

TRANSPORTE FLEXÍVEL – UMA SOLUÇÃO PARA A INCLUSÃO SOCIAL EM ZONAS DE BAIXA DENSIDADE POPULACIONAL

João Sequeira¹, Paulo Gomes²

¹GMV, Av. D. João II, nº 43 Torre Fernão de Magalhães, 7º 1998-025 Lisboa

email: joao.sequeira@gmv.com <http://www.gmv.com.pt>

² GMV, Av. D. João II, nº 43 Torre Fernão de Magalhães, 7º 1998-025 Lisboa

Sumário

Nas zonas de baixa densidade o transporte regular, com horários e rotas fixas é economicamente inviável e pouco atrativo, onde os operadores tradicionais não se adaptam à realidade da população. Nestas zona a oferta de transporte regular, acaba por rentabilizar utilizando percursos longos com tempos de viagem elevados, tornando uma oferta pouco atrativa e de custos elevados.

Com o objetivo de implementar novas soluções de transporte público, adaptadas às zonas de baixa densidade populacional, numa perspetiva de promover o essencial direito à mobilidade solução prende-se com a flexibilização da oferta adaptada à procura otimizando as condições de serviço.

Palavras-chave: Transporte Flexível; Transporte a Pedido; TSP; Sistemas Inteligentes de Transporte.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da OCDE, mais de metade da população mundial vive em zonas urbanas e em cidades. Em Portugal, com cerca de 70% da população nacional a viver no litoral e as zonas interiores e rurais a ficarem cada vez mais despovoadas.

O cenário não parece querer alterar-se no futuro, o que levanta desafios para a mobilidade em zonas de interior que tendencialmente irão perder cada vez mais população e interesse das empresas privadas para transporte de passageiros. Nestas zonas de baixa densidade o transporte coletivo regular, com horários e rotas fixas é economicamente inviável e pouco atrativo, onde os operadores tradicionais não se adaptam à realidade da população, fornecendo por vezes serviços demasiado caros para a autoridades locais e não adaptados às necessidades da população a que se destinam.

Nestas zonas caracterizadas por uma procura reduzida e dispersa, a oferta de transporte regular, acaba por rentabilizar utilizando percursos longos com tempos de viagem elevados, tornando uma oferta pouco atrativa e de custos elevados. Esta oferta pouco atrativa leva a que a população procure menos o transporte público contribuído para o aumento dos défices de exploração e conseqüente redução da oferta e supressão de serviços prestados.

A redução da oferta de transporte público tem com conseqüência a exclusão social da população das zonas de interior.

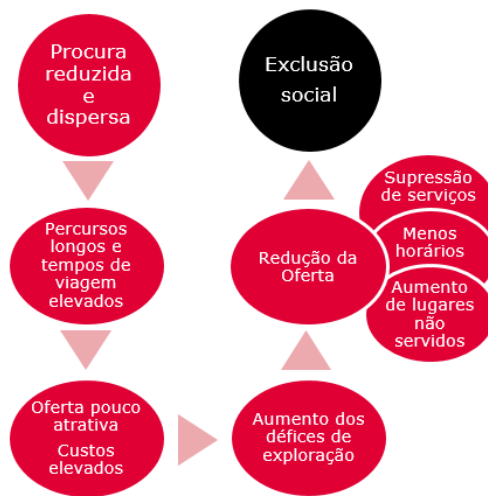


Fig.1. Problemas com o Transporte Regular

2 Transporte Flexível

Com o objetivo de implementar novas soluções de transporte público, adaptadas às zonas de baixa densidade populacional, numa perspetiva de promover o essencial direito à mobilidade, e numa lógica de inclusão social a solução prende-se com a flexibilização da oferta.

A flexibilização da oferta de transporte tem em vista a melhor adaptação à procura existente reduzindo os custos de operação otimizando as condições de serviço.

Para a definição de um sistema de transporte flexível, a pedido, o serviço é apresentado como um serviço de transporte público regular, com horários, paragens e linhas pré-definidas. Esta situação torna o sistema mais simples de compreender para uma população mais envelhecida e ajuda a reduzir custos uma vez que a oferta se encontra estandardizada. A oferta deverá ser estabelecida tendo em conta as necessidades da população considerando dias e horários de consultas médicas, dias e horários de mercado, etc.

A população deverá no entanto requisitar o serviço, sendo feita a identificação do passageiro através de uma ficha de cliente, bem como o registo da paragem de origem e destino. No final da reserva o preço a pagar será comunicado ao passageiro.

Aquando da realização do serviço as rotas tornam-se dinâmicas, ou seja estas são calculadas apenas de acordo com as reservas, número de passageiros, paragens, horários e veículos disponíveis.

VALES DE CARDIGOS						
PARAGENS	PERÍODO ESCOLAR		FÉRIAS ESCOLARES			
	Ida	Volta	Ida		Volta	
Vale de Cardigos	09:15	14:30	06:25	08:15	14:10	18:45
Camascal	09:17	14:27	06:27	08:17	14:07	18:42
Chaveira	09:20	14:25	06:30	08:20	14:05	18:40
Chaveirinha	09:20	14:24	06:30	08:20	14:04	18:39
Casais de S. Bento (P2)	09:22	14:22	06:32	08:22	14:02	18:37
Casais de S. Bento (P1)	09:23	14:21	06:33	08:23	14:01	18:36
Portela dos Colos	09:26	14:18	06:36	08:26	13:58	18:33
Casas da Ribeira	09:28	14:16	06:38	08:28	13:56	18:31
Conjeira e Carvalhal	09:31	14:13	06:41	08:31	13:53	18:28
CARDIGOS	09:32	14:12	06:42	08:32	13:52	18:27
Azinhal	09:35	14:09	06:45	08:35	13:49	18:24
Azinhal e Vinha Velha	09:39	14:05	06:49	08:39	13:45	18:20
Pracana da Ribeira	09:41	14:03	06:51	08:41	13:43	18:18
AMÊNDOA	09:48	13:57	06:58	08:48	13:37	18:12
Vale de Vecas	09:50	13:55	07:00	08:50	13:35	18:10
Cimo do Vale	09:52	13:53	07:02	08:52	13:33	18:08
Aldela de Eiras (P2)	09:57	13:48	07:07	08:57	13:28	18:03
Aldela de Eiras (P1)	09:58	13:47	07:08	08:58	13:27	18:02
Castelo (P2)	10:01	13:44	07:11	09:01	13:24	17:59
Castelo (P1)	10:05	13:42	07:15	09:03	13:22	17:57
Penelro	10:08	13:37	07:18	09:08	13:17	17:52
Vale S. Domingos	10:11	13:34	07:21	09:11	13:14	17:49
S. Miguel	10:15	13:32	07:23	09:13	13:12	17:47
MAÇÃO (P1/P2)	10:15	13:30	07:25	09:15	13:10	17:45
POSSÍVEIS UGAÇÕES:						
Mação - Abrantes		13:24	07:45		12:24	
Mação - Ortiga	10:55				13:05	

Fig.2. Exemplo de Horário de Transporte Flexível

2.1 Princípios base subjacentes ao desenho do serviço de Transporte Flexível

Como primeiro objetivo o sistema de transporte prende-se com assegurar o acesso dos lugares mais rurais às suas respetivas sedes de freguesia, no sentido de dar resposta às necessidades de deslocação para os serviços que aí se localizam e, a partir destas, para as sedes de concelho e cidade mais próxima.

No caso da implementação no Médio Tejo o objetivo foi de assegurar um mínimo de 3 circulações /dia que permitam deslocações ao início de manhã para a sede de concelho (próximo do horário de abertura dos serviços) e o regresso por volta da hora de almoço e ao final da tarde.

Ao desenhar o sistema de transporte flexível a operar no Médio Tejo, e quando pensamos num sistema de Transporte Flexível há que ter em conta os seguintes objetivos para este sistema:

- O Transporte Flexível a Pedido complementa a oferta de transportes públicos existente:
 - Evitar sobreposição de oferta
 - Favorecer o transbordo para aumentar abrangência
- O Transporte Flexível a Pedido não substitui o Táxi:
 - São disponibilizados os horários e percursos que satisfazem as necessidades de mobilidade mais frequentes/gerais da população
- Flexibilidade:
 - Grande facilidade de adequação dos serviços às reais necessidades.

3 Plataforma Tecnológica de Apoio ao Transporte Flexível

A plataforma Tecnológica de Apoio ao Transporte Flexível é composta por 3 Grandes Componentes:

- Central de Reservas
- Back-Office
- Sistema de Apoio à Exploração com interface Web

3.1 Central de Reservas

A Central de Reservas é o ponto principal de interação com o sistema sendo o componente onde se registam os pedidos de transporte. O registo da reserva pode ser efetuado por um Operador de Call Center, ou caso se deseje, poderá ser exposta na internet permitindo a que cada utilizador efetue as suas reservas utilizando um PC ou dispositivo móvel.

Aquando da reserva o utilizador deverá providenciar a seguinte informação:

- Identificação do requerente, e sua ficha de cliente
- Número de passageiros
- Data e horário
- Paragem origem e destino

Depois de registar a sua reserva o passageiro é informado da disponibilidade de lugares sendo o preço comunicado nessa altura.

O componente de reservas apresenta também as seguintes funcionalidades:

- **Inquéritos de Satisfação:** Podem ser configurados no sistema inquéritos de satisfação aleatórios apresentados no momento da reserva.
- **Inquéritos de Conhecimento:** O gestor do serviço pode programar inquéritos de conhecimento ao sistema, podendo as respostas ser guardadas no sistema para análise posterior.
- **Incidências:** Caso haja reclamações de utilizadores e/ou avarias de viaturas estas podem ser registadas no sistema para análise posterior
- **Comentários e Sugestões:** Registo de Comentários e sugestões dos utilizadores do sistema

3.2 Back Office

O Back Office do sistema de Transporte é o componente responsável pela gestão da informação necessária tanto ao sistema de reservas como ao Sistema de Apoio à Exploração, para tal a seguinte informação é configurada no sistema:

- Zonas, Paragens
- Linhas, Horários, Distâncias
- Preçários
- Custos/KM

Na aplicação de Back Office estão disponíveis várias estatísticas referentes aos dados registados no sistema. Estas podem ser apresentadas nas seguintes áreas:

- Horários:
 - Utilização de Horários (oferta de lugares)
 - Utilização de Horários (por km)
 - Utilização do Sistema (por km)
- Passageiros:
 - Evolução Temporal
 - Matriz O-D
 - Movimento de Passageiros
 - Movimento de passageiros por linha

- Paragens de Baixa Procura
- Reservas:
 - Confirmação de reservas por operador
 - Distribuição Semanal
 - Listagem de Faltas
 - Listagem de Reservas
 - Reservas Canceladas
 - Reservas Não atendidas
 - Reservas de Ultima Hora

O sistema de back end é também responsável pelo cálculo do valor a ser pago aos operadores de transporte, providenciando um relatório de Custos e Proveitos. Neste Relatório são especificados por dia os quilómetros e custos associados à operação do sistema, bem como os proveitos obtidos pelos bilhetes vendidos pelo operador fornecendo o balanço diário da operação. O cálculo do valor a pagar ao Operador de Transportes é efetuado pelo sistema mediante as reservas e o serviço efetuado utilizando:

- Custos Fixos: custos da disponibilidade e ativação dos veículos
- Custos Variáveis: “Quilómetros em Cheio” e “Quilómetros em Vazio

Para o cálculo do número de KMs que os veículos percorreram em cheio (com passageiro) e em vazio (deslocação sem levar passageiros normalmente efetuada no início e no fim do serviço) são usados os seguintes métodos:

Cálculo dos KMs em Vazio

Os quilómetros em vazio serão calculados utilizando uma matriz pré-configurada de distâncias entre paragens em que é calculada a distância para cada circuito desde a paragem definida como “paragem de arranque” até à paragem do primeiro pedido de reserva.

Cálculo dos KMs em cheio

Os quilómetros em cheio serão calculados utilizando uma matriz pré-configurada de distâncias entre paragens. A distância calculada será aquela que apresentar o custo mínimo e que seja viável do ponto de vista da operação de transporte.

Mais em detalhe, independentemente das linhas configuradas será usada a contagem de quilómetros do circuito ótimo calculado pelo sistema.

3.3 Otimização de Rotas

O sistema tecnológico de apoio ao transporte flexível irá determinar o melhor percurso a ser executado pelo operador de transportes bem como o número e tipo de viaturas que necessitam de ser afetadas ao serviço. Garantindo assim que todos os passageiros que efetuaram reservas terão lugar garantido para o transporte a hora determinada. Nesta otimização o sistema ignora as linhas definidas otimizando completamente assim o serviço, garantindo sempre que existe capacidade para transporte dos passageiros, e que o atraso máximo admitido de 10 minutos é cumprido. Caso não haja reservas para um determinado dia o serviço não se efetua.

Para a otimização de rotas o problema a resolver é uma variação do conhecido problema de computação do caixeiro-viajante (TSP do inglês Travelling Salesman Problem), neste caso o Problema dos Múltiplos Caixeiros-viajantes com Janela Temporal em que se determina a melhor rota e número de viaturas a afetar, tendo em conta: Número de veículos; Capacidade dos Veículos; Horários e atraso admissível; Distâncias entre paragens; Reservas.

Para resolver o problema é utilizado um algoritmo genético baseado nos princípios da evolução biológica com pesquisa estocástica, com múltiplos cromossomas: cada veículo é tratado como um cromossoma diferente. Cada paragem é um gene.

O algoritmo é baseado no princípio do “Survival of the fittest” - apenas as melhores soluções sobrevivem para a próxima geração.

A otimização da rota é feita em 2 passos:

1º Passo – Ao telefone com o passageiro: Verificar se nova reserva é possível com as reservas já existentes e os veículos e capacidades disponíveis (fornecendo uma resposta em ~30 segundos).

2º Passo – Em “background”: Otimizar a rota (com limite de iterações) para cada uma das zonas.

O algoritmo não garante que a solução ótima seja encontrada (não existem recursos hardware para tal...), mas garante que é encontrada uma “boa solução”.

3.4 Sistema de Apoio à Exploração

O sistema tecnológico de suporte ao transporte flexível disponibiliza também um SAE para o seguimento em tempo real da execução do serviço com as seguintes funcionalidades principais:

- Localização dos veículos por sinal GPS
- Comunicação por 2G/3G com o servidor central
- Detecção de localizações geográficas em posições pré-definidas (paragens)
- Controlo dos tempos de viagem e de paragem efetuados pelo veículo
- Acompanhamento na central dos veículos em tempo real
- Gestor do Serviço tem acesso em tempo real à execução do serviço e à informação histórica

4 Desafios no Transporte Flexível

Existem desafios tanto operacionais como tecnológicos que tiveram de ser transpostos para a implementação de um sistema de transporte flexível.

4.1 Desafios Operacionais

Como desafios Operacionais o seguinte quadro mostra as principais perguntas que devem ser respondidas aquando da implementação de um sistema semelhante:

Variável	Critérios?
Destino	<ul style="list-style-type: none"> • Centros de Saúde? • Cidades/Vilas principais?
Beneficiários	<ul style="list-style-type: none"> • Toda a população? • Idosos apenas?
Finalidade	<ul style="list-style-type: none"> • Acesso a serviços de saúde? • Acesso a zonas comerciais/ administrativas/ educativas?
Calendário	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os dias?
Serviços	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas um por dia de ida e volta?
Chegadas e Partidas (Regresso)	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenadas com horário dos centros de saúde? • Coordenadas com outros transportes públicos?
Veículos	<ul style="list-style-type: none"> • Autocarros? • Micro autocarros? • Táxis?
Paragens	<ul style="list-style-type: none"> • Centro das localidades? • Nos centros de saúde? • Nas interfaces com outros transportes?

4.2 Desafios Tecnológicos

Como desafios tecnológicos para a implementação de um sistema de transporte flexível temos 2 principais pontos: A cobertura deficiente da rede celular nas zonas a abranger; e a Otimização das rotas.

Cobertura de rede celular deficiente nas zonas a abranger:

A cobertura de rede celular, sobretudo de dados, tende a ser deficiente nas zonas abrangidas pelo serviço, como se tratam de zonas de baixa densidade populacional não existe um grande investimento por parte das operadoras de telecomunicações.

Funcionalidades como a monitorização “real time” da localização dos veículos e consulta/cancelamento de reservas, passageiros de última hora e outras que impliquem troca de informação entre o veículo e a central de reservas não podem ser garantidas.

No caso do Transporte a Pedido, e dado que a monitorização da qualidade e faturação dos serviços de transporte está diretamente ligado à execução dos mesmos, é necessário criar mecanismos adicionais nos equipamentos embarcados que garantam que seja recolhida toda a informação necessária para suportar essas funcionalidades.

Otimização de Rotas:

A Otimização de rotas num sistema de transporte flexível é uma variante do conhecido problema da computação do Caixeiro Viajante, sendo estendido para o Problema dos Múltiplos Caixeiros-viajantes com Janela Temporal (Multiple Travelling Salesman Problem with Time Window – mTSP-TW)!

Para a otimização do percurso as seguintes variáveis devem ser tidas em conta:

- Número de veículos
- Capacidade dos Veículos
- Horários e atraso admissível
- Distâncias entre paragens
- Reservas

5 Conclusão - Projeto no Médio Tejo

Um sistema de transporte flexível acarreta diversos benefícios para os diversos atores envolvidos no sistema:

- **Autoridades Públicas:**
 - Aumentar os serviços de transportes em zonas de oferta deficitária
 - Fixar população nos núcleos rurais
 - Regulação das concessões de transporte e controle do serviço de transporte
- **Operadores de Transporte:**
 - Redução dos custos de exploração
 - Redução dos quilómetros realizados (percursos otimizados em função da procura)
 - Otimização dos recursos existentes
 - Melhor oferta = Melhor Imagem = Mais Clientes
- **Utilizadores:**
 - Maior oferta de transporte
 - Serviços mais adaptados às necessidades

- Tempos de viagem inferiores (veículo só para onde há reservas)
- Maior conforto no transporte
- **Sociedade em Geral:**
 - Menos emissões = Melhor Ambiente = Melhor qualidade de vida
 - Maior Acessibilidade = Menos Problemas de exclusão = Maior Competitividade

As **ferramentas tecnológicas** permitem:

- A implementação das funcionalidades do serviço de transporte: reservas, cancelamentos, ...
- A criação de relatórios e estatísticas sobre a utilização do serviço.
- A implementação de um modelo de pagamento do serviço aos operadores de transportes onde o valor pago pela entidade pública está diretamente associado aos serviços de transporte efetuados e não à disponibilização de uma oferta.
- A monitorização da qualidade da prestação do serviço por parte do operador de transportes.
- Um canal privilegiado que aproxima os decisores da população, dada a vertente de atendimento personalizado do sistema, permitindo conhecer e logo intervir de forma mais atempada às necessidades da população.

Como projeto piloto a implementação no Médio Tejo onde 60% da população se encontra em locais com menos de 2000 habitantes, onde nas zonas mais rurais, o acesso a equipamentos e serviços por parte da população pressupõe, quase sempre, a deslocação para os centros urbanos polarizadores, tornou-se um sucesso levando á população um serviço ao qual não tinham acesso antes, e com custos inferiores para as autoridades. Providenciando elevados níveis de satisfação (maior conforto, tempos de percurso mais reduzidos que serviço regular, ...), com 72% dos clientes a utilizarem o serviço mais do que uma vez.

No caso do Médio Tejo, são realizados apenas 7% dos quilómetros que seriam necessários com um sistema de transporte regular, e com um elevado grau de satisfação da população, apontado maior conforto, tempos de percurso mais reduzidos que serviço regular.

6 Referências

1. Miguel Pombeiro, *Transporte a Pedido Medio Tejo*, Seminário da Mobilidade, Braga, 2014.
2. João Sequeira, *Transporte a Pedido – O exemplo do Medio Tejo, Transporte Flexível Solução de Mobilidade*, Sardoal, 2018.
3. TolgaBektas, *The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures*, Omega Volume 34, Issue 3, June 2006, Pages 209-219
4. M. Junger, G. Reinelt, and G. Rinaldi, *The traveling salesman problem*, Handbooks in operations research and management science, vol. 7, pp. 225–330, 1995.
5. Demand Responsive Transport - https://en.wikipedia.org/wiki/Demand_responsive_transport.