

Association for Information Systems  
**AIS Electronic Library (AISeL)**

---

CAPSI 2020 Proceedings

Portugal (CAPSI)

---

10-2020

## Conceptualization of an information system for integrated management of public transport

Tânia Fontes

*Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, tania.d.fontes@inesctec.pt*

João Sousa

*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, onun.nuno@gmail.com*

Jorge Freire de Sousa

*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jfsousa@fe.up.pt*

Follow this and additional works at: <https://aisel.aisnet.org/capsi2020>

---

### Recommended Citation

Fontes, Tânia; Sousa, João; and de Sousa, Jorge Freire, "Conceptualization of an information system for integrated management of public transport" (2020). *CAPSI 2020 Proceedings*. 40.

<https://aisel.aisnet.org/capsi2020/40>

This material is brought to you by the Portugal (CAPSI) at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in CAPSI 2020 Proceedings by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact [elibrary@aisnet.org](mailto:elibrary@aisnet.org).

# Conceptualização de um sistema de informação para gestão integrada de transportes públicos

## *Conceptualization of an information system for integrated management of public transport*

Tânia Fontes, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência,  
Portugal, tania.d.fontes@inesctec.pt

João Sousa, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, onun.nuno@gmail.com

Jorge Freire de Sousa, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal,  
jfsousa@fe.up.pt

### Resumo

Os requisitos de software são elementos-chave que contribuem para a qualidade dos sistemas e a satisfação das partes interessadas. No domínio do transporte público, muitos sistemas de informação foram desenvolvidos; no entanto, a maioria está focada no planeamento operacional do transporte público, descartando os níveis de ação tático-estratégico. Embora na gestão do nível operacional o controlo seja geralmente centrado nos operadores de transporte público, nos níveis tático e estratégico, é necessária uma interação próxima de diferentes tipos de *stakeholders*. Este trabalho teve como objetivo definir a conceptualização de um sistema configurável de apoio à decisão (SAD) para a gestão tático-estratégica dos serviços de transporte público urbanos. As diferentes necessidades e perspetivas dos diversos *stakeholders* foram tidas em conta, e usados como base de dados com elevada granularidade.

**Palavras-chave:** Sistema de Apoio à Decisão; Transportes Públicos Urbanos; Gestão tático-estratégica

### Abstract

*Software requirements are key elements that contribute to the quality of systems and stakeholders' satisfaction. In the domain of public transport, many information systems have been developed; however, the majority is focused on operational planning and public transport control, discarding the strategic-tactical levels of action. While at operational level management, the control is usually centered on public transport providers, at the strategic and tactical levels, a close interaction from distinct types of stakeholders is required. Moreover, management is distinct among cities. This work aims to define the conceptualization of a configurable decision support system (DSS) for the tactical-strategic management of public transport. The various needs and perspectives of the stakeholders are taken into account, and the data used as a basis have high granularity.*

**Keywords:** Decision Support Systems; Urban public transport; tactical-strategic management

## 1. INTRODUÇÃO

Entre 1950 e 2018, a população urbana mundial cresceu de 751 milhões para 4,2 bilhões. Atualmente, 55% da população mundial vive nas áreas urbanas e em 2050 espera-se que este número aumente

para 68% (Nações Unidas, 2018). Na Europa, cerca de 75% da população vive nos centros urbanos, mas em algumas regiões do mundo como a América Latina e a América do Norte, esse valor é de 79,8% e 81,6% respetivamente (Kotzeva et al., 2016). Como resultado, a população tem migrado para as periferias, aumentando não só a distância dos movimentos pendulares, mas também as necessidades globais de mobilidade (OECD, 2013).

Cerca de 16% dos cidadãos europeus utilizam o transporte público, sendo o transporte privado usado por 56% da população (TNS Opinion Social, 2013). Nas áreas urbanas, o uso de transportes privados são a principal causa de ocorrência de engarrafamentos, acidentes de viação, ruído e emissão de poluentes atmosféricos e gases com efeito de estufa (Sutter et al., 2008; EC, 2017). Como resultado, várias políticas têm sido definidas para minimizar os efeitos negativos causados pelo uso intensivo dos transportes (EU, 2016). Porém, segundo Mugion et al., (2018) a promoção de políticas de mobilidade mais sustentáveis deverá ser suportada pela criação de serviços de transportes públicos mais eficientes, fiáveis e acessíveis a toda a população. Além disso, a monitorização dos impactos dessas políticas deve ser efetuada de forma contínua e usando indicadores adequados (Persia et al., 2016). Espera-se que a criação de serviços de transportes mais eficientes se reflita num aumento do uso de transportes públicos, diminuição de custos operacionais e de manutenção das infraestruturas e frota, e diminuição dos impactos ambientais, nomeadamente, os consumos energéticos e níveis de poluição (EEA, 2013).

A implementação de políticas que promovam a adaptação dos sistemas de transportes públicos às rápidas mudanças dos padrões de mobilidade tem sido, porém, bastante difícil, criando grandes desafios tecnológicos e sociais. Os novos sistemas de informação para gestão do serviço de transportes públicos devem por isso ser não só capazes de monitorizar veículos e otimizar os sistemas de transportes nas suas diversas fases de gestão, mas também ter em consideração as diferentes perspetivas dos seus utilizadores (Fontes et al., 2017). No âmbito dos transportes, estes sistemas de informação denominam-se de Sistemas Inteligentes de Transportes e permitem uma gestão mais inteligente das infraestruturas e do tráfego utilizando dados obtidos em tempo real (Zannat & Choudhury, 2019). Este tipo de sistemas é considerado uma das principais ferramentas para ultrapassar os desafios inerentes ao sector dos transportes, permitindo uma melhor sintonia entre os diferentes modos de transporte e criando interfaces entre estes de forma a facilitar a integração e o uso dos mesmos (Giannopoulos, Mitsakis & Grau, 2012).

Muitos têm sido os sistemas de informação de transportes públicos desenvolvidos (ex: MIMOSA (2013); MOBILIS (2011); Dridi, Mesghouni & Borne (2005); Sun et al. (2019)). Porém, a maioria destes sistemas é focado no planeamento e controlo operacionais. Este nível de ação dá particular atenção à minimização do custo do serviço entregue, estando fundamentalmente focado na gestão dos horários dos veículos, dos condutores e manutenção das infraestruturas. É a este nível que se efetua a avaliação do desempenho do sistema de transportes públicos e a análise da qualidade do

serviço. Porém, para realizar um planeamento sustentável, é necessário definir estratégias para atrair a utilização dos transportes públicos, e melhorar o sistema em função das exigências e dos níveis de satisfação dos utilizadores e qualidade de serviço global (Ibarra-Rojas et al., 2015 Lu, Han & Zhou, 2018). Assim, o principal objetivo deste trabalho é conceptualizar o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão ao nível tático-estratégico tendo em conta uma perspetiva multicritério e as necessidades e interesses dos diferentes *stakeholders* e usando dados com elevada granularidade tipicamente usados a nível operacional.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenho de um Sistema de Apoio à Decisão para a gestão tático-estratégica de serviços de transporte público, foi desenvolvido um documento de especificação de requisitos focado nos requisitos funcionais do sistema. Este documento define o propósito e o comportamento do sistema, em particular o que será implementado e as restrições da sua operação, assegurando que as necessidades dos *stakeholders* e requisitos são cumpridos. Para isso, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Identificação dos *stakeholders* e suas necessidades: mesmo no mesmo país, as áreas urbanas podem ter diferentes *stakeholders* e níveis de organização para o planeamento e gestão dos sistemas de transportes públicos. Assim, para identificar os principais *stakeholders* deste sistema usou-se como referência uma área metropolitana europeia de média dimensão, a Área Metropolitana do Porto. A identificação dos *stakeholders* foi efetuada através da legislação em vigor;
- Identificação dos requisitos funcionais: o levantamento de requisitos, classificação e organização tendo em conta as diferentes fases do sistema de informação, priorização, negociação e minimização dos conflitos entre requisitos foi efetuada aplicando uma análise de Benchmarking. Essa análise teve por base a identificação de sistemas de gestão de transportes públicos identificados a partir de uma revisão da literatura efetuada utilizando as bases de dados do ScienceDirect;
- Especificação de requisitos: foi desenvolvido um documento que apresenta os requisitos funcionais do sistema de apoio à decisão. O documento foi desenvolvido de forma a ser capaz de comunicar de forma rigorosa e eficiente as necessidades das diferentes partes interessadas. A Tabela 1 apresenta a estrutura adotada para efetuar a especificação dos requisitos identificados;
- Validação dos requisitos: foi realizado um *workshop* de 1h30 de duração com especialistas em sistemas de transportes públicos. O *workshop* foi organizado em duas partes: uma primeira parte de cerca de 30 minutos de duração onde foi realizada uma apresentação dos requisitos especificados, e uma segunda parte, com cerca de 1 hora de duração, onde se

recolheu feedback dos especialistas na área em estudo. Nesta seção estiveram presentes especialistas de diferentes países (N=10).

A especificação de requisitos seguiu as linhas orientadoras definidas na norma ISO/IEC/IEEE 29148, em particular a necessidade dos requisitos serem claros, concisos, completos, consistentes, explícitos, necessários, singulares, rastreáveis, verificáveis e com implementação independente.

FRx	DESCRIÇÃO DO REQUISITO
Objetivo	O sistema deve ser capaz de...
Input	...
Operação	O sistema deve: a) ... b) ... c) ...
Output	...

Tabela 1 – Estrutura modelo para a descrição de um requisito.

### 3. RESULTADOS

O planeamento estratégico é a fase inicial responsável pelo planeamento e desenho da rede de transporte. Nesta fase é analisada a procura do serviço dos transportes públicos, de forma a definir a cobertura e o desenho da rede. Esta fase foca-se tanto nos utilizadores, indo ao encontro da procura e necessidades, nomeadamente na minimização do número de transferências, percursos mais diretos, e com grande acessibilidade e cobertura, assim como na melhora do meio ambiente, como a minimização das emissões de gases poluentes e os consumos energéticos, e também, o uso eficiente do solo. Na perspetiva dos operadores de serviço, este tem que ser rentável e operar sobre a legislação existente, satisfazendo as necessidades e a procura de quem os usa.

O planeamento tático é responsável pela definição da frequência dos horários e a sua otimização, de modo a minimizar os tempos de espera e de transferência, facultando horários flexíveis correspondendo à procura destes, sincronizados nas várias paragens e estações da rede, sempre tendo em conta os custos operacionais e o meio ambiente.

#### 3.1. Stakeholders do sistema

A análise da legislação em vigor em Portugal (Lei 52/2015 e Decreto-Lei 169-A de 2019) podem ser identificados três principais tipos de *stakeholders* associados à gestão de serviços públicos de transporte de passageiros: (i) as Autoridade Metropolitana, (ii) os Municípios, e (iii) Operadores de transporte público. A análise permitiu constatar que cada um destes *stakeholders* tem necessidades e interesses próprios que podem variar de acordo com as cidades, o que requer o desenho de um sistema de informação facilmente configurável. A Tabela 3 apresenta as principais responsabilidades/necessidades de cada um dos *stakeholders* do sistema.

STAKEHOLDERS	RESPONSABILIDADES
Autoridade metropolitana	Detém o controlo principal de criar e gerir uma rede intermodal de transportes públicos, por forma a garantir a coesão territorial e a integração social dos cidadãos. É também o responsável pelo cumprimento do enquadramento legal, nacional, internacional e da União Europeia, aplicável à regulação, supervisão, promoção e defesa da concorrência, visando o bem público, a defesa dos interesses dos cidadãos e dos operadores económicos. Assegura ainda os mecanismos de acompanhamento e avaliação dos níveis de serviço e de funcionamento dos mercados, das empresas nos sectores regulados e na economia em geral, bem como da supervisão do cumprimento de objetivos económico-financeiros. A autoridade metropolitana é por isso a autoridade responsável pelos transportes terrestres, ferroviários e marítimo existentes numa dada área metropolitana.
Municípios	Poder máximo municipal, responsável pelo ordenamento do território e pelo crescimento ordenado e harmonioso da cidade, que governa em função das políticas nacionais, internacionais e europeias. Os municípios são os responsáveis pela promoção e incentivo ao uso dos transportes públicos no território da sua jurisdição, através da melhoria da acessibilidade a estes.
Operadores de transporte público	Responsável pela operacionalização de um conjunto de serviços de mobilidade de transportes públicos, responsabilizando-se pela mobilidade dos passageiros entre a origem e o destino da viagem. É o principal responsável pelas operações associadas com o funcionamento dos transportes públicos e pela qualidade de serviço entregue diariamente.

Tabela 3 – Identificação das principais responsabilidades de cada um dos *stakeholders* do sistema.

### 3.2. Identificação dos requisitos do sistema

Nas últimas décadas têm sido propostos diferentes sistemas de informação para a gestão dos serviços de transportes públicos. A Tabela 2 apresenta diferentes soluções para melhorar as várias particularidades destes serviços, tendo como objetivo maximizar os níveis de qualidade do serviço entregue. A análise foi efetuada tendo em conta os oito critérios de qualidade de um serviço de transportes públicos, definidos pela norma EN 13816: disponibilidade (A), acessibilidade (B), informação (C), tempo (D), nível de atendimento (E), conforto (F), segurança (G), e impacto ambiental (G). Os sistemas foram ainda classificados quanto ao nível de ação: estratégico (E), tático (T) e/ou operacional (O).

Mais de 90% das soluções analisadas utiliza sistemas de informação como base para a gestão do serviço e dos seus dados, ajudando na tomada de decisões face ao problema apresentado. A análise indica que 80% dos sistemas analisados focam-se na avaliação nos aspetos temporais relevantes para o planeamento e execução da viagem como a duração dos tempos de espera e de viagem, enquanto que 65% dos sistemas se focam na gestão da disponibilidade, nomeadamente na localização geográfica das infraestruturas do serviço, horários, frequência e modos de transporte. Os níveis de atendimento e de conforto não são habitualmente geridos por este tipo de sistemas de informação. Os níveis de acessibilidade e disponibilidade de informação são cobertos por 30% a 35% das soluções, enquanto que a gestão da segurança e do impacto ambiental são abrangidos por apenas 12% a 15%. Quanto ao tipo de solução, a maioria dos sistemas são classificados como sistemas de

gestão de tráfego (77%), gestão da frota (54%) e gestão da rede (39%) e usam maioritariamente dados provenientes do *Automatic Vehicle Location* - AVL (54%). Embora seja difícil distinguir de forma clara os níveis de ação, verifica-se que a maioria dos sistemas analisados são de âmbito operacional (73%).

Muitos dos sistemas analisados foram desenvolvidos no âmbito de projetos Europeus (ex: MODERN (2013c); MIMOSA, 2013). A maioria destes sistemas encontra-se em forma de protótipo. Em Portugal, alguns operadores de transportes públicos utilizam o GIST, um sistema de apoio à decisão ao nível operacional que permite a gestão de horários, frota e funcionários (Dias, Ferreira & Cunha, 2001).

As soluções analisadas fazem uso de novas tecnologias de comunicação e informação, baseando-se no conceito *Internet of Things*, que se refere à interconexão de diferentes sistemas através da Internet. Através das tecnologias relacionadas com este conceito, é possível detetar a localização automática de veículos (*Automatic Vehicle Location* - AVL) e passageiros (*Automated Passenger Counter* – APC). Através da recolha de dados em tempo real é possível identificar padrões de mobilidade mais precisos, incluindo os fluxos do tráfego de veículos e de passageiros (Iliopoulou & Kepaptsoglou, 2019), o que permite reduzir a incerteza do serviço projectado, e melhorar a capacidade e rapidez da resposta face a um problema (Luo et al., 2019). Além disso, a comparação dos dados em tempo real com dados históricos, permite desenvolver sistemas de análise e previsão capazes de informar o utilizador sobre o estado geral da rede e os pontos críticos da mesma, prevendo, por exemplo, variações de fluxo (Iliopoulou & Kepaptsoglou, 2019; Makarova, Pashkevich & Shubenkova 2017).

Através da utilização de novas tecnologias é possível recolher dados de forma automatizada, que podem ajudar a melhorar o planeamento e gestão dos serviços de transportes públicos de forma eficaz e fiável. Por exemplo, através da análise de dados AVL, é possível definir procedimentos mais rigorosos de utilização e manutenção dos veículos (Ribeiro et al, 2020) ou identificar locais críticos de grande congestionamento da rede onde é possível, através de, por exemplo, um controlo da sinalética, minimizar o tempo de viagem. Por outro lado, através do uso de dados APC é possível identificar padrões e fluxos de mobilidade. Esta monitorização em tempo real permite criar serviços mais adaptados às necessidades dos clientes proporcionando assim uma melhor gestão dos recursos disponíveis (Iliopoulou & Kepaptsoglou, 2019).

Ref.	Objetivo/Problema								Tipo de sistema desenvolvido							Nível		
	A	B	C	D	E	F	G	H	GR	GT	GF	GH	AVL	BRT	APC	E	T	O
Álvarez et al. (2010)	✓	✓		✓					✓	✓	✓					✓	✓	
Ambrož et al. (2016)	✓														✓	✓	✓	
ARCHIMEDES (2013a)				✓						✓			✓	✓			✓	✓
ARCHIMEDES (2013b)	✓			✓							✓						✓	✓
ARCHIMEDES (2013c)			✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓
Bartolozzi et al., (2015)		✓														✓	✓	
Borne et al. (2003)	✓			✓					✓	✓			✓				✓	✓
Dridi et al. (2005)	✓			✓						✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Elkosantini & Darmoul (2013)			✓	✓						✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
Hasan (2010)	✓	✓		✓					✓	✓							✓	
Kabashkin (2015)	✓	✓														✓	✓	
Kepaptsoglou e Karlaftis (2009)	✓	✓									✓	✓				✓	✓	
Luo et al. (2019)	✓			✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Makarova et al. (2017)	✓	✓		✓						✓	✓	✓	✓				✓	✓
Melo, Macedo e Batista (2017)	✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓
MIMOSA, 2013				✓				✓		✓							✓	✓
Mnif et al. (2015)	✓	✓	✓	✓				✓					✓		✓		✓	✓
MOBILIS (2011)				✓	✓					✓			✓	✓			✓	✓
MODERN (2013a)			✓							✓							✓	✓
MODERN (2013b)	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
MODERN (2013c)			✓	✓						✓			✓	✓			✓	✓
OPT (2005)	✓		✓	✓					✓	✓	✓	✓						✓
Peng e Fan (2007)	✓	✓		✓						✓	✓					✓	✓	
Sun et al. (2019)	✓			✓						✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
TELLUS (2011)				✓						✓			✓				✓	✓
TRENDSETTER (2011)	✓		✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓

Objetivo/Problema: A: Disponibilidade; B: Acessibilidade; C: Informação; D: Tempo; E: Atendimento; F: Conforto; G: Segurança; H: Impacto ambiental.

Solução: GR: Gestão da rede; GT: Gestão de tráfego; GF: Gestão de frota; GH: Gestão de horários; AVL: *Automatic Vehicle Location*; BRT: *Bus Rapid Transit*; APC: *Automatic Passenger Count*.

Nível: E: Estratégico; T: Tático; O: Operacional.

Tabela 2 – Resumo de sistemas de informação propostos para gestão dos transportes públicos.

### 3.3. Especificação dos requisitos do sistema

Com base na revisão da literatura apresentada anteriormente, concluiu-se que, de modo a conceptualizar o sistema proposto de modo escalável, o sistema, em geral, deve: (a) ser facilmente configurável de modo a incluir diferentes tipos de *stakeholders*; (b) permitir a gestão colaborativa do sistema de transportes públicos de modo a promover a intermodalidade; (c) recolher dados de forma ativa ou passiva e com diferentes tipos de granularidade; (d) permitir a análise de cenários, de modo a auxiliar os *stakeholders* na tomada de decisões tático-estratégicas; e (e) permitir efetuar análises multicritério. Concluiu-se ainda que os *stakeholders*, por terem visões e critérios distintos

de análise, o sistema deveria ser flexível nomeadamente permitir a escolha do período e área de análise, bem como a granularidade dos dados a usar. Esta

O sistema foi conceptualizado com vista a auxiliar a tomada de decisões tático-estratégicas usando como base uma granularidade dos dados fina. Para isso, considerou-se que o sistema teria a capacidade de agregar e indexar os dados existentes no sistema, permitindo a sua consulta de forma expedita. Estas funcionalidades respeitam a metodologia OLAP, *Online Analytical Processing*, permitindo a capacidade de manipular e analisar um grande volume de dados. De forma a que existam dados no sistema, estes podem ser introduzidos manualmente pelos utilizadores, ou então, obtidos de forma automática pelo próprio sistema, através do uso de API's ou de técnicas de *web scrapping*. Após a obtenção dos dados, estes devem ser pré-processados pelo sistema de forma automática, garantido assim a existência de dados completos e válidos, contribuindo para o bom funcionamento das fases seguintes. Complementarmente, para visualização dos dados processados tendo em conta os vários utilizadores do sistema e as suas perspetivas é aconselhado o desenvolvimento de um *dashboard*.

Os requisitos identificados foram agrupados em cinco fases: (i) recolha de dados, (ii) pré-processamento, (iii) processamento, (iv) avaliação de cenários, e (v) visualização. Estas fases podem ser organizadas em três componentes: (i) acesso aos dados, (ii) modelo conceptual, e (iii) interface com o utilizador. A Tabela 4 lista os requisitos do sistema, identificando a fase em que se inserem, os *stakeholders* envolvidos, e o grau de prioridade de implementação dos requisitos, e a Figura 1 apresenta um diagrama exemplificando o funcionamento global do sistema.

A primeira componente é responsável por obter os dados necessários para operacionalização do sistema. O sistema permite que os dados sejam introduzidos manualmente ou automaticamente. Caso os dados não existam no sistema, este tem a capacidade de os procurar fora desse sistema (ex: informação meteorológica). Uma fase de pré-processamento é aqui incluída que corresponde à identificação de dados inválidos e o seu subsequente limpeza e tratamento. É nesta fase que se pode definir a granularidade de armazenamento dos dados, o grau de agregação de dados para uma dada análise e a sua indexação.

A segunda componente é o modelo conceptual. Nesta componente, são incluídos os requisitos funcionais do sistema relacionados com as fases de processamento e avaliação. O processamento consiste em funções genéricas que podem ser necessárias durante a avaliação de cenários. Nesta fase é incluída a identificação de rotas entre dois pontos, estimativa dos desvios do serviço prestado face ao planeado, estimativa da uma matriz origem-destino, e identificação de períodos atípicos.

ID	FASE	STAKEHOLDER	REQUISITO	PRIORIDADE
FR1	Obtenção de dados	A, M, O	Introdução manual de dados no sistema	Alta
FR2		A, O	Obtenção automatizada de dados no sistema	Alta
FR3		A, O	<i>Information retrieval</i>	Alta
FR4		A, M, O	Exportação dos dados existentes no sistema	Baixa
FR5	Pré-Processamento	A, M, O	Identificação de dados inválidos no sistema	Alta
FR6		A, O	Definição da granularidade dos dados	Alta
FR7		A	Indexação dos dados	Alta
FR8		A, O	Agregação dos dados	Alta
FR9	Processamento	A, O	Definição de rotas entre dois pontos	Alta
FR10		A, O	Identificação de desvios de funcionamento do serviço de transportes públicos entregue face ao planeado	Alta
FR11		A, O	Estimativa da matriz Origem - Destino referente à procura de transportes públicos	Alta
FR12		A, O	Identificação de períodos atípicos de procura de transportes públicos	Alta
FR13	Avaliação da procura	A, O	Avaliação de cenários de procura de transportes públicos	Alta
FR14	Avaliação das infra-estruturas	A	Avaliação de cenários de localização das infraestruturas dos transportes públicos para diferentes níveis de procura	Alta
FR15		A, M	Avaliação da cobertura geográfica de uma rede de transportes públicos para diferentes níveis de serviço e densidade populacional	Alta
FR16		A, M	Avaliação da acessibilidade de uma rede de transportes públicos para diferentes tipologias de infraestruturas e passagens	Alta
FR17		A	Avaliação da distribuição geográfica das infraestruturas de transportes públicos para diferentes níveis de procura	Alta
FR18		A, M	Avaliação da distribuição geográfica das infraestruturas de suporte aos transportes públicos para diferentes níveis de procura	Média
FR19		A, O	Avaliação da localização de interfaces intermodais de transportes públicos para diferentes níveis de procura	Média
FR20		A, O	Avaliação da localização de vias de circulação dedicadas aos diferentes modos de transporte tendo em conta diferentes tipos de procura	Média
FR21		Avaliação do serviço	A, O	Avaliação das causas dos desvios do funcionamento do serviço de transportes públicos
FR22	A, O		Previsão da duração das perturbações que causam desvios do funcionamento do serviço de transportes públicos tendo em conta diferentes tipos de eventos	Média
FR23	A, M, O		Avaliação multi-critério da qualidade de serviço dos transportes públicos através de indicadores de desempenho	Média
FR24	Visualização	A, M, O	Visualização dos dados tabulares existentes no sistema	Média
FR25		A, M, O	Visualização dos dados gráficos existentes no sistema	Média
FR26		A, M, O	Visualização de <i>dashboards</i>	Média

Tabela 4 – Lista de requisitos do sistema.

A avaliação de cenários é dividida em procura, infraestruturas e serviço. A avaliação da procura inclui a identificação das razões que levam à ocorrência de períodos atípicos, enquanto que a avaliação das infraestruturas permite a análise da localização das infraestruturas tendo em conta a população em análise e fluxos de mobilidade, avaliação da acessibilidade a pontos de interesse, e taxa de cobertura. A distribuição geográfica das infraestruturas, identificação de *clusters* de serviços com características similares é também efetuada. O sistema sugere a localização de infraestruturas de suporte como os parques de estacionamento, interfaces intermodais, e rotas dedicadas e prioritárias para a circulação de transportes públicos. Para a avaliação de longo termo da operação, o sistema identifica possíveis causas de desvios do serviço e prevê a duração média da perturbação, permitindo avaliar medidas que possam minimizar o impacto nos serviços prestados. Com vista a avaliar a qualidade do serviço prestado, indicadores de performance, tais como fiabilidade e qualidade ambiental (ex: emissões e consumo energético), são estimados tendo em conta o plano de manutenção dos veículos.

O terceiro componente é o da interação com o utilizador e inclui a visualização dos dados existentes do sistema em diferentes formatos, tabular ou gráficos. O sistema prevê ainda o desenvolvimento de um *dashboard* de modo a facilitar a comparação de cenários.

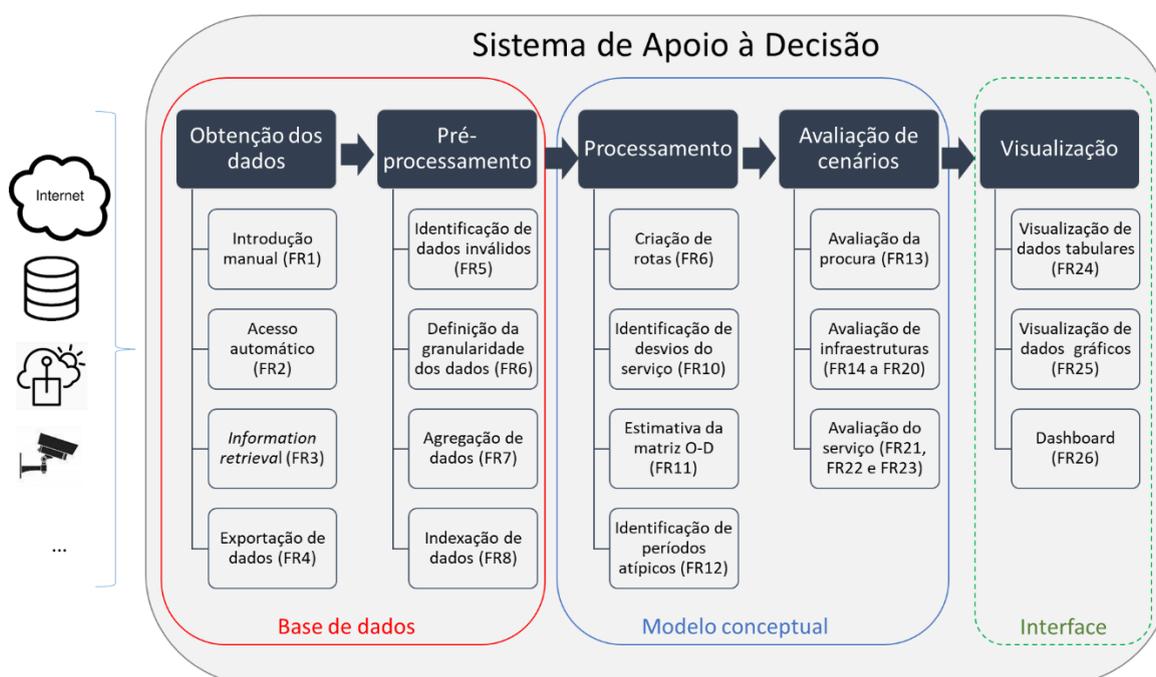


Figura 1 – Diagrama do funcionamento do sistema e respetivos requisitos.

A Tabela 5 apresenta as responsabilidades e interações de cada um dos *stakeholders* nas diferentes fases de funcionamento do sistema. A título de exemplo, a Figura 2 apresenta os casos de uso para avaliação de cenários de (a) Procura, (b) Serviço e (c) Infraestruturas.

FASES	ATORES	INTERAÇÕES
<b>Obtenção de dados</b>	Autoridade Metropolitana	Identificação de períodos e eventos atípicos (ex: eventos culturais, eventos sociais, eventos desportivos). Recolha de dados do uso do solo, de dados gerais de transporte (ex: vias de tráfego, mobilidade, procura, infraestruturas) e dados ambientais (ex: meteorológicos, qualidade do ar).
	Municípios	Recolha de dados do uso do solo, dados referentes aos passageiros (ex: dados demográficos, socioeconómicos, enquadramento populacional, atividades económicas), dados gerais de transporte (ex: vias de tráfego, parques de estacionamento, paragens e estações, pontos de carregamento elétricos) e dados ambientais: (ex: ruído).
	Operadores	Recolha de dados gerais de transporte, contratos de serviço público de transporte de passageiros em vigor, dados da rede, das infraestruturas de suporte, dos serviços de apoio ao utilizador, e dados AVL, AFC e APC
<b>Pré-processamento</b>	Autoridade Metropolitana	Limpeza dos dados dos quais é responsável e que introduz na base de dados, após o sistema emitir alertas referente aos dados inválidos
	Municípios	
	Operadores	
<b>Processamento</b>	Autoridade Metropolitana	Definição e validação dos modelos e algoritmos responsáveis pelo processamento dos dados, e respetivos resultados
	Municípios	
	Operadores	
<b>Avaliação</b>	Autoridade Metropolitana	Avaliação do desempenho dos transportes públicos em toda a rede Autoridade. Requisitar novos dados sobre a situação, por forma a suportar a decisão a tomar. Definir ações de melhoria contínua dos serviços de mobilidade em transportes públicos.
	Municípios	Avaliação do desempenho dos transportes públicos na sua área de jurisdição Municípios - Manter contacto com a autoridade metropolitana e operadores de transportes públicos para fundamentação de opinião, dados e informação sobre a tomada de decisão.
	Operadores	Avaliação do desempenho dos transportes públicos em toda a rede - Manter contacto com a autoridade metropolitana para fundamentação de opinião, dados e informação sobre a tomada de decisão.
<b>Visualização</b>	Autoridade Metropolitana	Visualização dos dados espaciais e temporais processados pelo sistema, através de um <i>dashboard</i> .
	Municípios	
	Operadores	
<b>Tomada de decisão</b>	Autoridade Metropolitana	Estabelecimento de recomendações a fazer aos operadores de transportes públicos. Tomada de decisões sobre soluções estratégicas e táticas no planeamento da rede abrangida pelos transportes públicos.
	Municípios	Estabelecimento de recomendações a fazer, aos operadores de transportes públicos. Tomada de decisões sobre soluções para situações anómalas ou novas, na sua área de jurisdição.
	Operadores	Executar ações de melhoria dos serviços de mobilidade e dos transportes públicos. Tomada de decisões sobre soluções operacionais na existência de situações anómalas ou nova.

Tabela 5 – Principais interações dos *stakeholders* em cada fase do sistema.

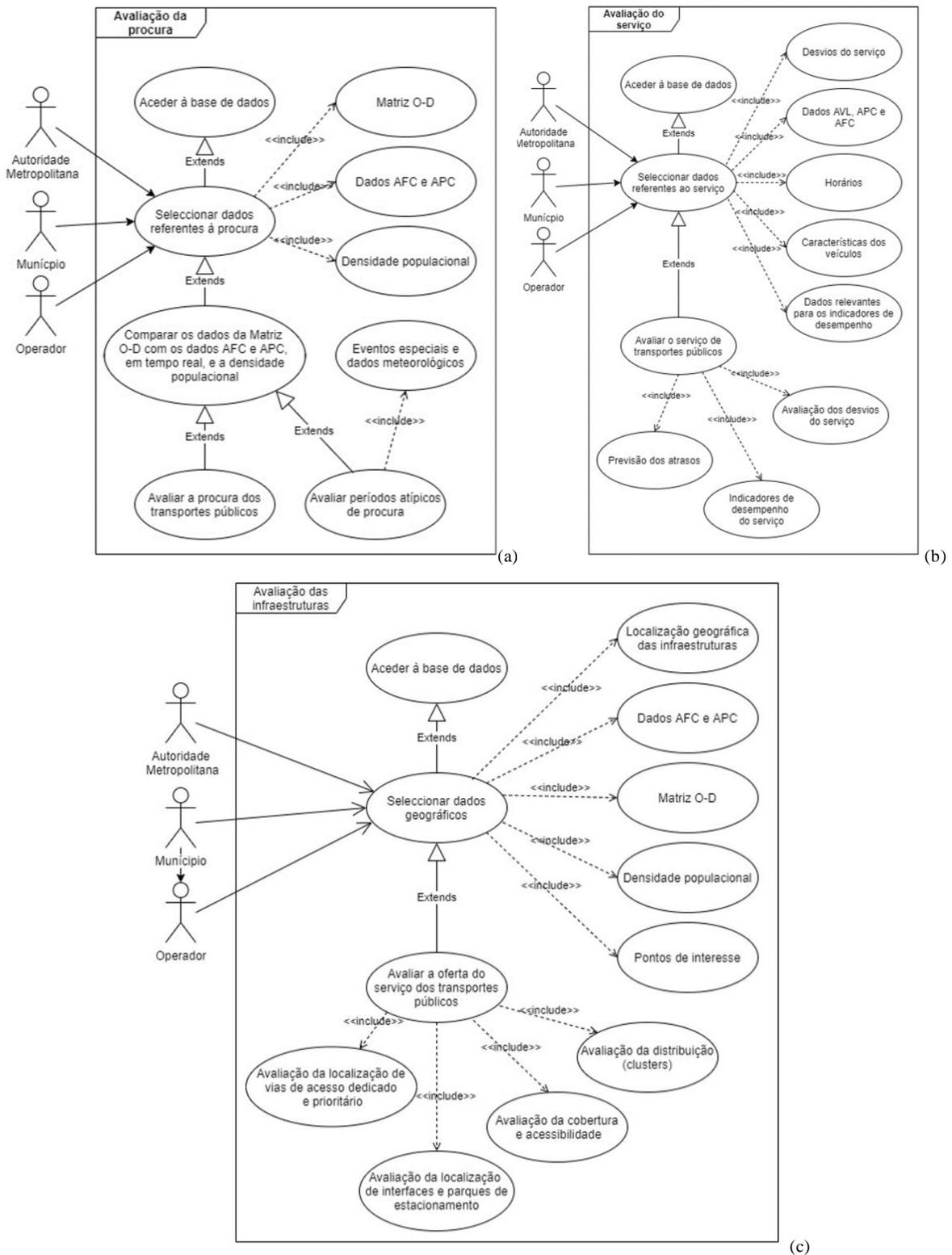


Figura 2 – Casos de uso para avaliação de cenários de: (a) Procura, (b) Serviço e (c) Infraestruturas.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado enquadra-se na fase de conceptualização de um sistema de apoio à decisão para gestão de transportes públicos urbanos intermodais, tendo em conta uma perspectiva multicritério e os níveis de decisão tático-estratégico. O trabalho focou-se no desenvolvimento de um documento de especificação de requisitos tendo por base a utilização de dados com elevada granularidade.

A análise de sistemas de apoio à decisão similares permitiu obter uma boa fonte de conhecimento para o desenvolvimento do documento de especificação dos requisitos em questão. Complementarmente, através da legislação em vigor foram identificados os principais utilizadores do sistema responsáveis pela tomada de decisões da gestão dos serviços de transportes públicos, designadamente: (i) Autoridade Metropolitana, (ii) Municípios, e (iii) Operadores de transporte.

Apesar de todos os critérios especificados pela norma EN 13816 serem importantes para a qualidade de serviço, nem todos correspondem aos mesmos níveis de decisões, havendo uma necessidade de identificar quais são os que correspondem aos níveis de decisão tático-estratégico. Assim, foram considerados como os mais relevantes para a definição dos requisitos funcionais do sistema, os seguintes critérios: disponibilidade, acessibilidade, tempo, segurança e impacto ambiental. Esta decisão vai ao encontro do estudo de sistemas semelhantes realizados e os critérios abordados nesses estudos.

Do estudo dos objetivos propostos para o sistema em questão e de sistemas de apoio à decisão semelhantes, foram identificadas as necessidades dos *stakeholders* para posterior transformação em requisitos funcionais do sistema. No final, foi obtido um documento de especificação dos requisitos do sistema em função das especificações da norma ISO/IEC/IEEE 29148. A validação do trabalho realizado foi efetuada através da consulta de especialistas na área dos transportes provenientes de diferentes nacionalidades.

O estudo dos requisitos a especificar, teve um maior foco nos requisitos funcionais relacionados com as fases de processamento e avaliação do serviço de transportes públicos, pois este é o aspeto que mais se relaciona com o apoio na tomada de decisão no planeamento e gestão do serviço de transportes públicos. Estes requisitos apresentam uma maior especificidade da forma como o sistema deve funcionar e quais os dados necessários para o funcionamento do mesmo.

Concluiu-se ainda que o uso de novas tecnologias e da tipologia de dados que surgem com o desenvolvimento associado a estas, como por exemplo o uso de dados AVL, AFC e APC, permitem efetuar análises complexas de forma expedita. Por exemplo, através deste tipo de dados é possível estimar matrizes O-D da procura de transportes, identificar transbordos, padrões de fluxo de mobilidade entre os vários pontos da rede, ou períodos atípicos de procura de forma rigorosa. Assim,

é necessário a criação e manutenção de uma estrutura que captura e suporte este tipo de dados, permitindo o bom funcionamento do sistema projetado.

## 5. AGRADECIMENTOS

O trabalho foi financiado pelo FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do Programa Operacional de Competitividade e Internacionalização – Programa COMPETE 2020 e por fundos nacionais através da agência de financiamento portuguesa, FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do projeto PTDC/ECI-TRA/32053/2017 - POCI-01-0145-FEDER-032053. Tânia Fontes também agradece à FCT pela sua bolsa de pós-doutoramento SFRH/BPD/109426/2015.

## REFERÊNCIAS

- Álvarez, A., Casado, S., González Velarde, J.L., & Pacheco, J. (2010). A computational tool for optimizing the urban public transport: A real application. *Journal of Computer and Systems Sciences International* (49:2), pp. 244–252.
- Ambrož, M., Korinšek, J., Blaž, J., & Prebil, I. (2016). Integral Management of Public Transport. *Transportation Research Procedia* (14), pp. 382–391.
- ARCHIMEDES (2013a). Public Transport Priority System. <https://civitas.eu/measure/public-transport-priority-system> (22 de outubro de 2019).
- ARCHIMEDES (2013b). New fleet management system. <https://civitas.eu/measure/new-fleet-management-system>, 2013 (22 de outubro de 2019).
- ARCHIMEDES (2013c). Bus management system. <https://civitas.eu/measure/bus-management-system> (22 de outubro de 2019).
- Bartolozzi, M., Bellini, P., Nesi, P., Pantaleo, G., Santi, L., (2015). A Smart Decision Support System for Smart City. *IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity)*, Chengdu, 2015, pp. 117-122.
- Borne, P., Fayech, B., Hammadi, S., & Maouche, S. (2003). Decision support system for urban transportation networks. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews* (33:1), pp. 67–77.
- Dridi, M., Mesghouni, K., & Borne, P. (2005) Traffic control in transportation systems. *Journal of Manufacturing Technology Management* (16:1), pp. 53–74.
- EC (2017). European Urban Mobility - Policy Context. 2017. <https://civitas.eu/document/european-urban-mobility-policy-context>, European Commission.
- EEA (2013). A closer look at urban transport - TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. *European Environment Agency*.
- Elkosantini, S., Darmoul, S. (2013). Intelligent public transportation systems: A review of architectures and enabling technologies. *International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2013*, (June 2014), pp. 233–238.
- EN 13816:2002 Transportation - Logistics and services - Public passenger transport - Service quality definition, targeting and measurement. 2002, Standardization European Committee.
- EU, (2011) White Paper on Transport: Roadmap to a single european transport area — towards a competitive and resource - efficient transport system. European Union, Belgium.
- Fontes, T., Correia, J., Pinho de Sousa, J., Freire de Sousa, J., Galvão, T. (2017). A multi-user integrated platform for supporting the design and management of urban mobility systems. *Transportation Research Procedia* (27) pp. 35-42.
- Giannopoulos, G.A., Mitsakis, E. & Grau, J.M.S (2012). Overview of Intelligent Transport Systems (ITS) developments in and across transport modes, European Commission, Italy, JRC Scientific and Policy Reports (doi:10.2788/12881).

- Hasan, M., (2010) A framework for intelligent decision support system for traffic congestion management system. *Engineering, Scientific Research, USA* (2), pp. 270–289.
- Ibarra-Rojas, O.J., Delgado, F., Giesen, R. & Muñoz, J. C., (2016). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological* (77) 38–75.
- Iliopoulou, C. & Kepaptsoglou, K., (2019). Combining ITS and optimization in public transportation planning: state of the art and future research paths. *European Transport Research Review* 11, pp. 27.
- ISO/IEC/IEEE 29148:2011(E) - Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering. December 2011.
- Kabashkin, I. (2015) Modelling of Regional Transit Multimodal Transport Accessibility with PetriNet Simulation. *Procedia Computer Science* (77), pp.151–157.
- Kepaptsoglou, K., & Karlaftis, M.G. (2009) The bus bridging problem in metro operations: Conceptual framework, models and algorithms. *Public Transport* (1:4), pp. 275–297.
- Kotzeva, M., Brandmüller, T., Lupu, J., Önnersfors, A., Corselli-Nordblad, L., Coyette, A., Johansson, A., Strandell, H., & Wolff, P. (2016). Urban Europe - Statistics on cities, towns and suburbs. Eurostat, Luxembourg.
- Lu, K., Han, B., & Zhou, X., (2018). Smart Urban Transit Systems: From Integrated Framework to Interdisciplinary Perspective. *Urban Rail Transit*, (4:2), pp. 49–67.
- Luo, X., Zhang, H., Zhang, Z., Yu, Y., & Li, K.E. (2019) A New Framework of Intelligent Public Transportation System Based on the Internet of Things. *IEEE Access* (7), pp. 55290–55304.
- Makarova, I., Pashkevich, A., & Shubenkova, K. (2017) Ensuring Sustainability of Public Transport System through Rational Management. *Procedia Engineering* (178), pp. 137–146.
- Melo, S., Macedo, J., & Baptista, P., (2017). Guiding cities to pursue a smart mobility paradigm: An example from vehicle routing guidance and its traffic and operational effects. *Research in Transportation Economics* (65), pp. 24–33.
- MIMOSA (2013). Public transport communication system. <https://civitas.eu/content/public-transport-communication-system> (21 de outubro de 2019).
- Mnif, S., Galoui, S., Elkosantini, S., Darmoul, S., & Ben Said, L. (2015) Ontology based performance evaluation of public transport systems. 2015 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport, IEEE ICALT 2015, (June), pp. 205–210.
- MOBILIS (2011). Implementing a bus priority scheme. <https://civitas.eu/measure/implementing-bus-priority-scheme>, 2011 (22 de outubro de 2019).
- MODERN (2013a). Information and Traffic Management Systems in Vitoria - Gasteiz. <https://civitas.eu/measure/information-and-traffic-management-systems> (21 de outubro de 2019).
- MODERN (2013b). New public transport network. <https://civitas.eu/measure/new-public-transport-network> (22 de outubro de 2019).
- MODERN (2013c). Travel information tools for traffic data management. <https://civitas.eu/measure/travel-information-tools-traffic-data-management> (22 de outubro de 2019).
- Mugion, R.G., Toni, M., Raharjo, H., Di Pietro, L., & Sebathu, S.P. (2018). Does the service quality of urban public transport enhance sustainable mobility? *Journal of Cleaner Production* (174), pp. 1566–1587.
- Nações Unidas, (2018). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (5 de janeiro de 2019).
- OECD (2013). Passenger transport (indicator). <https://data.oecd.org/transport/passenger-transport.htm> (26 de novembro de 2019).
- OPT (2005). GIST - A Decision Support System for Public Transport Planning. <http://www.opt.pt/gist.asp> (13 de fevereiro de 2020).
- Peng, S., & Fan, H. S. L. (2007). A new computational model for the design of an urban inter-modal public transit network. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* (22:7), pp. 499–510.
- Persia, L., Cipriani, E., Sgarra, V., & Meta, E. (2016) Strategies and Measures for Sustainable Urban Transport Systems. *Transportation Research Procedia* (14), pp. 955–964.

- Sun, F. Dubey, A., White, J., & Gokhale, A. (2019) Transit-hub: a smart public transportation decision support system with multi-timescale analytical services. *Cluster Comput* (22), pp. 2239–2254.
- Sutter, D., vanEssen, H.P., Boon, B.H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B., Bak, M., Maibach, M., & Schreyer, C. (2008). Handbook on estimation of external costs in the transport sector.
- TELLUS (2011). Automatic vehicle location system. <https://civitas.eu/measure/automatic-vehicle-location-system> (21 de outubro de 2019).
- TNS Opinion Social (2013). Special Eurobarometer 406 – Attitudes of European towards urban mobility (report) (15 de dezembro de 2019).
- TRENDSETTER (2011). Public transport control and guidance system. <https://civitas.eu/measure/public-transport-control-and-guidance-system> (22 de outubro de 2019).
- Zannat, K. E., & Choudhury, C. F. (2019). Emerging Big Data Sources for Public Transport Planning: A Systematic Review on Current State of Art and Future Research Directions. *Journal of the Indian Institute of Science* (99:4), pp. 601–619.