplo, encontra-se parte das tabelas desenvolvidas na folha de cálculo Microsoft Excel 2007 para determinação da procura.

Como já referido, por razões de privacidade dos utentes, não foram fornecidos quaisquer dados por parte da Transtejo, tendo sido utilizado o Relatório de Contas de 2009 da própria empresa para recolher e gerar os dados necessários.

No caso da procura, foi utilizado o número de passageiros transportados no ano de 2009 nas três ligações estudadas acrescido da taxa de crescimento verificada no ano de 2008 para 2009, de -1%, assumindo deste modo que a tendência verificada no ano anterior se mantém para o ano de estudo 2010.

Os valores anuais reportados no Relatório de Contas de 2009 foram considerados como tendo por base um ano de 365 dias. Foi ainda suposto que o valor total da procura semanal se repartia por 99% em dias úteis e 1% em dias de fins de semanas e feriados.

Tal como anteriormente referido, as horas de serviço diário consideradas foram entre as 6h00 e as 23h59, sendo as horas de ponta entre as 7h00 e as 9h00 da parte da manhã e entre as 17h00 e as 19h00 da parte da tarde. A procura foi considerada como sendo 50% da parte da manhã, ou seja, das 6h00 até às 12h00 e os restantes 50% da parte da tarde, das 12h01 até 23h59.

O fluxo de procura foi definido como sendo 80% na hora de ponta no sentido centro e 20% no sentido inverso da parte da manhã, sendo que durante o período da tarde, esta tendência se invertia sendo 80% da procura verificada nos terminais que servissem o sentido da periferia e 20% no sentido contrário.

Com vista a conseguir obter valores da procura ao minuto, foram gerados aleatoriamente, valores para a hora de ponta e hora normal a partir da média diária. Na hora normal assume-se que a procura segue uma distribuição uniforme, enquanto durante o horário de ponta a procura segue uma distribuição de Poisson.

Quanto ao tamanho da frota, este foi definido com base na observação feita ao serviço da Transtejo, sendo que as capacidades dos navios foram retiradas do Relatório de Contas de 2009 (ver capítulo 4). Assim, consideraram-se seis navios com capacidade para 500 lugares sentados e dois navios com capacidade para 291 lugares sentados. Apesar das capacidades diferirem, os tempos de percurso dos navios são idênticos.

Relativamente aos tempos de percurso de cada rota, estes foram determinados com base na utilização do serviço nos percursos existentes, sendo que para as restantes ligações os

tempos dos percursos foram estimados. O tamanho da frota e os valores das capacidades dos navios foram retirados do Relatório de Contas de 2009.

8. Resultados

A heurística *greedy* sequencial proposta foi programada utilizando o Microsoft Excel 2007 e o Visual Basic, recorrendo-se à aplicação da ferramenta Solver sempre que foi necessário resolver o MSPLB. Em ambas as questões colocadas no capítulo 4 o tempo computacional necessário para produzir frequências para um dia usando a heurística foi de cerca de 50 minutos num computador com um processador duo core Amd e 2GB RAM.

8.1 Resposta à Questão 1 - Dado o sistema atual qual a frequência ótima do serviço?

Para responder a esta questão foi utilizado o MSPLB definido no capítulo 5, sendo apenas consideradas as restrições (5.2) e (5.4), conjugado com a heurística *greedy* sequencial definida no capítulo 6.

Além dos dados descritos no capítulo 7, admitiu-se que o navio uma vez iniciado o serviço apenas termina no final do dia, ou seja, às 23h59. A ordem de entrada ao serviço foi a registada na tabela 3.

Navios	Capacidade de lugares sentados	Entrada ao serviço
E1	500 lug. sentados	06h45
E2	500 lug. sentados	06h45
E3	500 lug. sentados	06h25
E4	500 lug. sentados	06h25
E5	500 lug. sentados	06h20
E6	500 lug. sentados	06h25
E7	291 lug. sentados	06h25
E8	291 lug. sentados	06h25

Tabela 3 – Início do serviço por navio Questão 1

Desta forma, foram produzidos os outputs apresentados no anexo 2 os quais são de seguida analisados.

Montijo > Cais Sodré

Esta ligação atualmente é caracterizada por 24 viagens diárias, sendo a primeira às 6h00 e a última às 23h00. Com a heurística *greedy* sequencial desenvolvida esta ligação passaria a ter 40 viagens diárias, entre as 7h05 e as 23h45. A procura média desta ligação seria, segundo a mesma heurística, 56 passageiros por viagem dum total diário de 2 248 passageiros. O período de maior fluxo seria a hora de ponta matinal entre as 7h00 e as 9h00 onde se registaria o transporte de 1 428 passageiros. Contudo, a procura média deste período, que inclui 8 viagens, nunca seria superior a 179 passageiros. O tempo de espera médio seria de 26 minutos, bastante inferior aos atuais 44 minutos.

Cais Sodré > Montijo

A ligação complementar da anterior regista atualmente 23 viagens, com o início do serviço às 6h30 e término às 23h30. Aplicando a heurística *greedy* sequencial desenvolvida, esta ligação passaria a ter 36 viagens compreendidas entre as 6h50 e as 23h35. A procura média seria de 62 passageiros de um universo diário de 2 233 passageiros. O período de maior fluxo seria a hora de ponta da tarde, ou seja, entre as 17h00 e as 19h00, registando cerca de 1 359 passageiros a completar o seu percurso pendular diário. A procura durante este período, que compreende 6 viagens, seria em média 258 passageiros, mas nunca ultrapassando o valor dos 400 passageiros por viagem. Neste percurso o tempo de espera médio seria de 29 minutos, face aos atuais 46 minutos.

Seixal > Cais Sodré

Esta ligação atualmente é efetuada 32 vezes, sendo a primeira às 6h10 e a última 23h00. Executando a heurística *greedy* sequencial desenvolvida é possível verificar que esta ligação passaria a comportar 38 viagens, entre as 7h00 e as 23h45. A procura média desta ligação seria de 61 utentes de um total de 2 327 passageiros. O período de maior fluxo, o compreendido entre as 7h15 e as 9h15, registaria o transporte de 1 498 utentes, sendo caracterizado por 6 viagens, as quais obteriam uma média de 250 passageiros por viagem, sendo a ocupação máxima a registar de 332 passageiros. O tempo de espera médio atual é de 33 minutos, sendo reduzido pela heurística para 27 minutos.

Cais Sodré > Seixal

A ligação simétrica de sentido inverso à anterior é caracterizada por 32 viagens, cumpridas entre as 6h35 e as 23h30. A heurística *greedy* sequencial desenvolvida aumentaria o número de viagens registado para 43 entre as 6h30 e as 23h55. A procura média esperada da ligação seria de 55 utentes dos 2 362 passageiros transportados diariamente. O período de maior afluência seria a hora de ponta da tarde, entre as 17h05 e as 19h05, com 8 viagens que em média transportariam 188 utentes, perfazendo um número total de pessoas transportadas de 1 503, sendo que o número máximo de utentes transportados numa vez só seria de 322 passageiros. O tempo de espera médio passaria dos atuais 33 minutos para 25 minutos.

Cacilhas > Cais Sodré

Esta ligação é caracterizada por ter 87 viagens entre as 5h20 e 2h00. Através da heurística *greedy* sequencial desenvolvida passaria a assumir 195 viagens entre o período 6h25 e as 23h55. A procura média seria de 93 passageiros por viagem do total de 18 060, sendo que o período de maior fluxo, entre as 7h00 e as 9h00, registaria 24 viagens com uma ocupação média de 488 utentes, ou seja 11 732 passageiros ao total, sendo de realçar que em 6 viagens seriam transportados mais do que 500 passageiros de uma vez só. Apesar de na maioria das vezes o número de passageiros ultrapassar marginalmente os 500

passageiros, seria necessário numa viagem transportar 952 passageiros. O tempo de espera médio atual desta ligação é de 14 minutos sendo que com as frequências definidas pela heurística *greedy* sequencial passaria a ser de apenas 5 minutos.

Cais Sodré > Cacilhas

A ligação complementar à referida anteriormente tem igualmente 87 viagens diárias, mas entre as 5h40 e as 2h30. Com a heurística *greedy* sequencial apresentada passaria a condensar 192 entre as 6h25 e as 23h55, assumindo o transporte médio de 92 passageiros em cada viagem de um total de 17 714 passageiros. Visto se tratar da ligação complementar à Cacilhas > Cais Sodré verifica-se o período de maior fluxo entre as 17h00 e as 19h00, sendo que seriam transportados neste período 11 444 em 23 viagens, efetuando uma média de 498 passageiros transportados por viagem. Neste período o número de passageiros transportados numa só viagem superaria os 500 utentes em 7 vezes, 2 das quais atingindo os 879 e 920 passageiros. O tempo médio de espera atual é de 14 minutos em contraste com apenas 5 minutos de tempo de espera médio da aplicação da heurística desenvolvida.

8.2 Resposta à Questão 2 - Qual a frequência do serviço se houver uma taxa de ocupação de pelo menos 50%?

Para responder a esta questão, tal como na anterior, foi utilizado o modelo simples de programação linear binária definido no capítulo 5, sendo consideradas desta vez as restrições (5.2) à (5.4), conjugado com a heurística definida no capítulo 6.

Foi igualmente considerado que os navios, uma vez iniciado o serviço, apenas terminariam no final do dia, ou seja, às 23h59, e a ordem de entrada ao serviço foi a representada na tabela 4, respeitando a restrição da taxa mínima de ocupação de 50%.

Navios	Capacidade de lugares sentados	Entrada ao serviço
E1	500 lug. Sentados	07h00
E2	500 lug. sentados	07h00
E3	500 lug. sentados	07h00
E4	500 lug. sentados	07h00
E5	500 lug. Sentados	06h40
E6	500 lug. sentados	06h40
E7	291 lug. sentados	06h25
E8	291 lug. sentados	06h25

Tabela 4 – Início do serviço por navio Questão 2

Desta forma, foram produzidos os outputs apresentados no anexo 3, os quais se passam a analisar.

Montijo > Cais Sodré

Como já referido, esta ligação atualmente é caracterizada por 24 viagens diárias, sendo a primeira às 6h00 e a última às 23h00. Com a aplicação da heurística *greedy* sequencial desenvolvida esta ligação passaria a ter 8 viagens diárias, entre as 7h10 e as 21h25. A procura média desta ligação seria de 274 passageiros por viagem dum total diário de 2 195 passageiros. O período de maior fluxo seria a hora de ponta matinal entre as 7h10 e as 9h00 onde se registaria o transporte de 1 485 passageiros. Contudo, a procura média deste período, que inclui 4 viagens, nunca seria superior a 371 passageiros. O tempo de espera médio seria 2 horas, bastante superior aos atuais 44 minutos.

Cais Sodré > Montijo

A ligação complementar da anterior tem uma frequência de 23 viagens, com o início do serviço às 6h30 e término às 23h30. Aplicando a heurística *greedy* sequencial esta ligação passaria a ter 5 viagens compreendidas entre as 9h15 e as 18h35. A procura média seria de 414 passageiros de um universo diário de 2 068 passageiros. O período de maior fluxo seria a hora de ponta da tarde, ou seja, entre as 17h15 e as 18h35, registando cerca de 1 226 passageiros a completar o seu percurso pendular diário. A procura durante este período, que compreende 3 viagens, seria em média 408 passageiros, mas nunca ultrapassando o valor dos 559 passageiros por viagem. Neste percurso o tempo de espera médio seria de 2 horas e 20 minutos, face aos atuais 46 minutos.

Seixal > Cais Sodré

Esta ligação é efetuada 32 vezes, sendo a primeira às 6h10 e a última 23h00. Executando a heurística *greedy* sequencial proposta é possível verificar que esta ligação passaria a comportar 9 viagens, entre as 7h00 e as 23h45. A procura média desta ligação seria de 247 utentes de um total de 2 222 passageiros. O período de maior fluxo, o compreendido entre as 7h10 e as 9h50, registaria o transporte de 1 602 utentes, sendo caracterizado por 5 viagens, as quais obteriam uma média de 320 passageiros por viagem, sendo a ocupação máxima a registar de 372 passageiros. O tempo de espera médio atual é de 33 minutos, sendo incrementado para 1 hora e 31 minutos.

Cais Sodré > Seixal

A ligação simétrica de sentido inverso à anterior é caracterizada por 32 viagens, cumpridas entre as 6h35 e as 23h30. A heurística *greedy* sequencial desenvolvida diminuiria o número de viagens registado para 12 entre as 6h25 e as 19h00. A procura média esperada da ligação seria de 185 utentes dos 2 230 passageiros transportados diariamente. O período de maior afluência seria a hora de ponta da tarde, entre as 17h00 e as 19h00, com 7 viagens que em média transportariam 228 utentes, perfazendo um número total de pessoas transportadas de 1 595, sendo que o número máximo de utentes transportados numa vez só seria de 503. O tempo de espera médio passaria dos atuais 33 minutos para 1 hora e 8 minutos.

Cacilhas > Cais Sodré

Esta ligação é caracterizada por ter 87 viagens entre as 5h20 e 2h00. Através da aplicação da heurística *greedy* sequencial passaria a assumir 41 viagens entre o período 6h25 e as 22h40. A procura média seria de 435 passageiros por viagem do total de 17 834, sendo que o período de maior fluxo, entre as 6h25 e as 10h40, registaria 23 viagens com uma ocupação média de 560 utentes, ou seja 12 869 passageiros ao total, sendo de realçar que em 10 viagens seriam transportados mais do que 500 passageiros de uma vez só. Apesar de na maioria das vezes o número de passageiros ultrapassar marginalmente os 500 passageiros, seria necessário numa viagem transportar 1908 passageiros. O tempo de espera médio atual desta ligação é de 14 minutos sendo que com esta heurística passaria a ser de 24 minutos.

Cais Sodré > Cacilhas

A ligação complementar à referida anteriormente tem igualmente 87 viagens diárias, mas entre as 5h40 e as 2h30. Com aplicação da heurística *greedy* sequencial apresentada passaria a pautar 43 viagens entre as 6h40 e as 22h35, assumindo o transporte médio de 407 passageiros em cada viagem de um total de 17 480 passageiros. Visto se tratar da ligação complementar à Cacilhas > Cais Sodré verifica-se o período de maior fluxo entre as 17h05 e as 19h05, sendo que seriam transportados neste período 11 489 em 16 viagens, efetuando uma média de 718 passageiros transportados por viagem. Neste período o número de passageiros transportados numa só viagem superaria os 500 utentes em 15 vezes, uma das quais atingindo 1 368 passageiros. O tempo médio de espera atual é de 14 minutos em contraste com os 22 minutos de tempo de espera médio.

9. Conclusão

Antes de mais, é importante lembrar que os dados utilizados neste projeto foram gerados a partir dos dados anuais constantes do Relatório de Contas de 2009 da Transtejo, sendo modelizados segundo distribuições estatísticas e outras suposições de modo a obter dados aproximados daquilo que se acredita ser a realidade da procura.

9.1 Comentários à Questão 1

Em termos gerais, a partir da aplicação da heurística *greedy* sequencial sem a restrição de capacidade (5.3), conclui-se que dado o tamanho da frota é possível diminuir os tempos de espera dos utentes e, eventualmente, alargar o horário, visto que nos casos de Cacilhas > Cais Sodré e Cais Sodré > Cacilhas não foram consideradas procuras fora das horas definidas inicialmente entre as 6h00 e as 23h59 e que estas ligações normalmente operam também fora destes parâmetros. Contudo, dado que o número de viagens iria aumentar em 56% os custos associados à frequência produzida pela heurística, e considerando que o aumento da regularidade do serviço não iria produzir um aumento equivalente em termos de receitas por parte de uma maior procura, a opção de aumentar a frequência do serviço como apresentado no anexo 2 poderia resultar num agravamento da situação financeira já precária da Transtejo.

Além do referido, face ao exposto é possível deduzir que as capacidades da maioria dos navios são desproporcionais às necessidades da rede, pois a maioria dos passageiros viaja entre as horas de ponta, contudo regista-se um número significativo de viagens em horas normais, ou seja de menor fluxo e com uma ocupação bastante baixa, indiciando a necessidade de colocar em operação navios distintos para os dois períodos do dia, devendo uns ter capacidade adequada à procura em horas normais, e outros com capacidade adequada à procura nos períodos de hora de ponta. Outra solução passaria por ter navios mais adequados à procura registada nas horas normais e aumentar a frequência do serviço nas horas de ponta.

Refere-se ainda que o tempo de atividade dos navios a satisfazer procura dos terminais seria de 140 horas, das 144 horas efetivamente disponíveis pelo total dos oito navios.

9.2 Comentários à Questão 2

Considerando a heurística *greedy* sequencial com todas as restrições, de um modo geral é possível verificar que para atingir uma taxa de ocupação de pelo menos 50%, com a atual frota, teria de existir uma redução em cerca de 59% das frequências, sendo que as ligações de Montijo > Cais Sodré e Seixal > Cais Sodré seriam as mais gravemente afetadas. Esta redução seria claramente prejudicial para os utentes da Transtejo que tenham um horário fora das horas de ponta ou ligeiramente diferenciado, pois as reduções sentir-se-iam mais fora das horas de ponta. O número de passageiros

transportados diariamente sofreria uma redução de 2,21%, contudo neste cálculo assume-se que o aumento dos tempos de espera e a eliminação de horários manteria a procura invariável. O tempo de atividade dos navios a satisfazer procura dos terminais, seria apenas de 38 horas e 25 minutos, das 144 horas de serviço proporcionadas pelos 8 navios.

Numa análise à lotação dos navios, verifica-se que apenas nas horas de ponta e em algumas ligações esta ultrapassaria a capacidade dos navios, pois não foi utilizado uma restrição para o número de passageiros a transportar. Apesar de nestes casos pontuais poder existir um risco de segurança dos passageiros, os resultados não deixam de reforçar o argumento já apresentado relativamente à adequabilidade da dimensão dos navios. Acresce informar que as situações onde se verificou um maior excesso de lotação foram nos navios de maiores dimensões.

9.3 Conclusões e pistas para continuação do trabalho

Em suma, da aplicação da heurística *greedy* sequencial para o problema de transporte fluvial, conclui-se que o elemento fundamental para uma melhor otimização do serviço prestado pela Transtejo, passa por uma maior adequabilidade das capacidades dos navios às procuras dos terminais. Esta correção poderá vir através da renovação da frota, com navios de capacidades inferiores, ou então através de um incremento substancial da procura de modo a aumentar o número médio de passageiros transportados.

Contudo, a heurística *greedy* sequencial apresentada, apenas define frequências e, conseqüentemente, escalonamento de navios abordando o planeamento tático e parcialmente o planeamento operacional, sendo que para um estudo mais conclusivo deverão ser trabalhadas as restantes fases de planeamento.

Assim, a heurística apresentada pode ser melhorada através da inclusão de uma restrição de passageiros a transportar por navio e de uma metodologia integrada que considera os vários problemas das diferentes fases de planeamento de uma só vez. No entanto, para esta abordagem seria indispensável a utilização de dados reais da Transtejo.

Como complemento ao estudo do problema de transporte fluvial poderão ser desenvolvidos estudos no sentido de considerar formas alternativas, já existentes ou novas, de efetuar o transporte urbano pendular entre as duas margens do rio Tejo que integram a área da Grande Lisboa e Vale do Tejo e comparar com o serviço prestado pela Transtejo.

Bibliografia

Andreasson, I. (1977). A method for the analysis of transit networks. In: Roubens, M. (Ed.), *Advances in Operations Research*. Amsterdam: North-Holland, pp. 1–8.

Barnhart, C., Laporte, G. (Eds.) (2007) *Transportation*. Handbooks in Operations Research and Management Science, vol. 14, Amsterdam: North Holland.

Ceder, A. (1984). Bus frequency determination using passenger count data. *Transportation Research – Part A* 18 (5–6), 439–453.

Ceder, A. (1986). Methods for creating bus timetables. *Transportation Research – Part A* 21 (1), 59–83.

Ceder, A. (1989). Optimal design of transit short-turn trips. *Transportation Research Record* 1221, 8–22.

Ceder, A., Israeli, Y. (1998). User and operator perspectives in transit network design. *Transportation Research Record* 1623, 3–7.

Daduna, J.R., Wren, A. (Eds.) (1988). *Computer-Aided Transit Scheduling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 308. Heidelberg: Springer-Verlag,.

Daduna, J.R., Branco, I., Paixão, J.M.P. (Eds.) (1995). *Computer-Aided Transit Scheduling*. Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 430. Heidelberg: Springer-Verlag.

Desrochers, M., Rousseau, M. (Eds.) (1992). *Computer-Aided Transit Scheduling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 386. Heidelberg: Springer-Verlag.

Dubois, D., Bel, G., Llibre, M. (1979). A set of methods in transportation network synthesis and analysis. *Journal of the Operational Research Society* 30 (9), 797–808.

Fan, W., Machemehl, R.B. (2004). Optimal transit route network design problem: Algorithms, implementations, and numerical results. Report SWUTC/04/167244-1, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.

Gass, S. I. (2004). *An annotated timeline of operations research: an informal history*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Hasselström, D. (1981). *Public transportation planning – a mathematical programming approach*. Doctoral dissertation, University of Göteborg, Sweden.

Hickman, M., Mirchandani, P., Voss, S. (Eds.) (2008). *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Heidelberg: Springer-Verlag.

Hiller, F. S., Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research*. Ninth Edition, New York: McGraw-Hill International.

- Israeli, Y., Ceder, A. (1995). Transit route design using scheduling and multiobjective programming techniques. In: Daduna, J.R., Branco, I., Paixão, J. (Eds.), *Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 430. Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 56–75.
- Lampkin, W., Saalmans, P.D. (1967). The design of routes, service frequencies, and schedules for a municipal bus undertaking: A case study. *Operational Research Quarterly* 18 (4), 375–397.
- Magnanti, T.L., Wong, R.T. (1984). Network design and transportation planning: Models and algorithms. *Transportation Science* 18 (1), 1–55.
- Poorzahedy, H., Safari, F. (2011). An Ant System application to the Bus Network Design Problem: an algorithm and a case study. *Public Transportation* 3, 166-186.
- Silman, L.A., Barzily, Z., Passy, U. (1974). Planning the route system for urban buses. *Computers & Operations Research* 1, 210–211.
- Stern, H.I., Ceder, A. (1983). An improved lower bound to the minimum fleet size problem. *Transportation Science* 17 (4), 471–477.
- Relatório de Contas 2009, Transtejo, www.transtejo.pt.
- Rousseau, M. (Ed.) (1985). *Computer Scheduling of Public Transport 2*. Amsterdam: North-Holland.
- Wren, A. (Ed.) (1981). *Computer Scheduling of Public Transport*. Amsterdam: North-Holland.
- Wilson, N.H.M. (Ed.) (1999). *Computer-Aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 471. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Voss, S., Daduna, J.R. (Eds.) (2001). *Computer-Aided Scheduling of Public Transport. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 505.

Anexo 1 – Exemplos dos dados utilizados em Excel

Procura/Min Hora	Montijo		Seixal		Cacilhas	
	Sentido Centro	Sentido Periferia	Sentido Centro	Sentido Periferia	Sentido Centro	Sentido Periferia
06:00:00	0,60	0,87	0,80	1,25	7,10	6,56
06:01:00	0,85	0,89	0,92	1,10	8,67	6,67
06:02:00	0,99	1,15	1,16	0,99	8,63	8,64
06:03:00	0,93	0,41	0,86	1,00	6,85	6,57
06:04:00	0,73	0,55	1,09	0,97	7,85	7,56
06:05:00	0,96	0,92	1,28	1,16	9,68	6,99
06:06:00	1,25	1,19	1,01	0,76	6,79	6,25
06:07:00	1,12	1,05	0,82	1,24	6,97	7,23
06:08:00	0,85	0,86	1,19	1,19	4,76	7,57
06:09:00	1,04	1,27	0,96	0,70	7,93	7,60
06:10:00	0,60	0,78	0,68	0,77	8,70	6,15
06:11:00	1,22	1,03	0,97	0,78	9,59	6,01
06:12:00	1,08	1,00	0,74	0,99	7,52	6,08
06:13:00	0,80	0,92	0,92	0,84	8,13	8,56
06:14:00	0,68	0,74	1,10	1,18	6,68	6,58
06:15:00	1,17	0,99	1,07	1,39	8,53	8,55
06:16:00	0,92	1,04	0,56	1,05	3,08	5,35
06:17:00	0,70	0,90	0,78	1,06	5,31	9,32
06:18:00	0,81	1,01	0,92	1,36	6,20	7,45
06:19:00	1,02	1,35	0,72	0,99	6,85	6,24
06:20:00	1,02	1,17	0,94	0,93	5,24	8,73
06:21:00	0,74	0,96	1,12	1,02	8,22	7,37
06:22:00	0,73	0,80	0,75	0,81	5,56	8,35

Tabela 5 - Exemplo da procura por minuto (dados completos fornecidos através de ficheiro de Excel)

Dias no ano		365
Hora de Ponta		
Manhã	Tarde	
07:00	17:00	
09:00	19:00	
2	2	
Hora Normal		
Manhã	Tarde	
06:00	12:00	
07:00	17:00	
1	5	
09:00	19:00	
12:00	00:00	
3	5	
4	10	
Trafego		
Dias uteis	Fins de semana	
99%	1%	
Hora de ponta	Hora normal	
80%	20%	
Manhã	Tarde	
50%	50%	
Sentido Centro - Man	Sentido Periferia - Manhã	20%
80%	20%	
Sentido Centro - Tard	Sentido Periferia - Tarde	80%
20%	80%	
Sentido Centro - Man	Sentido Periferia - Manhã	50%
50%	50%	
Sentido Centro - Tard	Sentido Periferia - Tarde	50%
50%	50%	
Frota		
Navio		Capacidade
E1	500	
E2	500	
E3	500	
E4	500	
E5	500	
E6	500	
E7	291	
E8	291	

Tabela 6 - Exemplo dos parâmetros para cálculo da procura da tabela 5

Anexo 2 – Questão 1

Origem	Montijo	Cais Sodré	Seixal	Cais Sodré	Cacilhas				Cais Sodré			
	Cais Sodré	Montijo	Cais Sodré	Seixal	Cais Sodré				Cacilhas			
H o r á r i o s	07:05:00	07:30:00	07:00:00	06:30:00	06:25:00	11:00:00	15:15:00	20:00:00	06:25:00	11:45:00	16:00:00	20:50:00
	07:35:00	08:00:00	07:05:00	07:30:00	06:35:00	11:05:00	15:20:00	20:05:00	06:30:00	11:50:00	16:05:00	20:55:00
	08:10:00	09:05:00	07:15:00	07:50:00	06:45:00	11:10:00	15:25:00	20:10:00	06:35:00	11:55:00	16:10:00	21:00:00
	08:15:00	09:50:00	07:30:00	08:35:00	06:55:00	11:15:00	15:30:00	20:15:00	06:40:00	12:00:00	16:15:00	21:05:00
	08:35:00	10:35:00	07:50:00	09:10:00	07:00:00	11:20:00	15:35:00	20:20:00	06:45:00	12:05:00	16:20:00	21:10:00
	09:10:00	11:05:00	08:10:00	09:30:00	07:05:00	11:25:00	15:40:00	20:25:00	06:50:00	12:10:00	16:25:00	21:15:00
	09:35:00	11:30:00	08:40:00	09:50:00	07:15:00	11:30:00	15:45:00	20:30:00	06:55:00	12:15:00	16:30:00	21:20:00
	10:00:00	11:55:00	08:45:00	10:10:00	07:20:00	11:35:00	15:50:00	20:35:00	07:05:00	12:20:00	16:35:00	21:25:00
	10:25:00	12:20:00	08:50:00	10:20:00	07:25:00	11:40:00	15:55:00	20:40:00	07:10:00	12:25:00	16:40:00	21:30:00
	10:50:00	12:45:00	09:00:00	10:45:00	07:30:00	11:45:00	16:00:00	20:45:00	07:15:00	12:30:00	16:45:00	21:35:00
	11:15:00	13:25:00	09:20:00	11:00:00	07:35:00	11:50:00	16:05:00	20:50:00	07:25:00	12:35:00	16:50:00	21:40:00
	11:40:00	13:55:00	09:30:00	11:20:00	07:40:00	11:55:00	16:10:00	20:55:00	07:35:00	12:40:00	16:55:00	21:45:00
	12:05:00	14:00:00	09:40:00	11:40:00	07:45:00	12:00:00	16:15:00	21:00:00	07:45:00	12:45:00	17:05:00	21:50:00
	12:30:00	14:25:00	10:00:00	12:00:00	07:50:00	12:05:00	16:20:00	21:05:00	07:55:00	12:50:00	17:15:00	21:55:00
	12:55:00	14:50:00	10:20:00	12:20:00	07:55:00	12:10:00	16:25:00	21:10:00	08:05:00	12:55:00	17:25:00	22:00:00
	13:20:00	15:25:00	10:40:00	12:40:00	08:00:00	12:15:00	16:30:00	21:15:00	08:15:00	13:00:00	17:35:00	22:05:00
	13:45:00	15:55:00	11:00:00	13:00:00	08:05:00	12:20:00	16:35:00	21:20:00	08:25:00	13:05:00	17:45:00	22:10:00
	14:10:00	16:35:00	11:20:00	13:15:00	08:10:00	12:25:00	16:40:00	21:25:00	08:35:00	13:10:00	17:50:00	22:15:00
	14:35:00	16:40:00	11:40:00	13:40:00	08:15:00	12:30:00	16:45:00	21:30:00	08:45:00	13:15:00	17:55:00	22:20:00
	15:00:00	17:05:00	12:00:00	14:20:00	08:20:00	12:35:00	16:50:00	21:35:00	08:55:00	13:20:00	18:05:00	22:25:00
	15:15:00	17:30:00	12:20:00	14:40:00	08:25:00	12:40:00	17:00:00	21:40:00	09:00:00	13:25:00	18:10:00	22:30:00
	15:55:00	18:00:00	12:40:00	15:00:00	08:30:00	12:45:00	17:10:00	21:45:00	09:05:00	13:30:00	18:15:00	22:35:00
	16:10:00	18:15:00	13:00:00	15:50:00	08:35:00	12:50:00	17:20:00	21:50:00	09:15:00	13:35:00	18:25:00	22:40:00
	17:05:00	18:40:00	13:20:00	16:20:00	08:40:00	12:55:00	17:30:00	21:55:00	09:25:00	13:40:00	18:30:00	22:45:00
	17:45:00	19:05:00	13:40:00	17:05:00	08:45:00	13:00:00	17:35:00	22:00:00	09:30:00	13:45:00	18:35:00	22:50:00
	18:10:00	19:30:00	14:00:00	17:10:00	08:50:00	13:05:00	17:40:00	22:05:00	09:35:00	13:50:00	18:40:00	22:55:00
	18:35:00	19:55:00	14:20:00	17:25:00	08:55:00	13:10:00	17:50:00	22:10:00	09:40:00	13:55:00	18:45:00	23:00:00
	19:00:00	20:05:00	14:40:00	17:30:00	09:00:00	13:15:00	18:00:00	22:15:00	09:45:00	14:00:00	18:50:00	23:05:00
	19:25:00	20:35:00	15:35:00	17:50:00	09:05:00	13:20:00	18:05:00	22:20:00	09:50:00	14:05:00	18:55:00	23:10:00
	19:50:00	21:05:00	16:15:00	18:05:00	09:10:00	13:25:00	18:10:00	22:25:00	09:55:00	14:10:00	19:00:00	23:15:00
	20:15:00	21:35:00	17:30:00	18:30:00	09:15:00	13:30:00	18:15:00	22:30:00	10:00:00	14:15:00	19:05:00	23:20:00
	20:40:00	22:25:00	17:45:00	18:40:00	09:20:00	13:35:00	18:20:00	22:35:00	10:05:00	14:20:00	19:10:00	23:25:00
	21:05:00	22:50:00	18:50:00	19:00:00	09:25:00	13:40:00	18:25:00	22:40:00	10:10:00	14:25:00	19:15:00	23:30:00
	21:30:00	23:15:00	19:10:00	19:20:00	09:30:00	13:45:00	18:30:00	22:45:00	10:15:00	14:30:00	19:20:00	23:35:00
	21:55:00	23:40:00	19:30:00	19:40:00	09:35:00	13:50:00	18:35:00	22:50:00	10:20:00	14:35:00	19:25:00	23:40:00
	22:20:00		19:50:00	20:25:00	09:40:00	13:55:00	18:40:00	22:55:00	10:25:00	14:40:00	19:30:00	23:45:00
	22:45:00		20:10:00	20:50:00	09:45:00	14:00:00	18:45:00	23:00:00	10:30:00	14:45:00	19:35:00	23:50:00
	23:10:00		20:30:00	21:15:00	09:50:00	14:05:00	18:50:00	23:05:00	10:35:00	14:50:00	19:40:00	23:55:00
	23:35:00		20:50:00	21:40:00	09:55:00	14:10:00	18:55:00	23:10:00	10:40:00	14:55:00	19:45:00	
			21:10:00	22:00:00	10:00:00	14:15:00	19:00:00	23:15:00	10:45:00	15:00:00	19:50:00	
			21:30:00	22:05:00	10:05:00	14:20:00	19:05:00	23:20:00	10:50:00	15:05:00	19:55:00	
			21:50:00	22:30:00	10:10:00	14:25:00	19:10:00	23:25:00	10:55:00	15:10:00	20:00:00	
		22:10:00	22:50:00	10:15:00	14:30:00	19:15:00	23:30:00	11:00:00	15:15:00	20:05:00		
		22:30:00	23:10:00	10:20:00	14:35:00	19:20:00	23:35:00	11:05:00	15:20:00	20:10:00		
		22:50:00	23:30:00	10:25:00	14:40:00	19:25:00	23:40:00	11:10:00	15:25:00	20:15:00		
		23:10:00	23:50:00	10:30:00	14:45:00	19:30:00	23:45:00	11:15:00	15:30:00	20:20:00		
		23:30:00		10:35:00	14:50:00	19:35:00	23:50:00	11:20:00	15:35:00	20:25:00		
		23:50:00		10:40:00	14:55:00	19:40:00	23:55:00	11:25:00	15:40:00	20:30:00		
				10:45:00	15:00:00	19:45:00		11:30:00	15:45:00	20:35:00		
				10:50:00	15:05:00	19:50:00		11:35:00	15:50:00	20:40:00		
				10:55:00	15:10:00	19:55:00		11:40:00	15:55:00	20:45:00		

Tabela 7 – Frequências do serviço por ligação

Tabela 8 - Resultados apurados por ligação - Questão 1							
N.º de Viagens (actual/calculado)	24/40	23/36	32/38	32/43	87/195	87/192	
Hora início (actual/calculado)	6h00/7h05	6h30/6h50	6h10/7h00	6h35/6h30	5h20/6h25	5h40/6h25	
Hora fim (actual/calculado)	23h00/23h45	23h30/23h35	23h00/23h45	23h30/23h55	2h00/23h55	2h30/23h55	
Procura média (calculada/total procura diária)	56/2 248	62/2 233	61/2 327	55/ 2 362	93/18 060	92/17 714	
Período de maior fluxo (calculado)	7h00 às 9h00	17h00 às 19h00	7h15 às 9h15	17h05 às 19h05	7h00 às 9h00	17h00 às 19h00	
Procura média no período de maior fluxo (calculado/total procura do período)	179/1 428	258/1 359	250/1 498	188/1 503	488/11 732	498/11 444	
Tempo médio de espera (actual/calculado)	44 min/26 min	46 min/29 min	33 min/27 min	33 min/25 min	14 min/5 min	14 min/5 min	
	Montijo > Cais Sodré	Cais Sodré > Montijo	Seixal > Cais Sodré	Cais Sodré > Seixal	Cacilhas > Cais Sodré	Cais Sodré > Cacilhas	

Anexo 3 – Questão 2

Origem	Montijo	Cais Sodré	Seixal	Cais Sodré	Cacilhas	Cais Sodré	Cacilhas
Destino	Cais Sodré	Montijo	Cais Sodré	Seixal	Cais Sodré	Cacilhas	Cacilhas
H O r á r i o s	07:10:00	09:15:00	07:10:00	06:25:00	06:25:00	10:40:00	06:40:00 15:00:00
	07:35:00	12:00:00	07:40:00	08:20:00	07:00:00	11:00:00	07:10:00 15:50:00
	08:15:00	17:15:00	08:00:00	09:30:00	07:10:00	11:20:00	07:20:00 17:05:00
	09:00:00	17:50:00	08:25:00	10:30:00	07:15:00	11:40:00	07:30:00 17:10:00
	11:25:00	18:35:00	08:45:00	13:00:00	07:25:00	13:30:00	07:40:00 17:15:00
	16:55:00		09:50:00	17:00:00	07:30:00	14:30:00	08:00:00 17:25:00
	18:30:00		12:40:00	17:20:00	07:40:00	15:20:00	08:10:00 17:35:00
	21:25:00		18:10:00	17:25:00	08:00:00	16:10:00	08:20:00 17:40:00
			19:25:00	18:00:00	08:05:00	17:10:00	08:30:00 17:45:00
				18:40:00	08:10:00	17:30:00	08:40:00 17:50:00
				18:50:00	08:15:00	17:50:00	08:50:00 18:05:00
				19:00:00	08:20:00	18:15:00	09:00:00 18:10:00
					08:25:00	18:30:00	09:30:00 18:20:00
					08:30:00	18:40:00	09:50:00 18:30:00
					08:35:00	18:50:00	10:10:00 18:35:00
					08:40:00	19:05:00	10:30:00 18:45:00
					08:45:00	20:00:00	10:50:00 18:55:00
					08:50:00	20:50:00	11:25:00 19:05:00
					08:55:00	22:40:00	11:50:00 20:55:00
					09:00:00		12:30:00 21:45:00
				09:30:00		13:20:00 22:35:00	
				10:05:00		14:10:00	

Tabela 9 – Frequências do serviço por ligação

Tabela 10 - Resultados apurados por ligação - Questão 2								
N.º de Viagens (actual/calculado)	24/8	Montijo > Cais Sodré	Cais Sodré > Montijo	Seixal > Cais Sodré	Cais Sodré > Seixal	Cacilhas > Cais Sodré	Cais Sodré > Cacilhas	
Hora início (actual/calculado)	6h00/7h10		6h30/9h15	6h10/7h00	6h35/6h25	5h20/6h25	5h40/6h40	
Hora fim (actual/calculado)	23h00/21h25		23h30/18h35	23h00/23h45	23h30/19h00	2h00/22h40	2h30/22h35	
Procura média (calculada/total procura diária)	274/2.195		414/2.068	247/2.222	185/2.230	435/1.7834	407/1.7.480	
Período de maior fluxo (calculado)	7h00 às 9h00		17h15 às 18h35	7h10 às 9h50	17h00 às 19h00	6h25 às 10h40	17h05 às 19h05	
Procura média no período de maior fluxo (calculado/total procura do período)	371/1.485		408/1.226	320/1.602	228/1.595	560/1.2.869	718/1.1.489	
Tempo médio de espera (actual/calculado)	44 min/120 min		46 min/140 min	33 min/91 min	33 min/68 min	14 min/24 min	14 min/22 min	