



Projeto

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***SITREPA – Sistema de Informação em Tempo-Real em  
Paragens de Autocarro***

**Luís Eduardo Rodrigues Cachulo**

Leiria, dezembro de 2012



Projeto

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***SITREPA – Sistema de Informação em Tempo-Real em  
Paragens de Autocarro***

**Luís Eduardo Rodrigues Cachulo**

Projeto de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Sérgio Manuel Maciel de Faria, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e do Doutor Carlos Manuel da Silva Rabadão, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, dezembro de 2012

## ***Agradecimentos***

---

Agradeço ao Doutor Sérgio Faria e ao Doutor Carlos Rabadão pela perseverança, pelo acompanhamento e orientação no decorrer deste projeto.

À empresa Digiwest, Lda. pela disponibilidade, camaradagem, entreaajuda e amizade.

À Direção de Serviços Informáticos do Instituto Politécnico de Leiria pela amizade e disponibilidade dos seus equipamentos e recursos humanos.

Aos meus pais que pelo seu esforço me proporcionaram alcançar mais este objetivo.

Finalmente mas mais importante, à Gabriela, minha companheira para a vida, que abdicou do seu tempo comigo para que este projeto fosse desenvolvido.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Resumo***

---

Com objetivo de melhorar o serviço disponibilizado aos passageiros, as empresas do setor dos transportes públicos de passageiros têm procurado introduzir novas tecnologias. Neste sentido, os operadores do serviço têm investido no aumento da segurança do passageiro, do conforto, do acesso a informação, dos serviços disponibilizados, dos destinos oferecidos, e na extensão e cumprimento de horários praticados. Porém, o objetivo de aumentar a qualidade do serviço prestado representa elevados custos, que podem comprometer a sustentabilidade das empresas.

O presente trabalho, baseado no projeto SITREPA, propõe um Sistema de Apoio à Decisão e Informação ao Passageiro (SAEIP), que disponibiliza ferramentas para a otimização da gestão e administração de serviços de transportes públicos de passageiros.

O projeto SITREPA consiste num sistema que combina aplicações informáticas e equipamentos físicos com a capacidade de obter dados dos veículos e disponibilizar informação diferenciada de acordo com as necessidades dos diferentes intervenientes identificados no contexto dos transportes públicos.

**Palavras-chave:** Sistema de Apoio à Exploração, Informação ao Passageiro em Tempo-Real, Localização automática de veículos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Abstract***

---

The public-transportation sector is in constant development, yet the operating companies need to improve the quality of service they provide to passengers. In order to achieve this goal, they have to increase passenger security, comfort, information access, the destinations offered and extended service schedules. If these improvements are very expensive to a public-transportation operator, the companies' sustainability will be compromised. This project describes an Intelligent Transportation System (ITS) that allows public-transportation companies to implement Real-Time Information to Passenger System (RTPI), that also provides monitoring and management tools to optimize service management and administration. SITREPA includes a hardware and *software* combined system that acquires data from vehicles and provides information to the needs of different actors in the public-transportation environment.

**Key-Words:** Intelligent Transportation Systems, Real-Time Passenger Information, Automatic Vehicle Location.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Índice de Figuras***

---

Figura 1 - Postos de expedição de rua da Carris.....	2
Figura 2 – XtraN Passenger - Módulo de visualização GIS.....	13
Figura 3 – XtraN Passenger - Módulo de visualização em espinha .....	13
Figura 4 – XtraN Passenger - Módulo de Gestão.....	14
Figura 5 - Abrangência da <i>National ITS Architecture</i> .....	15
Figura 6 - Representação da <i>National ITS Architecture</i> .....	15
Figura 7 – Componentes de interação do sistema SITREPA .....	24
Figura 8 – Solução proposta .....	34
Figura 9- Arquitetura da solução proposta .....	35
Figura 10 - Arquitetura do Servidor SITREPA.....	36
Figura 11 - Solução de contagem de passageiros da Infotron .....	42
Figura 12 –Wayfarer: Sistema de Bilhética muito utilizado em Portugal.....	43
Figura 13 - Consola do sistema xTraN da empresa nacional Tecmic .....	47
Figura 14 - Painel de informação ao passageiro da empresa Carris (Lisboa) .....	48
Figura 15 - Arquitetura do painel informativo para paragens de autocarro .....	49
Figura 16 - Proposta de implementação SPIS .....	50

Figura 17 - Módulos de <i>software</i> que integram a solução SITREPA .....	51
Figura 18 - <i>Business Intelligence</i> na realidade empresarial .....	55
Figura 19 - Integração SVED com outros dispositivos no veículo .....	59
Figura 20 - Placa de controlo do SVED .....	60
Figura 21 - Consola de Gestão SVED .....	63
Figura 22- Painel de LED para SPIS .....	64
Figura 23 - Representação de zonas de paragem .....	66
Figura 24 - Processo que descreve um serviço/SVED .....	67
Figura 25 - Modelo de dados para a funcionalidade RTPI .....	69
Figura 26 - Modelo em espinha representado a lista de veículos em relação a carreira .....	70
Figura 27 - Processo de atualização de painéis SPIS .....	70
Figura 28 - Cenário criado para o teste definido .....	74
Figura 29 - Representação da viagem prevista no Google Maps .....	74
Figura 30 - Janela principal SIMOVE - Última localização conhecida .....	75
Figura 31 - SIMOVE - Representação em tabela e gráfica de histórico de localizações .....	76
Figura 32 - SIMOVE - Representação de dados do sensor acelerómetro .....	77
Figura 33 - SIMOVE - Representação dos dados obtidos pela ECU do veículo .....	77

## ***Lista de Siglas***

---

SITREPA	Sistema de Informação em Tempo-Real em Paragens de Autocarro
IPL	Instituto Politécnico de Leiria
SIMOVE	Sistema de Monitorização de Veículos
SVED	SITREPA Vehicle Embedded Device
ECU	Engine Control Unit
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
RFID	Radio-Frequency Identification
ISO	International Organization for Standardization
SAE	Sistema de Apoio à Exploração
SAEIP	Sistema de Apoio à Exploração e Informação ao Passageiro
CAN	Controller Area Network
OBD	On-Board Diagnostic
LED	Light-emitting Diode
LTE	Long Term Evolution
SD	Secure Digital
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
NFC	Near field communication
ITS	Intelligent Transportation System
DTC	Data Trouble Code
SPIS	SITREPA Passenger Information Signpost
QoS	Quality of Service
GLONASS	Global Navigation Satellite System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service

AVL	Automatic Vehicle Localization
RF	Radio-Frequency
RTPI	Real-Time Passenger Information
UHF	Ultra high frequency
VHF	Very High Frequency
Wi-fi	Wireless Fidelity
SIRI	Service Interface for Real Time Information
EUA	Estados Unidos da América
XML	Extensible Markup Language
DSRC	Dedicated short-range communications
GERTRUDE	Gestion Electronique de Régulation en Temps Réel pour l' Urbanisme les Déplacements et l' Environnement
DoT	Department of Transport
SMS	Short Message Service
SOA	Service Oriented Architecture
SQL	Structured Query Language
SIM	Subscriber Identity Module
USB	Universal Serial Bus
SGBD	Sistemas de Gestão de Base de Dados
ITE	Institute of Transportation Engineers
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
CEN	European Committee for Standardisation

# Índice

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 ENQUADRAMENTO</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 TRANSPORTES PÚBLICOS .....	4
1.1.2 SISTEMAS DE APOIO À EXPLORAÇÃO E INFORMAÇÃO AO PASSAGEIRO (SAEIP).....	6
<b>1.2 MOTIVAÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3 SITREPA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5 ESTRUTURA DO PROJETO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 SOLUÇÕES NO MERCADO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2 TECNOLOGIAS</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 ARQUITETURAS E STANDARDS .....	14
2.2.2 SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....	16
2.2.3 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO SEM FIOS .....	20
<b>3 SOLUÇÃO PROPOSTA</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1 RESPONSABILIDADE SOCIAL</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2 IDENTIFICAÇÃO DE INTERVENIENTES</b> .....	<b>25</b>
3.2.1 PASSAGEIRO .....	26
3.2.2 CENTRO DE CONTROLO .....	26
3.2.3 MOTORISTAS .....	27
3.2.4 MANUTENÇÃO .....	27
3.2.5 ADMINISTRAÇÃO E PLANEAMENTO.....	27
<b>3.3 SERVIÇOS PROPOSTOS</b> .....	<b>28</b>
3.3.1 SERVIÇOS ORIENTADOS AO VEÍCULO (MANUTENÇÃO, CONTROLO) .....	28

3.3.2	SERVIÇOS ORIENTADOS AO CONTROLO DE SERVIÇO .....	29
3.3.3	SERVIÇOS ORIENTADOS AO NEGÓCIO.....	30
3.3.4	SERVIÇOS ORIENTADOS À ADMINISTRAÇÃO E SERVIÇOS DE PLANEAMENTO .....	30
3.3.5	SERVIÇOS ORIENTADOS AO PASSAGEIRO .....	31
3.3.6	SERVIÇOS ORIENTADOS AO MOTORISTA.....	32
<b>3.4</b>	<b>ARQUITETURA DO SISTEMA .....</b>	<b>33</b>
3.4.1	SERVIDOR SITREPA.....	36
3.4.1.1	<i>Camada de Acesso a Dados.....</i>	37
3.4.1.2	<i>Camada Lógica.....</i>	37
3.4.1.3	<i>Camada de integração.....</i>	37
3.4.2	DISPOSITIVO SITREPA EMBARCADO NO VEÍCULO.....	38
3.4.2.1	<i>Aquisição de dados .....</i>	39
3.4.2.2	<i>Informação ao utilizador .....</i>	43
3.4.2.3	<i>Comunicação .....</i>	45
3.4.2.4	<i>Interação com o motorista.....</i>	46
3.4.3	PARAGEM COM PAINEL ELETRÓNICO DE INFORMAÇÃO AO PASSAGEIRO (SPIS).....	47
3.4.4	APLICAÇÕES SITREPA.....	50
3.4.4.1	<i>SITREPA – Garage Manager .....</i>	51
3.4.4.2	<i>SITREPA - Route Monitor .....</i>	52
3.4.4.3	<i>SITREPA – System Manager .....</i>	53
3.4.4.4	<i>SITREPA - Business Data Analyser.....</i>	54
3.4.5	MÓDULO DE ESTATÍSTICAS .....	55
3.4.6	MÓDULO DE ALERTAS .....	56
3.4.7	INTEGRAÇÃO DE SERVIÇOS .....	57
<b>4</b>	<b>SOLUÇÃO IMPLEMENTADA.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>DISPOSITIVO EMBEBIDO NO VEÍCULO (SVED) .....</b>	<b>59</b>
4.1.1	COMUNICAÇÃO .....	61
4.1.2	CONSOLA .....	62
4.1.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO AO PASSAGEIRO .....	63
<b>4.2</b>	<b>PAINEL DE INFORMAÇÃO AO PASSAGEIRO (SPIS) .....</b>	<b>64</b>

<b>4.3</b>	<b>SOFTWARE SITREPA .....</b>	<b>65</b>
4.3.1	INFORMAÇÃO AO PASSAGEIRO EM TEMPO-REAL.....	65
4.3.1.1	<i>Identificação de Entidades e Relações.....</i>	<i>65</i>
4.3.1.2	<i>Ações de um serviço.....</i>	<i>67</i>
4.3.1.3	<i>Modelo de dados para a funcionalidade de RTPI.....</i>	<i>68</i>
4.3.1.4	<i>Processo de atualização de informação em painéis SPIS.....</i>	<i>69</i>
4.3.2	SERVIDOR SITREPA.....	71
4.3.3	CONSULTA DE DADOS TÉCNICOS.....	71
4.3.4	POCKETMOBILIS.....	72
<b>5</b>	<b>TESTES .....</b>	<b>73</b>
<b>5.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DOS TESTES .....</b>	<b>73</b>
<b>5.2</b>	<b>DEFINIÇÃO DO CENÁRIO .....</b>	<b>74</b>
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS DOS TESTES .....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# **1 Introdução**

---

## **1.1 Enquadramento**

Ao longo dos últimos anos o mundo tecnológico tem evoluído a um ritmo alucinante, e a forma como a sociedade organiza e gere a sua vida quotidiana tem seguido tendencialmente essa mesma evolução.

Em anos idos, tudo o que não estava ao alcance dos sentidos do ser humano era desconhecido ou a informação demorava muito tempo a chegar. A maioria das vezes tinha-se que tomar decisões infundadas ou apenas com base em informação de má qualidade, i.e. informação não atualizada imprecisa, e interpretada muitas vezes sem ligação ao que se pretendia de facto avaliar.

Nos transportes públicos este paradigma aplica-se perfeitamente. Já antes dos telefones e da internet, os passageiros dispunham de um horário em papel, que indicava a hora a que determinado veículo com um determinado destino passava em determinado local. Essa era a informação pressuposta, mas que nem sempre acertada. Nos meios rurais e em alguns casos urbanos, onde os veículos tendencialmente são mais antigos e suscetíveis a avarias, o atraso ou a não realização de determinadas carreiras era um facto constante. Estes acontecimentos foram afetando a vida de muitas pessoas ao longo o tempo.

Do ponto de vista das empresas que operavam os transportes públicos, apenas era possível ter a certeza que todos os serviços eram efetuados dentro do horário previsto e sem acidentes ou incidentes a registar, quando o veículo chegasse às paragens.

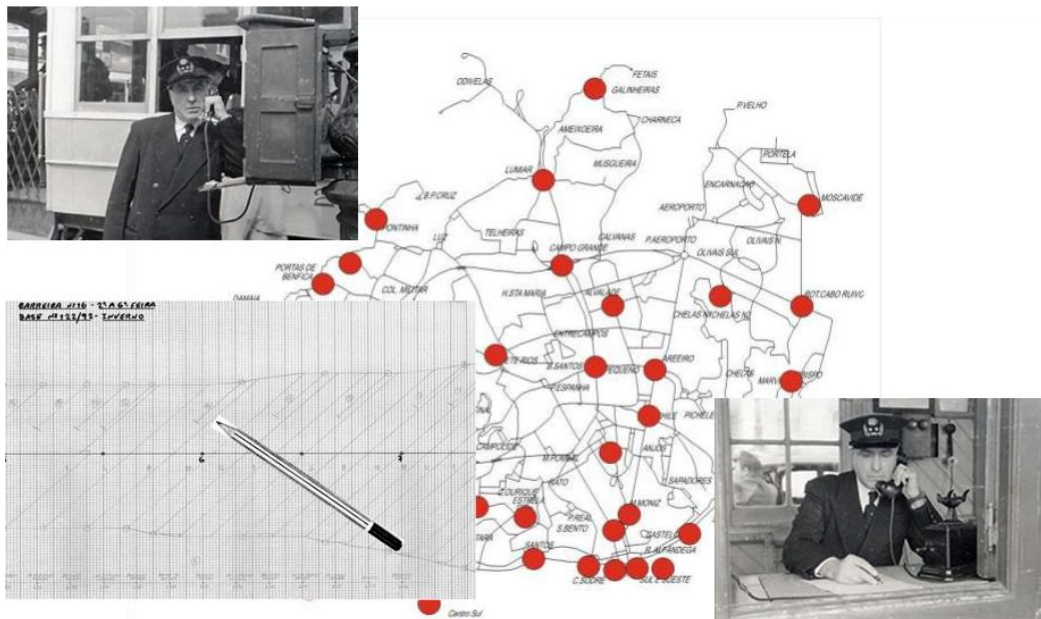
A falta de informação originou muitas mortes em acidentes devido às entidades de emergência não terem conhecimento atempado para poderem reagir em conformidade.

Com a introdução dos meios de comunicação nos hábitos quotidianos da população, começou a ser possível obter informação com mais rigor, de forma mais atempada, e as empresas de transportes públicos conseguiram com esta ferramenta aumentar a qualidade do serviço prestado. Esta ferramenta permitiu também o início da monitorização do serviço de transportes públicos.

Durante grande parte do século XX, a Carris, empresa de transportes públicos de Lisboa, foi a pioneira em Portugal a efetuar a monitorização das suas carreiras.

Com a eletrificação da rede de elétricos na capital, foi também instalada uma vasta rede de comunicação interna e instalados telefones nos então denominados “postos de expedição de rua”, permitindo aos condutores dos elétricos comunicarem a sua posição e situação a um funcionário que monitorizava o serviço.

Essa monitorização era feita de forma manual numa folha de papel como ilustra a Figura 1.



**Figura 1 - Postos de expedição de rua da Carris**

O objetivo comum a todas as atividades comerciais é conseguir cativar o cliente a adquirir os seus produtos ou a utilizar os seus serviços. As empresas de transportes públicos devem ter, com certeza também este como o principal objetivo.

A poluição nas cidades é também hoje um problema muito presente, começando as suas

consequências já a manifestar-se. Os sistemas de transportes públicos, como serviços de uma estrutura pública, têm a possibilidade de contribuir de forma muito positiva para a diminuição de poluição nos centros urbanos, quer pela utilização de veículos elétricos quer pela redução de veículos em circulação.

As cidades têm visto aumentar a sua densidade populacional com a migração de pessoas para trabalhar nas suas zonas industriais ou frequentar estabelecimentos de ensino. As infraestruturas (estradas) de um meio urbano são projetadas para um determinado período, mas nem sempre conseguem acompanhar o crescimento populacional verificado em algumas cidades. A opção de criar estas infraestruturas para acompanhar este crescimento poderá aplicar-se até determinado ponto. No caso de Lisboa, criar estradas de acessos à capital para que seja possível a circulação de todos os veículos existentes em hora de ponta, é uma tarefa pouco viável, quer pelos custos associados, quer pelo impacto ambiental que traria. Assim, têm de ser identificadas alternativas viáveis e escaláveis para que o impacto do crescimento populacional nos meios urbanos não seja tão profundo.

Enquanto os veículos privados estavam apenas ao alcance das classes mais abastadas, o aparecimento dos transportes públicos tornou-se o meio de transporte da grande maioria da população. Depois da banalização do automóvel, com a melhoria das condições de vida da população, pela necessidade de maior mobilidade e de maior conforto, grande parte da sociedade trocou os transportes públicos pelo seu próprio veículo. Atualmente, a crise económica que se debateu sobre muitos países do mundo mas sobretudo na Europa, trouxe também o problema da manutenção do veículo próprio. O preço dos combustíveis disparou para máximos históricos, o custo dos seguros são enormes e os rendimentos da população estão cada vez mais baixos sofrendo cortes impostos pelas políticas de austeridade em vigor em muitos países. O que se traduz em uma dificuldade acrescida em adquirir e manter um veículo.

Neste sentido, com o compromisso das empresas em otimizar e elevar a qualidade de serviço prestado, identifica-se estar na altura perfeita para que os transportes públicos se assumam perante o público como a alternativa cómoda, amiga do ambiente e acessível. A cobertura geográfica, a disponibilidade horária, o conforto, a segurança, o tempo de viagem, o custo da viagem e o acesso a informação do serviço são alguns dos fatores que permitem ao cidadão avaliar se os transportes públicos são uma alternativa viável ou não

ao seu próprio veículo.

As empresas de transportes públicos estão cada vez mais conscientes também do seu papel na sociedade e preocupam-se em acompanhar a evolução e melhorar de forma constante a oferta que disponibilizam ao cliente. No entanto os custos de manutenção de veículos e equipamentos inerentes ao serviço são sempre o grande obstáculo destes operadores.

### ***1.1.1 Transportes públicos***

O universo de transportes públicos é composto por diversos tipos de serviço com características diferentes.

Os transportes públicos nos meios rurais são transportes que tipicamente estão localizados perto de uma cidade ou vila, e cujo principal serviço se foca no transporte da população entre as localidades rurais e as vilas ou cidades. Em muitos casos este tipo de serviço realiza-se apenas durante os dias úteis, e passam nas localidades mais rurais uma ou duas vezes da parte da manhã para transportar a população (tipicamente trabalhadores, estudantes ou outros que se dirigem aos serviços sociais como o posto médico, tribunal, etc.) e o mesmo ao fim do dia no sentido inverso.

Com os serviços centralizados principalmente nos centros urbanos, as periferias estão também a sofrer um aumento da população de forma exponencial. Este facto deve-se quer às cidades não estarem preparadas para este crescimento, como também ao facto do custo de alojamento fora das cidades ser inferior. De modo a satisfazer as necessidades de mobilidade da população existente nas periferias da cidade, identifica-se também os transportes públicos interurbanos, transportando as pessoas de e para a cidade. Como o volume de passageiros é bem superior face ao transporte em meios rurais, são necessárias medidas adicionais como o aumento de carreiras e da capacidade dos veículos.

Os transportes públicos urbanos têm como objetivo o transporte de passageiros no interior dos centros urbanos, e como tal têm que se ajustar de acordo com as características destes meios, como o tráfego existente, características das vias, horas de ponta, localização dos serviços, etc. Para isso a oferta que disponibilizam ao público deve ser variada de forma a colmatar a diversidade de necessidades dos passageiros.

Para além do serviço típico de transportes de passageiros regulares em horário diurno através de autocarros, da rede de elétricos e da rede de elevadores e ascensores, existem outros. Por exemplo, os flexíveis (serviço Call Bus da Carris), em que o autocarro só vai a determinado local se através de um interface o passageiro o solicitar, como carregarem num botão existente na paragem. Em Lisboa, a Carris [1] disponibiliza outros serviços aos seus clientes, tais como o serviço de *car-sharing* que permite a partilha de veículos dentro da cidade, e o serviço BikeBus que em cinco carreiras é permitido o acesso a bicicletas. Tal como acontece noutras cidades, no Porto, os STCP [2] disponibilizam o serviço de aluguer pontual ou regular de veículos para o transporte de grupos de passageiros, o serviço de turismo, o serviço de mobilidade reduzida que consiste num serviço de transporte de passageiros para pessoas com deficiência. Em Coimbra, a empresa de transporte municipais, SMTUC [3], implementou parques de estacionamento vigiados nas principais entradas da cidade para os passageiros deixarem os seus veículos, assegurando um transporte regular e uma cobertura abrangente de toda a cidade.

A variedade de serviços disponíveis nas grandes cidades começa agora a adaptar-se às necessidades dos clientes [4].

Analisando os serviços de transportes regulares, do ponto de vista económico os operadores de transportes públicos de passageiros ao planearem determinada escala de serviços (i.e. número de veículos, quantidade e localização das paragens, definição dos percursos), estão a assumir um conjunto de custos fixos para esta mesma escala. Para que o serviço se torne sustentável e rentável, precisam de garantir que o planeamento efetuado é o mais adequado às necessidades dos clientes para assim garantirem o maior número de pessoas transportadas.

De forma a garantir uma economia de escala que garanta a sustentabilidade e crescimento da empresa, (i.e. quanto maior o número de passageiros transportados, menor será o custo da viagem por passageiro), as empresas operadoras estão a optar por tentar vender assinaturas de viagens ou os passes para garantirem um número relativamente constante de clientes.

O desenvolvimento de novas tecnologias veio assim dar um grande contributo para o mundo dos transportes públicos, disponibilizando ferramentas de controlo que permitem

melhorar em muito a experiência do passageiro, mas também reduzir os custos associados à manutenção de um serviço de transportes públicos.

### ***1.1.2 Sistemas de Apoio à Exploração e Informação ao Passageiro (SAEIP)***

Nos operadores de transportes atrás mencionados, todos disponibilizam também ao público um serviço de informação em tempo real através de diversas formas, mas principalmente através de painéis de informação existentes junto das paragens de autocarro. Estes painéis informam o utilizador quais as carreiras que param naquela paragem e o tempo previsto de chegada do próximo veículo para cada carreira.

Do ponto de vista do passageiro, a informação em tempo-real é uma ferramenta que aumenta a qualidade do serviço prestado [5] [6]. Com estes sistemas o cliente sabe em tempo real informações como a hora a que chega um veículo com o destino pretendido e se o serviço está atrasado ou não ou ainda se por algum motivo previsto ou imprevisto o serviço não se efetua. Este tipo de informações permitem ao passageiro tomar decisões sobre que meio de transporte utilizar, no caso de centros urbanos onde existem alternativas de transporte, decidir com base em informação útil e atempada de qual a melhor forma de chegar ao seu destino.

Do ponto de vista do negócio, a informação em tempo-real permite a aquisição de dados fundamentais de modo a efetuar uma gestão mais rigorosa de todo o sistema de transportes, quer ao nível do planeamento quer ao nível da monitorização do mesmo. A localização dos veículos em tempo real, a referenciação da quantidade de passageiros que entram e saem de um veículo no espaço e no tempo, dados técnicos do veículo em tempo real, a integração de dados de sistemas de bilhética existentes e ainda a comunicação escrita e/ou por voz entre os veículos e um centro de controlo são algumas das funcionalidades e dados disponibilizados pelos SAEIP.

As empresas de transportes públicos que pretendem ser mais competitivas e apresentar melhores padrões de qualidade, implementam normas de qualidade que os obrigam a definir detalhadamente os processos de negócio que disponibilizam ao cliente, bem como a criar mecanismos de avaliação desses mesmos processos. Esta ferramenta fornece dados

mensuráveis que permitem efetuar uma avaliação mais eficaz e rigorosa. Estes processos permitem uma otimização constante do serviço (escalonamento de carreiras, escalonamento de veículos, escalonamento de tripulantes, configuração de veículos, etc.) e consequentemente de um aumento constante da qualidade de serviço prestado ao cliente.

A fiscalização e monitorização interna do sistema de passageiros era efetuada com recurso a fiscais de rua que percorriam diversas carreiras tomando as suas notas e ao fim do dia compilavam e arquivavam essa informação para que mais tarde fosse analisada e daí surgissem alguns indicadores de negócio. Com o aparecimento dos SAEIP, estes fiscais conseguem agora monitorizar muito mais veículos, todos eles em tempo real, com acesso a toda a informação de todos os veículos de todos os percursos de forma precisa e automática.

Também a segurança dos veículos, dos tripulantes e dos passageiros aumenta com a implementação destes serviços uma vez que são implementados sistemas quer de videovigilância, quer sistemas que permitem alertar as autoridades quase de forma imediata após a ocorrência de um qualquer incidente.

## **1.2 Motivação**

Os sistemas de apoio à exploração e informação ao passageiro são uma área de desenvolvimento bastante evoluída onde existe uma forte componente de conhecimento gerado através de várias áreas de investigação, mas também através das próprias empresas de desenvolvimento. Este conhecimento leva a que as soluções existentes no mercado sejam cada vez mais completas e eficientes como ferramentas de gestão das entidades operadoras de transportes públicos.

No entanto existem alguns motivos que levam a que este sistema não esteja ao alcance de todos e surgem necessidades que necessitam ser suprimidas.

Apesar de reconhecidas as vantagens e a necessidade da implementação dos SAEIP, para os pequenos e médios operadores de transportes públicos (e.g. os transportes públicos urbanos de pequenas cidades) o custo associado à instalação e manutenção dos SAEIP existentes é incomportável. Também estas empresas necessitam destas ferramentas para poder crescer e otimizar o serviço prestado, como também necessitam de melhorar a

experiencia de utilização do serviço dos seus clientes.

A integração da informação de horários, percursos efetuados e informação em tempo real a nível global (vários operadores de transportes públicos) é também uma área onde estão a surgir os primeiros resultados [7] [8] [9] [10]. Os serviços resultantes desta integração de informação permitem ao público planear as suas viagens ao longo de várias áreas geográficas e de vários operadores. Se estes operadores mais pequenos não estiverem presentes nestes serviços, podem perder uma considerável quota de mercado para outros operadores mais fortes, mesmo que a qualidade de serviço de uma forma geral seja superior.

Outro aspeto que é identificado como motivação para a realização deste projeto é a existência de muitas soluções que permitem ou a gestão de veículos, ou a informação ao passageiro, a localização dos veículos, a gestão dos sistemas de bilhética ou até mesmo a contagem de passageiros num determinado local, mas de forma independente. Existem várias soluções independentes, cada uma com o seu sistema de comunicação, com o seu sistema de armazenamento de dados, com a sua lógica de negócio implementada.

A integração desta informação completamente distinta pode ser bastante complexa, e o custo final da aquisição destas soluções e da sua integração pode ultrapassar facilmente o custo da implementação de um sistema escalável, que disponibilize de base a grande maioria das funcionalidades de todas estes sistemas, mas que possibilite a comercialização por módulos e onde a integração de novos módulos seja uma tarefa simples.

Finalmente, os sistemas atuais disponíveis mais completos, contemplam sistemas computacionais bastante dispendiosos, quer integrados no veículo quer num centro de controlo para a gestão do serviço. Com a recente tendência da computação na nuvem e da disponibilização de poder computacional escalável, de acordo com a necessidade dos utilizadores e a preços acessíveis (e.g. Windows Azure [11] ou o Amazon Services [12]), podem-se dimensionar os sistemas instalados em pequenos operadores, de acordo com as suas reais necessidades e capacidade económica.

### **1.3 SITREPA**

O projeto SITREPA (Sistema de Informação em Tempo Real em Paragens de Autocarro) é

um projeto que está a ser desenvolvido pela empresa Digiwest, Lda. [13], em colaboração com o Instituto Politécnico de Leiria.

A Digiwest, Lda. é uma empresa criada por alunos e colaboradores do Instituto Politécnico de Leiria, composta por antigos alunos de Engenharia Eletrotécnica e que se dedica ao desenvolvimento de soluções eletrónicas à medida do cliente. A área de comunicações sem fios e processamento em microcontroladores são as principais áreas de ação desta empresa, implementando como soluções de telemetria, acionadores remotos de dispositivos, painéis de informação a LED, entre outras.

O projeto SITREPA (Sistema de Informação em Tempo-Real em Paragens de Autocarro) está a ser desenvolvido com base no caso estudo do serviço de transportes públicos urbanos da cidade de Leiria, o MOBILIS – Circular Urbana de Leiria [14].

Leiria é uma cidade com cerca de 126000 habitantes (dados de 2009) com uma forte tendência crescente verificada ao longo dos últimos anos. A existência de várias escolas superiores nesta cidade levou à instalação de muitas empresas na região, razão pela qual também se verifica este aumento da população.

O MOBILIS é constituído por dois percursos que percorrem as principais áreas e serviços da cidade (ensino, saúde, serviços administrativos, turismo, etc.) muito semelhantes mas que se efetuam em sentidos opostos. Os percursos contam com cerca de 35 paragens e no período diurno o tempo máximo de espera é de 17 minutos, sendo também o tempo médio entre cada paragem de 8 minutos.

Com a tendência verificada do aumento da população na cidade de Leiria, prevê-se que o serviço MOBILIS se venha a estender a curto prazo para mais percursos e paragens, conforme as notícias mais recentes sobre este tema [15] [16] [17].

O projeto SITREPA foi apresentado recentemente na CENTERIS 2012 - Conference on ENTERprise Information Systems, que decorreu em Vilamoura em Outubro de 2012, através da apresentação do artigo “Real-time information system for small and medium bus operators”. Este artigo encontra-se disponível para consulta no Anexo I deste relatório.

## 1.4 Objetivos

O principal objetivo do projeto SITREPA é dimensionar um sistema completo de Sistema de Apoio à Exploração e Informação ao Passageiro com base nos seguintes princípios:

- Escalabilidade / Modularidade;
- Disponibilidade;
- Integrabilidade;
- Otimização de recursos.

Neste sentido, os objetivos específicos definidos para esta etapa do projeto SITREPA são:

- Estado da arte de SAEIP;
  - Análise de soluções existentes;
  - Identificação de serviços disponibilizados;
  - Análise da tecnologia existente;
  - Análise de documentação existente;
- Proposta justificada de uma solução;
- Implementação de um protótipo para aferir as opções tomadas.

## 1.5 Estrutura do projeto

O presente documento encontra-se dividido em sete capítulos de forma a orientar a consulta do mesmo.

Neste primeiro capítulo é introduzido o tema dos transportes públicos e o conceito de SAEIP. É também apresentado o projeto SITREPA, descrita a motivação e traçados os principais objetivos para este projeto. No capítulo 2 é identificada alguma literatura sobre o tema, descrição de soluções SAEIP existentes no mercado e identificados alguns serviços e tecnologias aplicados. A solução proposta neste projeto é descrita no terceiro capítulo e o quarto enumera as aplicações implementadas no âmbito deste projeto. O quinto capítulo descreve os testes efetuados e os resultados obtidos. O trabalho futuro é indicado no capítulo 6 e finalmente no capítulo 7 são analisadas as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido.

## 2 Revisão da literatura

---

Os SAEIP, ou *ITS* (*Intelligent Transportation Systems, ITS*) como são designados na maioria da documentação consultada, são uma área de bastante interesse por parte de empresas, institutos de ensino e de institutos de investigação.

Este assunto é abordado maioritariamente por objetivos (i.e. informação ao passageiro em tempo real [5] [18] [19] [20], aquisição de dados do veículo, algoritmos de gestão de passageiros, algoritmos de previsão de tempo [21] [22] [23], sistemas automáticos de localização de veículos [24] [21] [25] [26] [27] [28], etc.) e normalmente associado a um contexto específico (e.g. Dublin [5], Lancaster [19], Hong Kong [10], entre outros).

Os assuntos mais discutidos atualmente referem-se à integração de informação entre os vários SAEIP [9] [10] [8] [7] existentes, de modo a criar sistemas globais que permitam a disponibilização de serviços mais completos ao cliente como a disponibilização de ferramentas de planeamento de viagens e comparação de serviços entre operadores..

### 2.1 Soluções no Mercado

A diversidade de soluções existentes no mercado para a área de transportes públicos é enorme, muitas delas apenas focadas numa ou outra necessidade em específico, e algumas mais completas, normalmente instaladas nas empresas de maior volume de negócio.

Em Portugal, a empresa de transportes públicos de referência, pela sua história e pelo seu volume de passageiros transportados diariamente é a CARRIS [1], empresa de transportes de Lisboa.

O SAEIP instalado na CARRIS [29], XTraN Passenger [30], é o mais completo que existe nos serviços de transporte de passageiros em Portugal, e ao nível de serviços disponibilizados está ao nível dos sistemas mais desenvolvidos do mundo. O SAEIP foi desenvolvido e implementado por um consórcio de três empresas, e disponibiliza uma forte componente de integração, permitindo à Carris o desenvolvimento de novos serviços

baseados na estrutura existente.

Este SAEIP é por isso brevemente analisado neste documento como forma de enquadramento ao tema.

A componente de disponibilização de informação ao passageiro é assegurada através de:

- Painéis eletrónicos nas paragens;
- Painéis eletrónicos embutidos nos veículos;
- Informação áudio no interior dos veículos;
- Página de internet dedicada;
- Sistema de horários integrados dos transportes de Lisboa [8];
- Aplicações para *Smartphones*;
- Consulta de horários por SMS.

Para além dos diversos serviços de transporte propriamente ditos (Autocarro, elétricos, elevadores e ascensores, *car-sharing*, aluguer de bicicletas, etc), para segurança dos seus passageiros, a Carris implementa sistemas de videovigilância nos percursos identificados com maior índice de criminalidade. Disponibiliza ainda no interior de alguns veículos o serviço de internet via *wi-fi*, um canal de televisão próprio com programação própria, publicidade e informações úteis e em alguns casos também áudio-guias turísticos. Todos estes serviços são integrado no SAEIP existente.

Do ponto de vista de gestão de trânsito, os dados obtidos em tempo-real estão integrados com o sistema de gestão de tráfego da cidade de Lisboa (GERTRUDE).

O SAEIP implementa também integração total com o sistema de faturação da Carris em que o servidor e os módulos de bilhética dos veículos estão interligados em tempo real.

A Carris conta ainda com um centro de controlo onde os operadores têm acesso a um sistema informático, o XTraN Passenger [30] que lhes permite monitorizar todo o serviço de transporte de passageiros. Algumas funcionalidades disponibilizadas aos operadores do centro de controlo são a possibilidade de visualização de percursos e localização dos veículos em tempo real georreferenciadas num mapa (Figura 2); possibilidade de visualização de veículos relacionados com o percurso através do modelo em espinha

(Figura 3); e um módulo de gestão onde é representada toda atividade de comunicação existente no veículo (Figura 4).

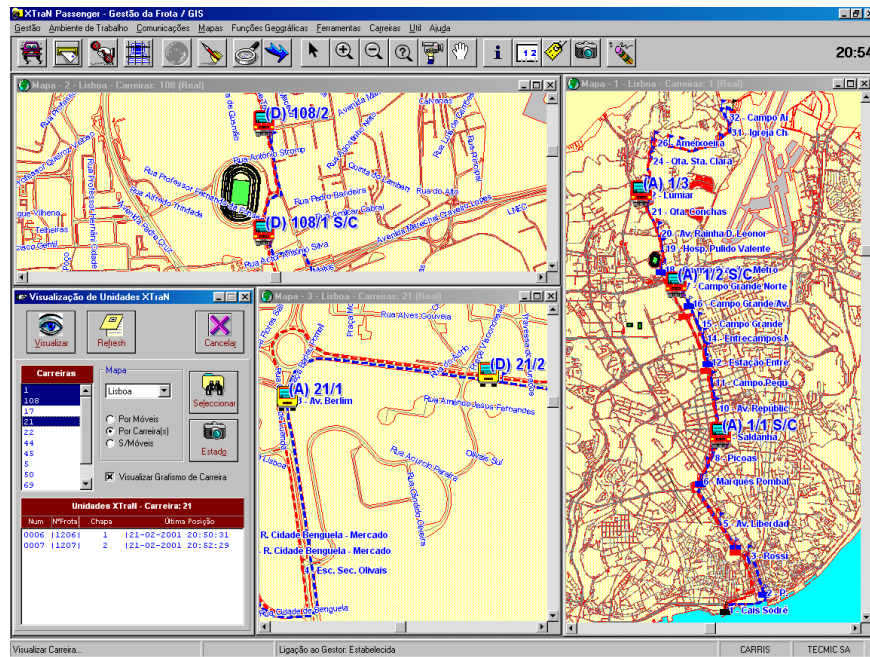


Figura 2 – XtraN Passenger - Módulo de visualização GIS



Figura 3 – XtraN Passenger - Módulo de visualização em espinha

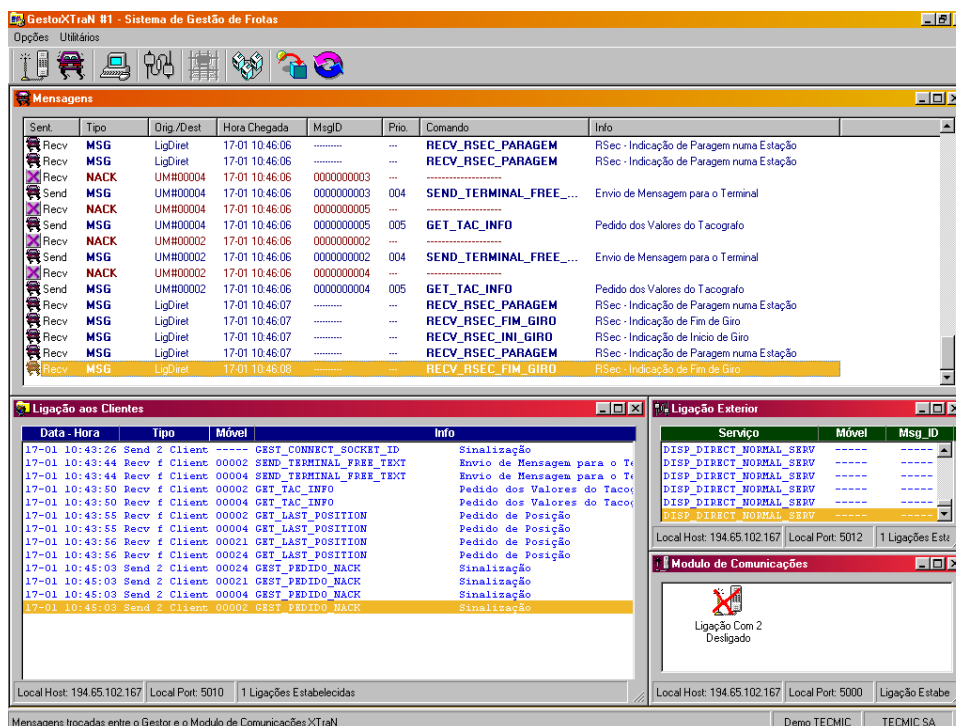


Figura 4 – XtraN Passenger - Módulo de Gestão

## 2.2 Tecnologias

### 2.2.1 Arquiteturas e Standards

Os *ITS* estão a ser implementados em empresas de transportes públicos na maioria dos países por mundo. Existe muita informação gerada por cada empresa, que em conjunto pode gerar riqueza não só para elas próprias como também para a generalidade das populações localizadas junto dessas empresas.

A integração dos vários sistemas *ITS* existentes numa cidade com sistemas de gestão de tráfego, sistemas de gestão de emergência da polícia, bombeiros, departamentos médicos, integração com sistemas *ITS* de comboios, aeroportos, elétricos, sistemas de informação ao público, (etc...), permitem não só contribuir para que a diversidade dos meios utilizados para a informação chegar ao público aumente drasticamente como também disponibiliza uma ferramenta muito valiosa para a gestão das cidades e da segurança dos cidadãos.

Para que esta integração se verifique é necessário estabelecer algumas regras para que a informação de diferentes sistemas, diferentes filosofias e diferentes abordagens de

desenvolvimento sejam compreendidas de forma global.

De seguida apresentam-se alguns exemplos de *standards* existentes a nível mundial.

A *National ITS Architecture* [31] é uma arquitetura que disponibiliza normas para o planeamento, definição e integração de diferentes *ITSs* nos EUA. Esta arquitetura é orientada pelo Departamento de Transportes (*DoT*) e implementa *standards* definidos por várias empresas (e.g. *IEEE*, *ITE*, entre outros) para as várias áreas de desenvolvimento de *ITSs*, como ilustrado na Figura 5.

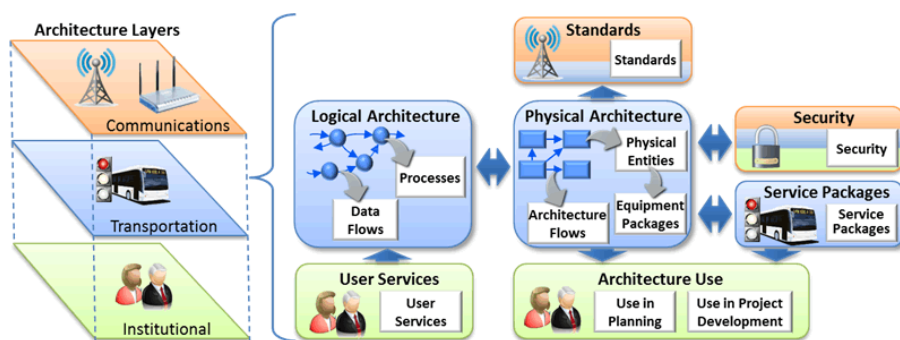


Figura 5 - Abrangência da *National ITS Architecture*

Esta arquitetura foi definida não só para o serviço de gestão de transportes públicos mas para todo o sistema de tráfego dos EUA, como ilustrada na Figura 6.

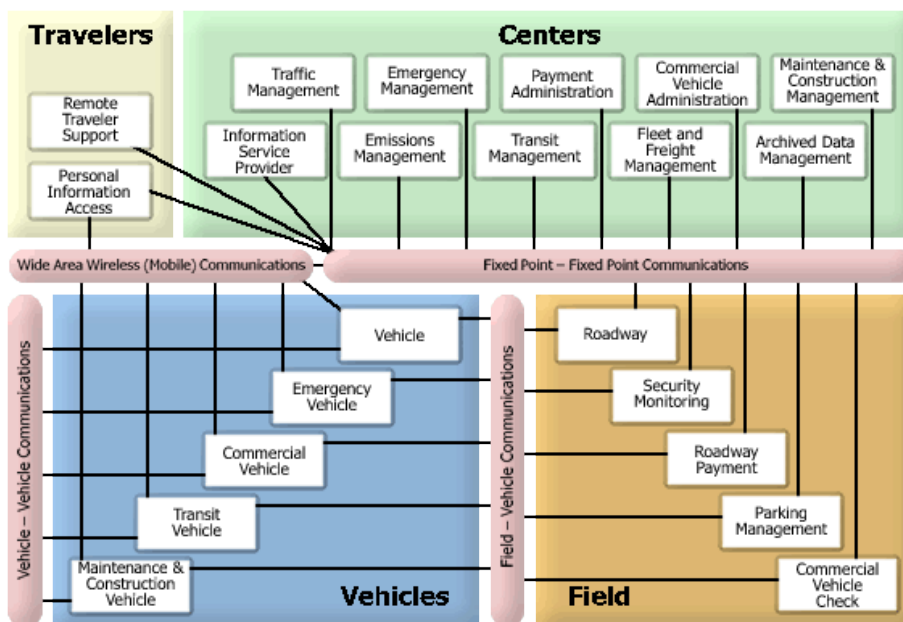


Figura 6 - Representação da *National ITS Architecture*

O SIRI (*Service Interface for Real Time Information*) [32] - CEN/TS15531 é um protocolo XML desenvolvido em parceria por França, Alemanha, Escandinávia e Inglaterra para definir a partilha de informação em tempo-real de veículos e serviços de transporte público de passageiros.

O SIRI é baseado no modelo de dados abstrato TransModel [33], que define um modelo de dados para a implementação de *ITSs*. Este modelo de dados é otimizado ao longo dos anos em parceria entre várias entidades que envolvem o mundo dos transportes públicos. Muitos projetos europeus atuais são baseados neste modelo. O modelo de dados implementa vários conceitos de negócio sendo utilizado em processos como a faturação, a gestão operacional, gestão de dados em tempo real, gestão de horários, etc.

Existem muitos outros *standards* e arquiteturas que apesar das suas diferenças de implementação, são conceptualmente muito semelhantes aos exemplos aqui abordados.

### **2.2.2 Sistemas automáticos de localização de veículos**

A localização dos veículos é também um tema bastante investigado e ao longo dos anos, com o desenvolvimento de novas tecnologias, surgiram novas soluções. Os sistemas de localização são normalmente denominados por *Automatic Vehicle Location Systems* (AVL).

Vamos analisar algumas abordagens utilizadas e identificar as suas principais vantagens e desvantagens.

- **Postos fixos de identificação – RFID**

Um dos conceitos muito utilizados hoje em dia para localizar veículos consiste em colocar sensores com capacidade de comunicação em determinados locais fixos/ou em veículos. O veículo ao entrar na área de alcance desses sensores é identificado e essa informação é transmitida para o servidor. O conceito deste método de localização de veículos é utilizado principalmente para a localização de veículos que obedecem a uma rota fixa (e.g. comboios ou autocarros). Em relação às tecnologias utilizadas na implementação deste conceito, são na grande maioria das vezes colocadas tags RFID em pontos fixos [34] [26] (e.g. paragens de autocarros, postes de semáforos, postes de eletricidade, paragens), e instalados leitores de

sinais RF nos veículos (ou o caso contrário, onde o veículo tem identificador RFID e os postos fixos têm o leitor).

Apesar do conceito simplista deste método e de ser possível localizar os veículos onde não é possível receber o sinal GPS (e.g. túneis), as suas principais desvantagens são os custos associados à instalação de identificadores RF eletrónicos ou leitores RFID em todos os veículos/pontos fixos de todos os percursos, alterar estes pontos/leitores cada vez que se verificarem alterações ao percurso ou quando são criados novos percursos, bem como a instalação e manutenção do serviço de comunicação. Outra desvantagem também identificada é que se existir uma alteração forçada na rota de um veículo (e.g., obras temporárias em determinado segmento de uma rota de autocarros) e se a estrutura não for adaptada, deixa de ser possível fazer a localização do veículo nesses locais. Também em casos de atrasos/avarias/assaltos não é possível saber a localização exata do veículo se não passar pelos pontos onde se juntam os dois equipamentos necessários para existir a informação da localização.

Caso exista uma infraestrutura de comunicações fixa, este método permite que não existam gastos em sistemas de comunicação móvel para as entidades fornecedoras do serviço (e.g. alguns pontos da rede Carris em Lisboa estão ligados ao sistema GERTRUDE), ainda assim necessita que todos os veículos estejam equipados com dispositivo identificador e os pontos fixos estejam equipados com leitores RF.

- **Processamento de imagem**

A análise de imagem é tem sido também nos últimos anos alvo de bastante investigação, sendo hoje possível processar imagens e identificar alguns objetos ou gráficos específicos. Fazendo uso destas investigações, existem várias abordagens de localização de viaturas através do processamento de imagem.

Através de uma câmara instalada no veículo, ao analisar o ambiente em redor deste o sistema consegue tirar parâmetros que, cruzando os dados com informações anteriormente obtidas, lhe permite identificar a localização onde se encontra atualmente [25]. Foram ainda identificados sistemas que recorriam ao sistema de vigilância da cidade para analisar o número do veículo inscritos no teto do veículo, sistemas de identificação da chapa de matrícula [35] ou ainda sistemas onde existe um dispositivo com um LED nas paragens do autocarro com uma determinada

sequência de piscar, que uma câmara a bordo do veículo descodifica num código e assim reconhece a paragem [24].

Normalmente estes sistemas estão ainda numa fase de estado da arte porque representam custos elevados quer de desenvolvimento quer da infraestrutura necessária.

- **Dead-Reckoning**

O sistema de localização *dead-reckoning* consiste no pré-conhecimento do percurso a efetuar, e através do odómetro do veículo identifica a distância percorrida desde o início da viagem até ao ponto atual. Este sistema não é muito preciso, basta que por qualquer motivo o veículo tenha de se desviar da rota para que os dados fiquem incorretos. Existem no entanto AVLS baseados em *dead-reckoning* e no sistema de identificação RFID que garantem já alguma fiabilidade. É uma solução que pode ser adaptada em pequenos percursos e onde a distância entre paragens não é muito elevada. Esta solução também é viável se for integrada com um giroscópio e/ou acelerómetro triaxial, para além de ser possível medir a distância percorrida, é também possível identificar para onde o veículo se está a dirigir. Esta informação em tempo-real relacionada com um mapa, permite saber, com alguma margem de erro, a localização do veículo.

- **Triangulação de frequências rádio**

O sistema de localização através da triangulação de sinais de rádio é baseado nas redes GSM existentes. Consiste na triangulação de sinais emitidos, por estruturas construídas para o efeito [36] ou a partir das antenas das células da rede GSM [37], através da medição do sinal é possível localizar o veículo. Este sistema requer material muito sensível e dispendioso para que consiga medir os sinais com alguma precisão e os resultados obtidos não são muito satisfatórios, pois a margem de erro acaba por ser bastante maior do que a maioria das alternativas que se apresentam.

- **Global Positioning System**

O GPS é um sistema de localização por satélite que fornece a um dispositivo a sua localização. O sistema GPS é composto por uma “constelação” de 24 satélites colocados estrategicamente em órbita, de modo a que a partir de qualquer ponto do planeta estejam sempre pelo menos quatro satélites em “linha de vista”. Os satélites enviam constantemente sinais para a terra com a sua identificação e a hora existente

nos seus relógios atómicos, permitindo ao recetor, através do cálculo da distância deste aos satélites, calcular as coordenadas do local onde se encontra.

O sistema GPS foi desenvolvido e pertence ao Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, e desde meados do ano 2000 o serviço está disponível ao público de todo o mundo. No entanto, este serviço apenas disponibiliza o serviço com uma margem de erro de cerca de 10 metros, estando os recursos mais precisos para utilização exclusiva das Forças Armadas dos EUA. Existe também já em funcionamento o sistema Russo GLONASS que disponibiliza o serviço de forma gratuita, com uma precisão máxima de decímetros. Apesar da sua precisão e dos EUA desativarem o GPS para uso civil quando necessitam dos recursos para operações militares, o GLONASS ainda não é muito comum devido a este estar disponível apenas desde o final do ano de 2011, e como tal ainda não existem muitos equipamentos associados a esta tecnologia. Existem ainda os sistemas em desenvolvimento, o GALILEO da União Europeia e o Compass da China.

Atualmente para resolver a questão da precisão do GPS, utilizam-se abordagens que permitem diminuir a margem de erro de 10 para menos de 2 metros, dependendo das implementações e dos equipamentos. As duas abordagens mais comuns são a implementação de correções baseadas em *Differential GPS* [38] e a implementação de correções baseadas no sistema EGNOS [39] [40].

Pelo excelente desempenho do GPS e pelo baixo custo de implementação, desenvolvimento e manutenção do serviço, este mostra-se como a principal abordagem a tomar nos AVLS existentes atualmente.

No entanto, quando não existe linha de vista com os satélites, (e.g. túneis, cidades com grandes edifícios, a árvores) o sistema pode perder a cobertura ou apanhar sinais refletidos e apresentar dados errados.

A maioria dos AVLS estudados apresentam o GPS como a principal fonte de dados [5] [27], mas também a abordagem da integrar vários sistemas num só, ou seja, conjugar o GPS com sistemas *dead-reckoning* [28] [41], ou GPS com o sistema de identificação de pontos fixos num determinado percurso [42], ou ainda o GPS com um detetor de abertura de portas de veículos [29] ou ainda a conjugação destes todos [43].

Existem ainda abordagens que tiram partido de sistemas ITS existentes numa mesma

cidade para efetuar um simulador de tráfego, e cruzar um conjunto de informação de modo localizar um veículo através de estimativa sem a necessidade de implementação de qualquer sistema AVL [9].

### **2.2.3 Tecnologias de comunicação sem fios**

Um SAEIP baseia-se na possibilidade de adquirir dados e de os transmitir em tempo-real para um sistema com poder computacional onde serão processados para originar informação útil a vários utilizadores com diferentes necessidades. Para que esta transmissão seja possível, é necessário recorrer a tecnologias de comunicação que garantam disponibilidade, largura de banda e fiabilidade. As redes sem fios mais adequadas atualmente ao cenário dos transportes públicos são:

- **Wi-Fi**

Designa-se como o “tradicional” sistema utilizado nas redes locais sem fios domésticas e de empresas. Esta rede é utilizada em algumas situações quando os veículos estão no parque durante um espaço de tempo, para fazer o download de maiores volumes de informação para os equipamentos de processamento e armazenamento de informação que não é necessariamente importante em tempo real (vídeos de videovigilância, informação relativa aos sistemas de bilhética, dados menos importantes de monitorização do veículo, atualização de conteúdos publicitários e informativos nos veículos, etc.).

Esta tecnologia tem a vantagem de poder obter uma maior largura de banda e garantia de qualidade de serviço mas restringida à área abrangida pelo sinal da rede.

- **TETRA (Terrestrial Trunked Radio)**

A tecnologia TETRA [44] [45] [46] é uma tecnologia de rádio móvel, privada e digital.

As características principais desta rede são a segurança, disponibilidade, fiabilidade, a possibilidade de implementar QoS e o facto de ser um *standard* para as comunicações móveis profissionais. As principais diferenças entre TETRA e GSM são que esta foi especialmente desenvolvida para entidades com tarefas críticas como autoridades, serviços de emergência, transportes públicos e forças armadas, implementando sistemas especiais de redundância e níveis de prioridade nas comunicações. A principal desvantagem deste serviço é o facto de ser um

serviço privado e como tal tem custos elevados inerentes à sua utilização. No entanto, nos SAEIP instalados nos grandes centros urbanos, devido à necessidade de garantir a disponibilidade do serviço, a rede instalada é a TETRA [47] [29]. Verifica-se também a utilização de sistemas híbridos, onde esta tecnologia é utilizada apenas para a transmissão de vídeo e conferência por voz [40].

- **GSM (GPRS/UMTS) (Global System for Mobile Communications)**

GSM [46] é o padrão em que a rede de telemóveis pública europeia se baseia para implementar a comunicação entre dispositivos móveis. Esta tecnologia disponibiliza uma largura de banda limitada mas suficiente para a transmissão de dados necessários às funcionalidades principais do sistema (e.g. coordenadas, localização, dados do veículo do ECU, i.e. principalmente os dados em formato de texto). No entanto, a transmissão de dados em tempo-real como vídeo do sistema de videovigilância ou a implementação de um sistema de por voz (apenas UMTS, GPRS não disponibiliza largura de banda suficiente para estes serviços) não será aconselhável pois pode comprometer a transmissão dos restantes dados.

- **LTE – Long Term Evolution [48]**

A recente entrada no mercado da tecnologia LTE veio abrir as portas à implementação de novos serviços em tempo real em ambientes móveis, disponibilizando nesta primeira versão uma largura de banda máxima teórica de 170 Mbps, muito superior às anteriores tecnologias.

No entanto, atualmente a implementação desta tecnologia pelos operadores de comunicações está numa fase inicial, onde a cobertura disponível se resume apenas a algumas cidades e em algumas zonas em específico.

Num futuro próximo, esta será a tecnologia que substituirá o atual GPRS/UMTS.

- **Outras**

São ainda utilizadas em outros cenários dentro do contexto de transportes outros tipos de tecnologias, como UHF e/ou VHF, DSRC (Dedicated Short-Range Communications), Wimax ou ainda as Mesh Networks que são as redes por excelência utilizadas nos metropolitanos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

### **3 Solução proposta**

---

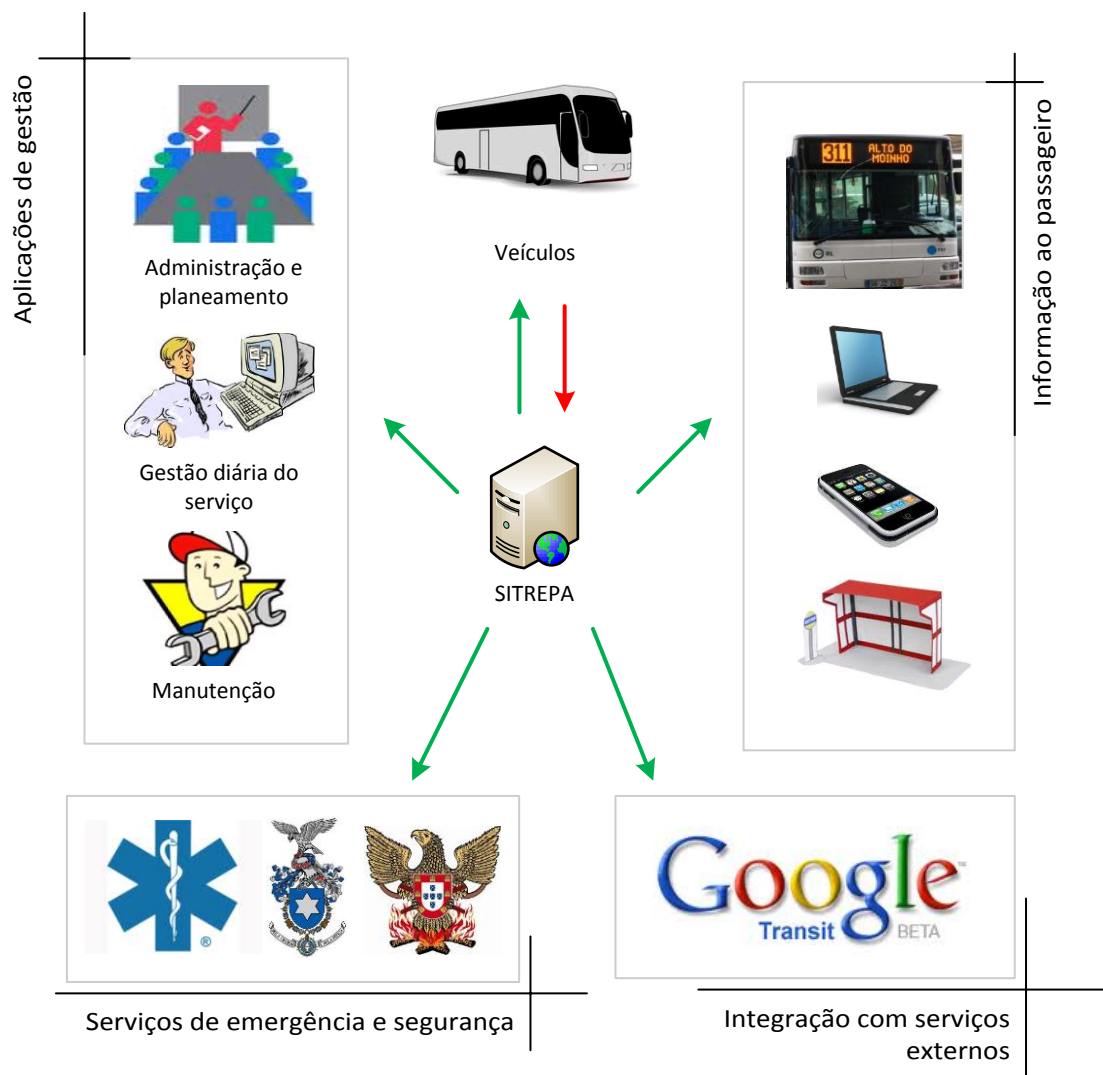
Atualmente existe no mercado uma quantidade considerável de sistemas de apoio à exploração para a área de transporte público de passageiros.

Numa altura em que o principal objeto de estudo não passa já por obter informações dos sistemas de transportes de passageiros, mas sim integrá-los de forma a poder oferecer ao cliente um serviço de planeamento de viagens através de diferentes operadores [7] [8] [9] [10], que pode incluir serviços como a comparação tarifas, horários, serviços disponibilizados. No entanto, ainda existem muitos operadores de transportes públicos que não têm capacidade para adquirir os atuais sistemas de SAEIP, quer pela infraestrutura técnica que este tipo de serviços exige, quer pela impossibilidade de suportar os custos de aquisição e de manutenção destes serviços.

As soluções mais completas existentes no mercado destacam-se pela sua qualidade e pelas garantias de serviço que oferecem, para além dos custos de aquisição associados. As soluções com menores custos associados destacam-se pelo seu preço acessível mas também pela falta de serviços disponíveis, o que se traduz na impossibilidade de escalabilidade e de integração com outros sistemas e conseqüentemente de acompanhar o possível crescimento da empresa.

Assim, pretende-se com este documento propor uma solução escalável, modular, integrando diversos módulos consoante as necessidades e capacidades do operador, capaz de satisfazer as necessidades das empresas mais pequenas, mas sendo escalável e aplicável em cenários de grande dimensão.

De forma a garantir a escalabilidade e a integração modular pretendida, a solução apresentada baseia-se numa arquitetura típica cliente-servidor, em que o servidor será o componente responsável por garantir os meios de comunicação entre os diversos componentes externos para aquisição e disponibilização de dados, bem como pelo processamento e armazenamento de dados.



**Figura 7 – Componentes de interação do sistema SITREPA**

Os componentes representados na Figura 7, interagem com o servidor SITREPA e têm como objetivo a aquisição ou a disponibilização de dados para os diferentes perfis de utilizadores que se aplicam a este sistema.

### 3.1 Responsabilidade social

O cidadão com deficiência sempre foi excluído por grande parte da sociedade. Ou porque as pessoas sem deficiência não sabem como abordar o assunto e preferem ignorar os problemas, ou porque as infraestruturas quando são planeadas não têm em conta as pessoas com esta característica, ou ainda pelos custos de adaptação das estruturas existentes.

A Europa [49], e a sociedade Portuguesa em concreto, estão a esforçar-se para que a

inclusão de pessoas com deficiência seja uma realidade cada vez mais presente, quer através de programas de apoio e financiamento para qualificação e empregabilidade [50], quer para o desenvolvimento de soluções que contemplem as necessidades deste tipo de cidadãos.

As principais empresas de transportes públicos estão também atentas à questão da inclusão e de disponibilizar o seu serviço a todos os cidadãos, implementando medidas como redes de transportes dedicadas a pessoas com deficiência. Nestes veículos são instaladas portas especiais, rampas ou elevadores para pessoas com mobilidade reduzida, até mesmo adaptando as formas de disponibilizar informação aos passageiros como a utilização de símbolos que representam cores para a leitura da informação por pessoas com daltonismo.

Também o Instituto Politécnico de Leiria, com a sua iniciativa “IPL (+) inclusivo” [51], pretende sensibilizar toda a sua comunidade académica e todos os que interagem direta ou indiretamente com esta instituição, que a responsabilidade da inclusão social é de todos. Para isso, está atualmente a desenvolver um conjunto de iniciativas que permite fornecer ferramentas para facilitar esta tarefa humana da inclusão social.

Cabe-nos também a nós, investigadores que estamos na origem de muitas ferramentas e serviços, perceber e conhecer as necessidades de pessoas com deficiência e desenvolver soluções que estejam ao alcance de todos e não só de alguns.

Com este sentido, a área de intervenção proposta neste documento pode ter um papel importante para que cidadãos com deficiências auditivas ou visuais utilizem o serviço de transportes públicos de forma autónoma. A principal medida que foi identificada junto de indivíduos com problemas visuais é apenas que a informação disponibilizada ao utilizador deverá ser disponibilizada sempre graficamente e em formato áudio.

Apenas uma medida relativamente simples, poderá facilitar a vida de muitos cidadãos com deficiência na utilização do sistema de transportes públicos.

### **3.2 Identificação de intervenientes**

De seguida nesta secção, são identificados os principais interessados de um sistema de transportes públicos e as suas principais necessidades.

Com o objetivo de conhecer melhor um sistema de transportes públicos, para além da documentação consultada, ocorreram também algumas consultas com profissionais ligados ao setor dos transportes de passageiros, bem como de utilizadores. Como resultado da análise de documentação e destas informações, foram identificados grupos intervenientes com necessidades distintas, mas muito importantes.

### ***3.2.1 Passageiro***

O principal grupo identificado com necessidade de informação são os próprios passageiros. A possibilidade de os passageiros obterem informação rigorosa, atempada e em qualquer lugar, começa agora a deixar de ser um serviço inovador para ser um serviço obrigatório e regular. Em muitos sistemas existentes a informação chega ao passageiro através de diversas formas, através de painéis informativos de texto dinâmico e áudio nas paragens, através da internet, através de serviços de comunicação móvel (SMS), através de aplicações para smartphones e tablets, quiosques informativos, etc. Os principais dados a que o passageiro pretende um acesso privilegiado são os horários e os percursos que os transportes realizam. A disponibilização desta informação ao passageiro permite-lhe controlar e planear com muito mais rigor a sua própria vida e as suas rotinas, elevando assim o grau de fiabilidade nos serviços de transportes públicos.

### ***3.2.2 Centro de controlo***

Os operadores do centro de controlo são responsáveis pela monitorização do serviço e por garantir que toda a rede de transporte está a funcionar em conformidade e por minimizar os efeitos do trânsito, avarias, acidentes, etc. Para este grupo foi identificado que é fundamental ter o conhecimento atempado de todos os fatores que influenciam o bom funcionamento do serviço. O estado do veículo, a constante atualização da posição do veículo relativamente à esperada na rota, o estado do trânsito, o conhecimento instantâneo de avarias, acidentes ou outros incidentes (roubo, agressão, etc.), são dados fundamentais que se forem conhecidos em tempo real permitem a estes profissionais agirem de imediato, aumentando a qualidade do serviço prestado.

Na grande maioria dos casos, também é este grupo de utilizadores que efetua a configuração de dados dos veículos, motoristas, gere os dados de percursos, etc.

### ***3.2.3 Motoristas***

Junto de alguns motoristas de diferentes empresas, verificou-se que existe um défice de comunicação entre o veículo e os centros de controlo do serviço. Existe um comum sentimento de insegurança e de inexistência de comunicação (mesmo apesar da existência de telemóveis). Qualquer ocorrência anómala que exista (avaria, acidente, trânsito lento, incidentes com os passageiros, etc.) apenas chega ao conhecimento do centro de controlo mais tarde, impedindo de serem acionados os meios corretos para lidar com essa mesma ocorrência atempadamente.

Também a sua segurança e a dos passageiros que transportam é sempre uma preocupação dos motoristas, procurando sempre o máximo de informação disponível nos meios que têm disponíveis para avaliar a possibilidade da existência de situações de perigo.

### ***3.2.4 Manutenção***

Os técnicos responsáveis pela manutenção dos veículos referem que atualmente existe um grande custo associado à manutenção dos veículos devido a diversos motivos, entre eles a dificuldade de previsão otimizada da necessidade de manutenção. É muito difícil prever problemas técnicos nos veículos ou o desgaste de peças, impossibilitando de preparar e planear atempadamente as manutenções dos veículos. Isto leva não só a que existam graves problemas técnicos que poderiam ser prevenidos e evitados, como também leva a que um veículo esteja parado em oficina durante um elevado intervalo de tempo devido à falta de peças específicas para a manutenção necessária. Foi identificado também que muitas vezes as afinações dos veículos se mostram desajustadas face aos percursos que estes veículos percorrem e face aos perfis de condução dos seus operadores, o que leva a um desgaste elevado e imprevisto de alguns componentes.

### ***3.2.5 Administração e planeamento***

Para além destes intervenientes, foi identificado também o grupo de planeamento e de decisão, podemos apelidar o grupo de administração do serviço. Na análise de necessidades deste grupo, chegou-se à conclusão que muitos dos planeamentos ou tomadas de decisão são baseadas em pressupostos sem informação concreta e sem um grau de

credibilidade acentuado, sentindo-se muitas vezes os administradores tentados a gerir através do método tentativa-erro.

Existe um grande conjunto de informação que este grupo necessita obter para poder tomar decisões com base em dados reais, tanto de modo a otimizar e melhorar a oferta e a qualidade do serviço prestado, como a diminuir os custos evitando despesas desnecessárias.

### **3.3 Serviços propostos**

Com base nos intervenientes identificados e na análise das suas necessidades, é possível agora identificar um conjunto de serviços que o SITREPA deve implementar de modo anular ou minimizar o mais possível o impacto destas necessidades no serviço prestado.

De seguida irão ser identificados e descritos os principais serviços a implementar, mas agora identificados pelo processo onde pretendem intervir.

#### ***3.3.1 Serviços orientados ao veículo (manutenção, controlo)***

Como já foi referido, os custos com a manutenção de veículos é atualmente bastante elevado.

Com o intuito de reduzir o tempo parado do veículo para manutenção, prevenir o desgaste imprevisto de peças, possibilitar o planeamento otimizado de manutenções, possibilitar o estudo de aplicação de peças e afinações mecânicas ajustadas aos percursos e perfis de condução dos operadores, redução de consumo de combustível e de emissão de gases poluentes, o sistema SITREPA propõe os seguintes serviços:

- Disponibilização de informação orientada ao veículo através de um *webservice* para integração com aplicações externas de gestão de frotas;
- Sistema de monitorização em tempo real de parâmetros técnicos do veículo;
- Sistema de alertas parametrizável para a identificação de possíveis anomalias nos veículos;
- Sistema de relatórios com cruzamento de informação (dados do veículo, percurso, horários, operador, perfis de condução) de modo a gerar indicadores úteis na

- tomada de decisão das configurações otimizadas do veículo;
- Sistema de configuração de leituras do dispositivo embarcado;
- Sistema de videovigilância no veículo.

### ***3.3.2 Serviços orientados ao controlo de serviço***

O controlador é o tipo de utilizador que tem de tomar as primeiras decisões com a informação que tem disponível de modo a garantir que a qualidade do serviço não é comprometida, agindo em situações de acidente ou de qualquer anomalia.

Assim, os principais pontos identificados que o sistema tem de satisfazer são a monitorização constante do estado e da localização real do veículo, face ao previsto e a comunicação com o seu operador.

Os serviços a disponibilizar pelo sistema SITREPA orientados ao gestor são:

- Sistema de monitorização e alerta do estado dos veículos;
- Sistema de monitorização da localização do veículo com ou sem enquadramento num determinado percurso, com ou sem comparação face a um horário pré-estabelecido;
- Sistema de comunicação bidirecional com o operador do veículo;
- Possibilidade de integração com serviços mecânicos, de segurança ou de emergência;
- Sistema de monitorização e configuração dos interfaces de disponibilização de informação ao público (e.g. painéis nas paragens);
- Monitorização dos sistemas de videovigilância existentes nos veículos.

Ainda na classe do controlo do serviço, existe a área de gestão administrativa e configuração do próprio SITREPA que se enquadra neste grupo. Assim, deverá existir um conjunto de serviços definidos tais como a gestão de veículos, gestão de operadores de veículos, gestão de percursos, gestão de horários e gestão de pontos de informação ao passageiro.

### ***3.3.3 Serviços orientados ao negócio***

Foram identificados alguns requisitos que dizem respeito à gestão do próprio serviço de transportes públicos.

Apesar de nesta fase do projeto não estarem identificados os indicadores de serviço a implementar, no entanto, o sistema deve disponibilizar o maior número de dados disponíveis.

Do ponto de vista económico de um serviço de transportes de passageiros, interessa registar a quantidade de pessoas que utilizam determinada carreira e obter dados sobre dos bilhetes vendidos.

Assim, o sistema prevê os seguintes serviços:

- Interface para um sistema de contagem de entrada e saída de passageiros dos veículos;
- Interface para o sistema de bilhética existente nos veículos, garantindo a transmissão dos dados adquiridos.

### ***3.3.4 Serviços orientados à administração e serviços de planeamento***

O sistema proposto pretende nesta matéria disponibilizar indicadores estatísticos que possibilitem uma correta e fundamentada tomada de decisões, de forma a otimizar o serviço disponibilizado ao passageiro.

Assim, o sistema SITREPA pretende disponibilizar um módulo para processamento de estatísticas, que de uma forma simples possibilite ao administrador gerar relatórios com a informação recebida e armazenada ao longo do tempo. Esta informação é filtrada e orientada aos objetivos específicos necessários, possibilitando a exportação dos dados para outros formatos de ficheiros.

Alguns exemplos de decisão baseados nestes relatórios são:

- Avaliação de percursos;
- Avaliação de perfis de condução;

- Adaptação de tipos de veículos ao tipo de percurso;
- Elaboração de horários otimizados;
- Elaboração de horários otimizados com base no local, altura do ano, altura do dia, média de passageiros naquele instante.

Existe já uma grande sensibilidade da maioria das empresas de transportes públicos para a necessidade de implementar sistemas de qualidade (e.g. ISO9002 [52]), onde este sistema pode ser uma ferramenta indispensável e fulcral [53], quer no planeamento e desenho de processos de negócio, quer como ferramenta para obter indicadores de avaliação desses mesmo processos.

### ***3.3.5 Serviços orientados ao passageiro***

A ideia de que os utilizadores de transportes públicos são indivíduos que não têm possibilidades de possuir um veículo próprio está cada vez menos realista. As empresas de transportes públicos têm de fornecer cada vez mais alternativas válidas aos utilizadores mais exigentes, para que a sua mobilidade seja cada vez menos comprometida por falta de informação, tanto de horários como dos locais para onde se é possível deslocar. Felizmente estas mesmas empresas têm vindo a investir nesta área, sendo onde hoje é possível ao passageiro ter acesso a informações como os horários reais dos transportes, a qualquer hora e em qualquer lugar.

Um dos pontos centrais do sistema SITREPA é a informação em tempo real ao passageiro, seja esta disponibilizada na paragem, no interior do veículo ou em outro qualquer lugar, através dos dispositivos eletrónicos pessoais dos passageiros.

Entende-se também que um dos pontos fundamentais na fase de desenho e conceção do sistema é desenvolver um sistema acessível a todos os utilizadores, tendo em consideração as dificuldades visuais e auditivas que muitos destes passageiros possam ter.

Através do cruzamento de informação sobre a localização atual do veículo, a localização prevista com base em horários pré-estabelecidos, com o histórico associado ao percurso e com eventuais fatores parametrizáveis específicos do próprio momento (e.g. atraso médio de 10 minutos em determinado intervalo do percurso por motivo de obras), é possível obter uma previsão muito realista da hora de chegada do veículo às paragens.

Esta previsão pode ser muito útil para qualquer passageiro, bem como outras mensagens informativas personalizadas pelo controlador, que podem ser disponibilizadas ao passageiro por variados meios:

- Nas paragens e estações rodoviárias, através de painéis eletrónicos dinâmicos de mensagens escritas ou através de um sistema áudio, colocado estrategicamente para o efeito.
- No interior dos veículos, através dos painéis eletrónicos e do sistema de áudio do veículo que estará integrado com o dispositivo embarcado.
- Através de serviço de SMS, onde o passageiro pode usufruir de dois serviços distintos. Um que pode questionar o sistema dos próximos horários de chegada de veículos a determinada paragem; e outro onde é possível configurar o sistema para enviar um alerta por SMS para aquele dispositivo quando faltar um determinado tempo (configurável) até um veículo chegar a determinada paragem.
- Através de aplicações para dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*), que comunicam com o sistema através de *web services* disponibilizados para o efeito.

Com o intuito de disponibilizar estes dados para a sua utilização em websites de entidades terceiras (e.g. Câmara Municipal, Portais de informação regionais, etc.), para o desenvolvimento do website do próprio serviço com a informação e para a integração com outros serviços úteis (e.g. Sistema de planeamento de transportes integrado com vários operadores), define-se também que deverá ser disponibilizado um mecanismo de acesso público a dados para simplificar a integração do serviço (e.g. *webservice*, API).

### **3.3.6 Serviços orientados ao Motorista**

O operador do veículo é o primeiro responsável pela qualidade do serviço prestado aos passageiros, e como tal, quanto maior for a informação disponibilizada, mais rápido lhe é permitido tomar decisões corretas que podem influenciar o seu desempenho. Por exemplo, se conseguir saber a tempo que houve um acidente numa determinada rua, poderá evitar essa rua e garantir que o atraso no serviço é mínimo. Se houver um problema mecânico no veículo que está a operar, e não consegue saber essa informação sem acesso aos dados mecânicos do veículo, e for informado pela central, então pode interromper de imediato a marcha e evitar despesas para entidade exploradora do transporte ou um possível acidente,

pondo em risco a integridade física dos ocupantes.

Assim, deverá existir um sistema de comunicação, escrita, áudio ou ambos, entre o motorista e o centro de controlo.

Dependendo também do custo final do produto, o serviço de comunicação por voz com a central deverá ser previsto de modo a garantir uma comunicação mais eficiente.

Também com os dados processados e armazenados, é possível efetuar estudos de perfil de condução dos operadores dos veículos e se necessário intervir, promovendo ações de formação no sentido de corrigir certos hábitos e otimizar assim o serviço.

Definem-se os seguintes serviços a implementar, orientados ao motorista:

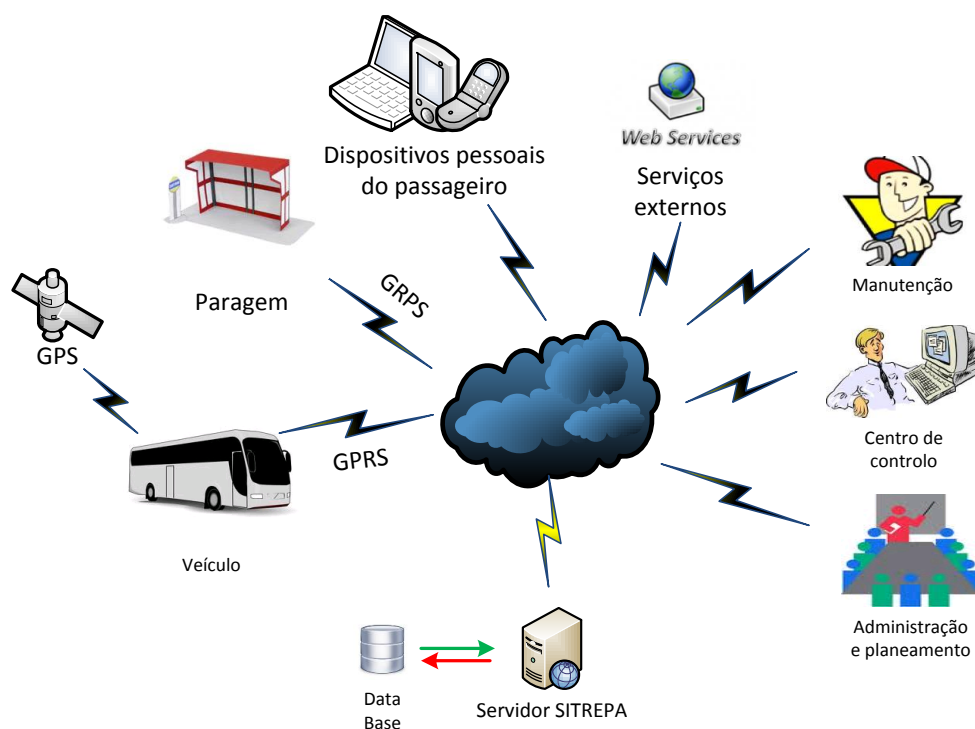
- Interface de comunicação com o centro de controlo;
- Alertas para problemas mecânicos no veículo;
- Alertas para problemas no percurso;
- Gestão dos dispositivos de disponibilização de informação embarcados (painéis, sistema de áudio, etc.);
- Acesso a alguns parâmetros de configuração do sistema embarcado;
- Interface para a sua identificação;
- Interface para despoletar um alarme dentro do veículo (e.g. caso de roubo).

### **3.4 Arquitetura do sistema**

Com o evoluir das tecnologias dos últimos anos, nomeadamente com o evoluir da computação na *Cloud* e com a disponibilização de serviços que permitem disponibilizar e parametrizar servidores de forma automática, de acordo com o número de pedidos verificado (e.g. *Windows Azure* [11] ou *Amazon Services* [12] ou ainda os serviços anunciados Sapo), é possível desenvolver agora soluções de menor envergadura e muito mais vantajosas para pequenas cidades como o caso da cidade de Leiria.

O objetivo desta solução é diminuir drasticamente o número de equipamentos fixos que são utilizados nas soluções existentes para a gestão de comunicações com os veículos, processar e armazenar a informação e canalizar a execução destas tarefas para recursos

existentes na *Cloud*, conforme ilustrado na Figura 8. Com a diminuição do número destes equipamentos é possível reduzir significativamente o custo das soluções implementadas.



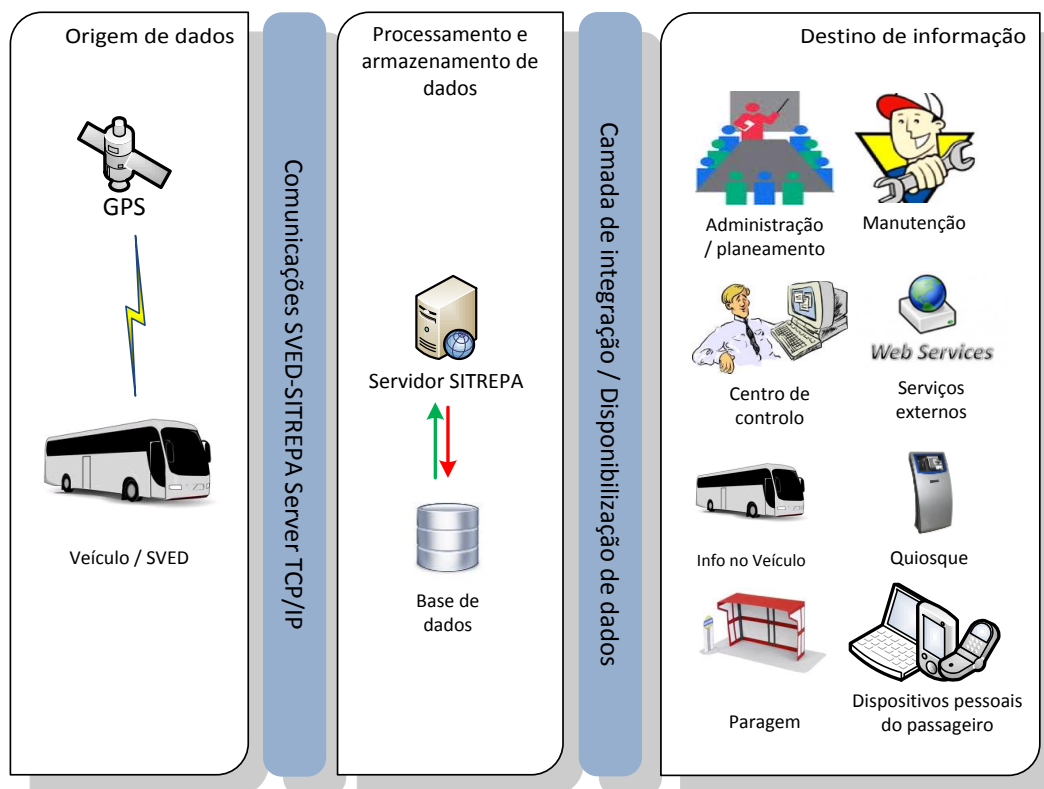
**Figura 8 – Solução proposta**

Outro custo associado que se verifica nas soluções adotadas nas grandes cidades é o necessário para a implementação e manutenção de centros de controlo e de gestão dos serviços. Para além da aquisição e manutenção de espaço e equipamentos, é também necessário ter recursos humanos constantemente presentes para a gestão do Serviço. Com a solução apresentada, o objetivo é ter acesso à gestão do serviço em um qualquer dispositivo que disponha de ligação à Internet, permitindo assim a um funcionário da empresa poder gerir remotamente o serviço.

Com estes objetivos delineados, propõe-se agora a arquitetura do sistema proposto capaz de permitir a receção dos dados dos veículos e, depois de devidamente tratados, de os disponibilizar ao utilizador final.

O sistema SITREPA proposto baseia-se num conjunto de módulos distintos, com o objetivo de em conjunto disponibilizarem informação importante a todos os interessados envolvidos na área dos transportes públicos.

De uma forma simplista, propõe-se um sistema composto por um servidor que recebe processa e armazena esses dados, e que distribui a informação tratada e filtrada pelos vários atores. Para cada grupo de utilizadores identificados existirá um ou mais módulos específicos para que a informação disponibilizada seja tratada e apresentada em conformidade com as suas necessidades.



**Figura 9- Arquitetura da solução proposta**

Os dados deverão ser adquiridos através de um dispositivo embarcado nos veículos, transmitidos para o servidor em tempo real e, após serem devidamente processados, disponibilizados aos diversos intervenientes conforme ilustrado na Figura 9.

O sistema proposto é composto por um conjunto de componentes, que em conjunto pretendem implementar os serviços atrás analisados e assim solucionar as necessidades levantadas. São eles:

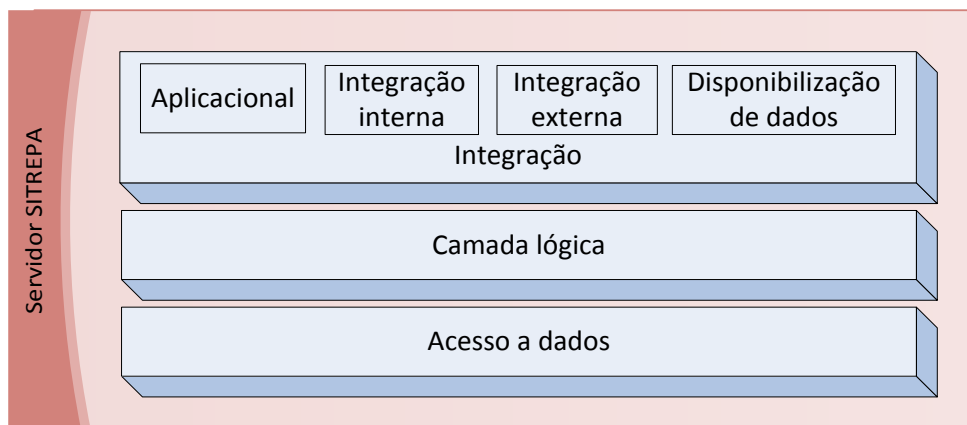
- Servidor SITREPA
- Dispositivo SITREPA embarcado no veículo
- Paragem com painel de informação ao passageiro

- Aplicações e serviços de informação ao passageiro
- Aplicações SITREPA
- Integração de serviços

Nas secções seguintes, são analisados os componentes identificados e definidas as suas principais características, bem como as funcionalidades a implementar.

### 3.4.1 Servidor SITREPA

O sistema central de gestão do sistema SITREPA é composto por um servidor com a capacidade de processar e armazenar dados, com características de comunicação e integração com sistemas externos. O servidor SITREPA obedece a uma arquitetura de desenvolvimento baseado em três camadas distintas: a camada de acesso a dados, a camada lógica e camada de integração.



**Figura 10 - Arquitetura do Servidor SITREPA**

A arquitetura proposta para o SITREPA tem como base o conceito de desenvolvimento de *software* SOA (*Service-Oriented Architecture*) [54]. A arquitetura SOA baseia-se nos princípios da computação distribuída e pretende disponibilizar interfaces de acesso a dados para as diferentes aplicações (ou serviços), onde o modelo de dados é estruturado como um só, garantindo assim uma maior coerência e qualidade dos dados armazenados.

Para além da componente técnica, o SOA implementa um conjunto de boas práticas de desenvolvimento (também conhecidos por padrões de desenvolvimento) de *software* para muitos problemas mais complexos [55].

### **3.4.1.1 Camada de Acesso a Dados**

A camada de acesso a dados implementa a interação com o SGBD (Sistema de Gestão de Base de Dados) e implementa todas as transações de dados efetuadas no sistema. Esta camada é responsável por garantir operações de leitura e escrita de dados na Base de Dados de uma forma responsável, para que não comprometa a integridade do sistema.

### **3.4.1.2 Camada Lógica**

A camada lógica deverá implementar todas as regras e procedimentos levantados para o SITREPA. Esta camada será responsável por interpretar os dados recebidos das diversas fontes, proceder ao seu tratamento e armazenamento.

É também nesta camada que serão implementados os mecanismos de previsão de horários em tempo real, sistemas de alertas a motoristas e controladores, sistemas de análise de dados para a extração de indicadores de negócio, atualização das diversas interfaces de dados com informação atualizada, entre outros.

### **3.4.1.3 Camada de integração**

A camada de integração é a camada onde serão implementados os interfaces de comunicação entre o Servidor e todos os componentes externos identificados até agora.

Esta camada encontra-se dividida em três subcamadas distintas, que se diferenciam pelas funcionalidades implementadas, tecnologias utilizadas e tipo de informação partilhada.

- **Integração interna**

Com a camada de integração interna, pretende-se definir a interface de integração dos dispositivos SITREPA com o servidor, a saber, o dispositivo SITREPA embarcado no veículo e os painéis informativos existentes nas paragens de autocarro. A comunicação destes dois tipos de dispositivos com o servidor será garantida através do protocolo de comunicação TCP [56]. O protocolo TCP implementa um conjunto de medidas que lhe confere a robustez e segurança necessária a um sistema desta natureza, garantindo a segmentação, a entrega ordenada dos pacotes, o controlo de congestão e integridade dos dados recebidos, entre outros.

O servidor implementará um servidor de *sockets* TCP que permitirá a transferência de dados entre este e o dispositivo. Os dispositivos e o servidor partilharão de um protocolo estabelecido internamente para a troca de dados.

- **Integração externa**

A subcamada de integração externa pretende servir de base à implementação da integração com serviços já existentes, que vão ser consumidos pelo SITREPA (e.g. serviços *web* disponibilizando o histórico e a previsão meteorológica; calendário com a indicação de feriados e eventos regionais; *feed* de notícias para disponibilizar nos painéis informativos).

- **Disponibilização de dados**

Com esta camada, pretende-se implementar uma estrutura para disponibilização de dados sobre o serviço para que outros serviços/aplicações possam consumir estes dados e assim os disponibilizar ao cliente (e.g. aplicações de *smartphones/tablet*, páginas *web* externas que pretendam disponibilizar horários reais e monitorização da localização em tempo real dos veículos e quiosques públicos que pretendam também disponibilizar esta informação).

Para isso pretende-se criar serviços *web* para a disponibilização de dados.

- **Aplicacional**

Finalmente, a subcamada aplicacional pretende implementar uma interface de dados para a integração das aplicações do sistema SITREPA.

O acesso a dados por parte de aplicações deverá ser centralizado e efetuada a partir desta interface, de modo a ser possível monitorizar todos os movimentos e implementar um sistema de *logging* das transações efetuadas (aplicação de gestão de percursos, gestão de veículos, aplicação de dispositivo móvel de configuração e diagnóstico de dispositivos embarcados nos veículos, aplicação de configuração e diagnóstico de painéis informativos, etc.).

A subcamada aplicacional deverá também implementar o sistema de alertas SITREPA definido também neste documento.

### **3.4.2 Dispositivo SITREPA embarcado no veículo**

Para que a informação chegue a todos os seus interessados, será necessário proceder-se à recolha e tratamento de dados provenientes de diversas fontes, nomeadamente dos veículos

que prestam o serviço aos utentes.

Nesta secção serão descritas as funcionalidades que o dispositivo embarcado no veículo deverá implementar.

A partir da análise de soluções já existentes, da análise das necessidades identificadas e dos serviços propostos, a partir da análise efetuada à tecnologia que existe relativamente à aquisição de dados e a partir de levantamento de requisitos com os próprios operadores de serviço, foram definidas as funcionalidades a implementar, bem como algumas abordagens a seguir no desenvolvimento do dispositivo embarcado.

O dispositivo embarcado, de agora em diante denominado por *SITREPA Vehicle Embedded Device* (SVED), é o dispositivo responsável por gerir todos os periféricos existentes no interior do veículo que interagem com o SITREPA, bem como o responsável por garantir a comunicação entre o veículo e o servidor SITREPA.

De seguida irão ser analisadas as funcionalidades que devem ser implementadas no SVED e os diversos dispositivos integrados que devem ser instalados no veículo para satisfazer as necessidades identificadas, descritas com diferenciadas pelas seguintes áreas: aquisição de dados, informação ao utilizador, comunicação e interação com o motorista.

#### **3.4.2.1 Aquisição de dados**

O dispositivo a desenvolver deverá ter a capacidade de adquirir dados provenientes do veículo. Estes dados poderão ser dados físicos, de movimento do veículo, dados mecânicos, do funcionamento do próprio veículo, dados de exploração do negócio e dados referentes à segurança dos passageiros.

- **Movimentos/Forças (acelerómetro)**

Com o objetivo de traçar perfis de condução, gerar alarmes de acidente [57], configurar veículos de acordo com as características de um percurso, traçar perfis de consumos dos veículos com base nos movimentos, pretende-se que o SVED utilize um sensor capaz de medir os movimentos ou forças a que o veículo está sujeito num determinado momento. Pela tecnologia analisada em outras soluções existentes, verifica-se que a melhor abordagem a seguir será a implementação de

um sensor baseado em acelerómetro tri-axial.

- **Localização**

A localização em tempo real do veículo é um dado fundamental para os principais objetivos a que esta solução se propõe, propondo-se para o efeito a tecnologia GPS. Esta tecnologia disponibiliza um conjunto de características, que lhe conferem a precisão suficiente para o sistema proposto, e identifica-se também como a solução de localização de veículos com a melhor relação custo/eficácia existente atualmente no mercado.

A principal desvantagem desta solução é que existe a possibilidade de falhar a cobertura ou de existirem sinais refletidos que corrompam o sinal de GPS.

Para isso, se em ambiente de testes se verificar que esta situação é frequente e que compromete o sistema, poderão ser implementadas metodologias já identificadas para que os dados continuem a ser obtidos corretamente. Partindo do princípio que estas situações ocorreram de forma temporária e durante curtos períodos de tempo, e com base nos sensores já previstos para instalação no SVED, a localização pode ainda ser obtida através de um algoritmo que conjuga os dados do já mencionado acelerómetro e do odómetro presente no veículo, i.e. sistemas *dead-reckoning* [41] [43] [58].

- **Dados técnicos do veículo**

Os dados mecânicos do veículo são de extrema importância para a qualidade final de um SAE. Com dados técnicos de veículo é possível antecipar problemas mecânicos, agendar manutenções com base em dados reais e não apenas nas periodicidades teóricas previstas, conjugar a informação com as localizações, acelerómetro, motorista e período de forma a obter dados estatísticos de consumos, emissões, perfil de condução, etc.

Estes dados existem já na maioria dos veículos através de sensores instalados de origem e estão disponíveis no seu computador de bordo (ECU), pelo que não é necessário instalar mais sensores, mas sim obter esses dados do veículo.

- **RFID**

A identificação por rádio frequência (RFID) é uma tecnologia que está atualmente a ser utilizada em muitos serviços como identificação de utilizadores. Nos transportes públicos não é diferente, em muitas empresas, em particular portuguesas, estão já a

equipar os seus sistemas de bilhética com tecnologia sem contacto. Na verdade os bilhetes e os passes passam a conter uma *tag* RFID que identifica o utilizador perante o sistema.

A tecnologia a utilizar nestes dispositivos deverá depender dos contratos mais vantajosos ou ainda das necessidades do cliente. Com base na pesquisa efetuada em relação a este tema [59], verifica-se que a tecnologia CALYPSO [60] está a ser implementada cada vez com mais frequência nos transportes públicos. O facto de esta tecnologia ter por definição a integração direta com a tecnologia NFC, muito presente agora nos dispositivos móveis, pode ser uma grande mais-valia para que a escolha recaia sobre esta tecnologia.

Este dispositivo de interface RFID de leitura e escrita (pois muitos sistemas de bilhética escrevem diretamente no cartão do passageiro) pode ser utilizada no sistema de bilhética, através da identificação de passes e bilhetes, e para identificação do motorista que efetuará o serviço.

- **Videovigilância**

A segurança dos passageiros é um dos principais aspectos em que todos os operadores de transportes públicos devem apostar. Existe a clara noção que em muitas cidades provavelmente o índice de criminalidade não é justificativo para que os operadores invistam num sistema de videovigilância.

Hoje em dia, com o aparecimento de câmaras IP de baixo custo, a implementação de um sistema de videovigilância num veículo poderá ser economicamente mais acessível, passando agora o maior esforço para tarefas como o armazenamento das imagens e a sua transmissão para o servidor.

A nova rede de banda larga 4G (LTE) pode ajudar a resolver esta questão, mas pode não justificar os custos de instalação e manutenção da rede, devendo ser uma funcionalidade à medida do cliente.

Em algumas cidades, onde o índice de criminalidade é maior, um sistema de videovigilância começa a ser fundamental para prevenir a segurança dos passageiros, enquanto estes se encontram no interior dos veículos.

- **Contagem Passageiros**

A contagem de passageiros que saem e entram em determinada paragem é muito importante para efetuar um planeamento e escalonamento dos meios no terreno, de

acordo com as necessidades reais da população.

Neste caso, existem algumas soluções como as que já foram abordadas anteriormente.

Nesta solução são propostos dois sistemas, um ou outro dependendo se o operador optou por ter um sistema de videovigilância ou não.

No caso de o veículo ter instalado uma câmara no veículo, esta poderá captar imagens do interior do veículo num determinado momento, sobre os quais serão aplicados algoritmos [61], que possibilitarão a contagem de passageiros existentes no interior do veículo.



**Figura 11 - Solução de contagem de passageiros da Infotron**

No caso de não existirem câmaras de vigilância, poderá recorrer-se a dispositivos específicos que efetuam esta tarefa, não sendo o seu custo muito elevado [62] e os resultados bastante apelativos [63]. Esta solução é mais vantajosa em detrimento das soluções de contagem de passagem de cartões RFID (que pode não se verificar sempre) ou dos antigos controlos mecânicos de difícil instalação e de manutenção elevada.

- **Dados do sistema de bilhética**

O objeto comercial dos transportes públicos passa pela venda de títulos de transporte (sejam passes, passes sociais, bilhetes pré-comprados, bilhetes adquiridos junto do motorista, etc.), títulos estes que são também a principal fonte de dados contabilísticos para a avaliação da rentabilidade de um sistema de transportes públicos. Existem já alguns sistemas de bilhética automáticos no mercado, que permitem a realização da venda de bilhetes no veículo. No final do

dia ou da carreira, estes levam todo o equipamento para a central onde os dados são descarregados para um servidor e é feita a verificação das receitas, de acordo com a informação descarregada [64].



**Figura 12 –Wayfarer: Sistema de Bilhética muito utilizado em Portugal**

Com o aparecimento dos sistemas de informação em tempo real e com diferentes formas de comunicar com os veículos, começou a não fazer sentido a movimentação de equipamentos de bilhética, que muitas vezes são pesados e suscetíveis a danos devido ao transporte inadequado. Assim, pretende-se através das interfaces disponíveis nos equipamentos existentes de bilhética, integrar com o SVED, para que os dados sejam enviados para o sistema central sem qualquer movimentação de equipamentos.

### **3.4.2.2 Informação ao utilizador**

Como já foi analisado anteriormente, a informação útil disponibilizada ao passageiro é bastante importante para o seu conforto e para a própria utilização do serviço. No interior de veículo, esta informação não deve ser descurada.

O veículo é um meio controlado pela empresa, onde a possibilidade de disponibilizar informação ao passageiro não é tão dispendiosa como criar infraestruturas de raiz para esse fim. Muitos dos elementos já existentes no veículo (ou instalados com o próprio SVED) podem ser aproveitados para que a interação com o cliente seja melhorada.

Para isso, o SVED pretende implementar as tecnologias necessárias para a integração com:

- **Painéis de texto dinâmico** (tipicamente painéis de LED)

Na grande maioria dos casos, os veículos possuem um painel na parte frontal do veículo virados para o exterior. No entanto, como já existe em alguns operadores, esta solução prevê também a instalação de painéis para o exterior do veículo na parte lateral na zona das portas de entrada e um painel mais pequeno na parte traseira do veículo, apenas indicando o número ou cor do percurso efetuado.

Estes painéis deverão mostrar o nome do percurso realizado pelo veículo, o nome da última paragem do veículo, caso se pretenda, mensagens personalizadas (e.g. Feliz Natal; Viage conosco).

Também no interior do veículo deverá existir um painel para informação ao passageiro, onde lhe será possível visualizar o nome do percurso ou a paragem final, a próxima paragem e o tempo que falta para chegar a essa paragem.

A opção do painel interno é bastante importante para os passageiros, disponibilizando de forma constante informação útil.

Esta será a opção para um sistema de baixo-custo, podendo, com a vontade dos operadores, passar de painéis de LED para sistemas de vídeo no interior dos veículos, eventualmente explorando um canal de vídeo interno e explorando as receitas de publicidade existente nesse serviço [65].

- **Sistema de áudio**

Na sua grande maioria, os veículos de transporte de passageiros têm instalados de origem um sistema de áudio interno. Normalmente, este sistema de áudio é composto por um comum rádio FM e um microfone, que pode estar ligado ao sistema de som de um eventual televisor, que reproduz o som através de colunas instaladas ao longo de todo o veículo.

A presente solução propõe a implementação um sistema de informação integrado com este sistema áudio, de modo a que seja possível também reproduzir a informação aos clientes sob a forma de som. Quer o nome do percurso, o nome da próxima paragem ou mesmo o tempo que falta até chegar à paragem podem ser previamente gravados ou sintetizados e carregados na memória do SVED. De acordo com a localização e informação sobre o percurso previamente conhecida, o dispositivo despoleta a reprodução destes ficheiros no sistema áudio do veículo.

Deverá também ser possível a reprodução de mensagens personalizadas (ficheiros

previamente gravados também) a partir do dispositivo.

De encontro ao que foi já referido, este serviço é também de extrema importância para pessoas com deficiência visual, aumentando assim a possibilidade de pessoas clientes com estas características, utilizarem o serviço de forma autónoma.

### **3.4.2.3 Comunicação**

Para que o SVED cumpra os seus objetivos de controlar um conjunto de periféricos, terá de implementar os protocolos de comunicação existentes nesses periféricos.

Consoante as tecnologias e dispositivos selecionados na fase de implementação, terá de se garantir que o SVED disponibiliza uma grande variedade de protocolos de comunicação.

Para além de protocolos mais específicos de integração (e.g. RS232, RS485), o SVED deverá também ter em consideração tecnologias como o *Wi-Fi* e o *Bluetooth*.

As necessidades de comunicação não se centralizam apenas no interior do veículo, mas também na necessidade de comunicar com o servidor SITREPA.

Após a análise da tecnologia disponível na área das comunicações sem fios de longa distância, conclui-se que, atualmente, a solução ideal para uma solução de custo acessível é a implementação da tecnologia GSM/GPRS nos SVED. É uma tecnologia disponibilizada por todos os operadores de comunicações móveis com preços acessíveis, a disponibilidade e a largura de banda disponível é suficiente para a quantidade de dados transferida na solução proposta. Apesar de existirem soluções mais fiáveis e que oferecem maior largura de banda, o custo de desenvolvimento e manutenção desse tipo de tecnologias é bem mais elevado.

O *Wi-Fi* deverá ser uma tecnologia a ter em conta no desenvolvimento do SVED, para que seja possível a comunicação de dispositivos móveis do passageiro diretamente com o veículo. Esta integração permite serviços como a partilha do serviço de Internet, partilha de informação turística e partilha de informação relacionada com o serviço (horários, atrasos, informações úteis, preços).

O *Wi-Fi* também deverá ser contemplado como meio de comunicação entre o veículo e o servidor SITREPA. A videovigilância, o sensor acelerómetro e a ECU, são as fontes de

dados de onde se prevê que sejam originados o maior volume de dados. Os dados que não são críticos para as tarefas executadas em tempo-real, poderão ser transferidas para o servidor mais tarde quando o veículo se encontrar no alcance de redes Wi-Fi conhecidas.

#### **3.4.2.4 Interação com o motorista**

O motorista tem um papel fundamental no serviço de transportes públicos. Para além de ter o peso da responsabilidade de garantir a segurança e o conforto dos passageiros durante o percurso, deve ter também a responsabilidade de assegurar que todos os serviços a bordo do veículo devem funcionar conforme estipulado.

O SVED é uma ferramenta bastante importante para auxiliar o motorista nestas funções, disponibilizando funcionalidades como as enumeradas na secção de proposta de serviços.

Com base nesta mesma análise de serviços propostos, a presente solução define que:

- Deverá existir uma consola, onde o motorista terá acesso a funcionalidades de comunicação e de gestão;
- Deverá existir um dispositivo de comunicação áudio em tempo real com o centro de controlo (deverá ser uma opção de acordo com a necessidade do cliente, que pode elevar os custos de desenvolvimento e manutenção do serviço);
- Deverá ser possível identificar o motorista a partir de um cartão RFID (Integração do leitor RFID).

A consola deve ter disponível uma interface para a introdução de mensagens escritas e que permita a navegação nos *menus* desta (e.g. teclado com teclas alfanuméricas e de navegação, ecrã tátil). Deverá também disponibilizar um ecrã que permita ao utilizador visualizar as opções que tem disponíveis. A interface a implementar poderá ter como base de trabalho a consola do sistema xTraN da empresa Tecmic, presente nos sistemas SAEIP implementados em Lisboa na empresa Carris [29], no Porto na empresa STCP e no Funchal (entre outras).



**Figura 13 - Consola do sistema xTraN da empresa nacional Tecnic**

A consola deverá implementar as funcionalidades necessárias para satisfazer os serviços que foram definidos na secção de definição de serviços.

Para além da consola, do sistema RFID e do sistema de comunicação áudio, o SVED deverá disponibilizar uma forma de o motorista enviar um alerta de segurança para o centro de controlo, isto é implementar um botão de pânico. (e.g. alertar o centro de controlo para a existência de um assalto naquele momento).

Este botão para além de enviar o alerta, deverá ativar o sistema de comunicação áudio e o sistema de videovigilância e estes serem transmitidos em tempo real para o centro de controlo.

### ***3.4.3 Paragem com painel eletrónico de informação ao passageiro (SPIS)***

Quer nos meios rurais, quer em pequenas e médias cidades que não tenham ainda implementado um serviço desta natureza, os passageiros são obrigados a aguardar junto das paragens pela chegada do autocarro. Muitas vezes, quer por avaria, acidente ou outro motivo, o autocarro pode nem chegar ou chegar bastante atrasado. Atualmente as pessoas têm de esperar arriscando a sua sorte, sem terem nenhuma base para tomar uma decisão do que fazer a seguir.

Partindo do pressuposto que a grande maioria dos utentes de transportes públicos não são utilizadores de serviços de novas tecnologias de forma constante (i.e. utilizadores de dispositivos que permitem atualização de dados em mobilidade como *smartphones* e

tablets), verifica-se uma necessidade bastante elevada de disponibilizar esta informação de forma direta a todos os passageiros. É junto destas paragens que se verifica uma grande necessidade de atuar e de disponibilizar em tempo real informação útil ao passageiro.

O SITREPA define o módulo SPIS (*SITREPA Passenger Information Signpost*) como um dos mais importantes no que diz respeito à disponibilização de informação ao passageiro.

Esta informação deverá ser disponibilizada de duas formas: gráfica e áudio.

A informação gráfica deve ser visível num painel de LED que deverá indicar o(s) destino(s) que do(s) próximo(s) veículo a chegar, e qual o tempo que este demora a chegar.



**Figura 14 - Painel de informação ao passageiro da empresa Carris (Lisboa)**

O painel deverá ser instalado num local com visibilidade para os passageiros e próximo da paragem, tomando como exemplo os painéis da empresa Carris, ilustrados na Figura 14. Idealmente deverá ter tantas linhas de texto como o número de percursos que passam por esta paragem, de forma a ter sempre um percurso por linha, o que será mais acessível de memorizar para o utilizador. Deverá ainda disponibilizar mais uma linha para que seja possível disponibilizar outras informações úteis ao utilizador (e.g. avaria, atraso, serviço cancelado por acidente, amanhã greve nos transportes públicos), notícias, mensagens alusivas à época do ano (e.g. Feliz Natal) ou mesmo explorando o sistema para realizar lucros com publicidade.

Caso não seja possível implementar painéis com estas características, deverão as mensagens ser reproduzidas de forma alternada.

Como foi já referido também neste documento, um dos objetivos deste projeto é também

garantir que pessoas com deficiências auditivas e visuais utilizem o serviço de forma autónoma.

Para as pessoas com deficiência auditiva, os painéis de LED são a melhor ferramenta que poderão obter para que saibam quando chega o autocarro que pretende apanhar.

Para garantir a utilização a pessoas com deficiência visual, o SITREPA propõe também um sistema áudio embutido nos painéis. Este sistema pode ser configurado para reproduzir periodicamente a informação de acordo com o painel (e.g. a mensagem: “Próximo autocarro da linha verde, 8 minutos.”), ou então premindo um botão em local acessível para que qualquer pessoa, mesmo invisual, consiga sem esforço alcançar e premir.

Como muitas destas paragens se encontram em localizações remotas, em locais onde não existe energia elétrica disponível, deverá existir também a possibilidade de alimentar o sistema através de um painel fotovoltaico e/ou uma bateria. Este sistema permite a utilização de energias renováveis e a poupança energética, uma vez que dispensa o consumo da rede de energia elétrica pública. Os dispositivos deverão estar otimizados para a gestão de energia, implementando medidas como a regulação da luminosidade em relação à luz ambiente existente, desligando os painéis durante o tempo em que o serviço de transportes não se encontra disponível (e.g. nem todos os serviços de transporte operam durante a noite ou fins de semana).

Com a informação já analisada e com as decisões a seguir tomadas, pode-se agora definir uma arquitetura para o sistema de informação ao passageiro nas paragens de autocarro.



**Figura 15 - Arquitetura do painel informativo para paragens de autocarro**

Assim, como podemos observar na Figura 15, o sistema é composto por: componente

energética (um painel fotovoltaico, um carregador e uma bateria), memória para que seja possível armazenar a informação a disponibilizar nos painéis, os ficheiros áudio a serem reproduzidos no sistema de áudio e configurações do dispositivo (tipicamente memória *flash* incluída no dispositivo), um sistema de comunicação sem fios de longo alcance, o painel de LED para a disponibilização de informação de forma gráfica, o sistema áudio embutido para a reprodução da informação e um botão para despoletar o início da reprodução áudio da informação.

As configurações do dispositivo deverão ser efetuadas remotamente a partir da rede GSM, mas deverá também estar disponível localmente uma interface para ligar fisicamente um dispositivo para tarefas de configuração ou diagnóstico (e.g. porta USB para ligar um computador).



**Figura 16 - Proposta de implementação SPIS**

Para concluir a presente secção, mostra-se na Figura 16 uma proposta de implementação do sistema de informação a passageiros em paragens de autocarro.

#### ***3.4.4 Aplicações SITREPA***

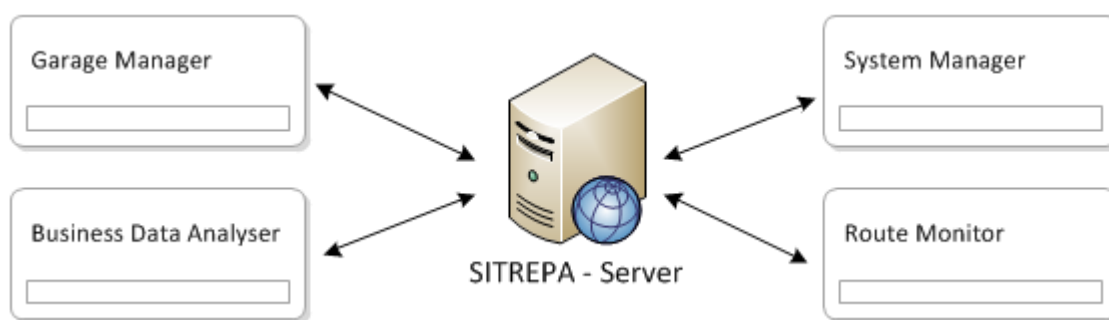
O SITREPA pretende ser um sistema o menos dependente possível do ser humano. No entanto, é sempre necessário existir um operador no centro de controlo (que já deve existir atualmente, mas sem as ferramentas mais adequadas) a monitorizar o serviço, pois é necessário que as informações relativamente a operadores, motoristas, veículos, percursos,

horários (etc...), sejam introduzidas no sistema, e que determinadas tarefas sejam executadas por alguém, para que o sistema funcione na sua plenitude.

As aplicações SITREPA têm como alvo tipos de utilizadores diferentes, com necessidades e funções diferentes, no cenário dos transportes públicos.

Existem tecnologias e metodologias que serão comuns em várias destas aplicações, mas como os objetivos de cada tipo de utilizador são distintos, entende-se que pelas características diferenciadoras se justifica existirem aplicações diferentes.

Para suprimir as diferentes necessidades e fornecer ferramentas úteis e específicas para as funções de cada tipo de utilizador, com base na identificação de *stakeholders*, a solução proposta define quatro aplicações distintas.



**Figura 17 - Módulos de *software* que integram a solução SITREPA**

De seguida serão analisadas as aplicações propostas para o SITREPA, como apresentado na Figura 17.

#### **3.4.4.1 SITREPA – Garage Manager**

A aplicação *Garage Manager* consiste numa aplicação que deverá permitir a gestão técnica da informação proveniente dos veículos. Para além da disponibilização da identificação de veículo, permite a consulta de histórico de dados técnicos do veículo, cruzando-os com dados relativos a percursos e motoristas.

O objetivo inicial desta aplicação não é criar uma aplicação de gestão de frotas que gere as manutenções e histórico do veículo, mas sim uma ferramenta que disponibilize dados estatísticos para uma melhor gestão do parque automóvel. No caso das aplicações

existentes de gestão de frotas assim o permitirem, o sistema deverá estar dimensionado para que esteja disponível a integração dos dados necessários com estas aplicações. No entanto, não é de todo descabido que como trabalho futuro esta seja uma área de desenvolvimento, pois o SITREPA disponibiliza muita informação privilegiada para este tipo de aplicações.

Um outro serviço de grande importância disponibilizado nesta aplicação consiste num modo de monitorização constante, onde se deverá poder configurar o período de leituras efetuadas, e monitorizar em tempo real determinados parâmetros do veículo, de modo a despistar eventuais problemas técnicos.

O *Garage Manager* deverá disponibilizar também um sistema de alertas. Deverá existir também a possibilidade do técnico trocar mensagens escritas com o veículo alertando para qualquer ocorrência detetada, bem como a configuração de alertas automáticos, quer para o motorista quer para o técnico de manutenção, com base em limites configurados para determinados parâmetros. O sistema de alertas será abordado mais à frente neste documento.

#### **3.4.4.2 SITREPA - Route Monitor**

O módulo *Route Monitor* pretende ser a ferramenta de monitorização em tempo real de toda a informação trocada com os diversos elementos. Esta aplicação deverá disponibilizar um conjunto de janelas, de modo a facilitar a perceção e gestão da informação.

Uma das principais janelas será a vista de mapa, através de ferramentas SIG (Sistemas de Informação Geográfica), disponibilizando-se uma representação gráfica dos percursos dos transportes, bem como a localização atual de cada veículo. Nesta janela deverá ser possível filtrar os dados representados por percursos e/ou por veículos.

Outra janela será a vista de percursos e veículos em rede (ou espinha). Cada percurso é definido por uma reta, onde estão representados todos as paragens existentes no percurso, bem como a localização atual de cada veículo relativamente ao percurso que estão a realizar.

Tanto na vista em rede como na vista de mapas, deve-se ter acesso a detalhes de cada

veículo como posição, tempo para a próxima paragem, velocidade instantânea, existência de alertas, identificação do operador, indicação da relação entre horário real e horário previsto, etc., bem como atalhos diretos para outras vistas mais detalhadas e serviços do veículo.

Também nesta aplicação, é disponibilizado ao gestor a verificação das ligações de dados existentes, bem como um histórico das comunicações efetuadas com o sistema.

Para cada veículo, o gestor deverá ter disponível um conjunto de ferramentas que lhe permita realizar tarefas, tais como visualizar alertas técnicos, alertas de segurança despoletados pelo motorista, configurar alertas, troca de mensagens escritas com o operador do veículo e possibilidade de com a aplicação *Garage Manager*, efetuar a configuração do período e do tipo de leituras a efetuar no veículo, etc.

Ainda nesta aplicação deverão ser registados períodos especiais a associar ao serviço, que poderão servir para uma melhor previsão de tempo do serviço no futuro. Com o aumento de pessoas em situação de férias, com o aumento de tráfego na cidade, verifica-se um acréscimo de tempo em determinados segmentos do percurso. Esta informação pode ser bastante útil para a previsão de tempo para a mesma data em anos posteriores.

Finalmente, o *Route Monitor* deverá implementar um módulo de gestão de ocorrências. Os incidentes/acidentes verificados nos serviços deverão ficar registados e associados ao serviço onde ocorreu. Deverá ser possível no futuro verificar se um atraso ou cancelamento de um determinado serviço teve origem em algum incidente ou acidente.

#### **3.4.4.3 SITREPA – System Manager**

O System Manager é a aplicação de gestão de informação de todo o sistema. Ao contrário dos módulos definidos até aqui, esta aplicação não pretende disponibilizar qualquer serviço de monitorização, mas sim efetuar a gestão da informação necessária e fundamental para o funcionamento de todo o sistema (típicas funcionalidades de adicionar, editar e remover). As funcionalidades a disponibilizar nesta aplicação são:

- Gestão de utilizadores (operadores das aplicações, contas de utilizador);
- Gestão de veículos;

- Gestão de dispositivos embarcados nos veículos;
- Gestão de operadores de veículos;
- Gestão de Percursos;
- Gestão de Paragens;
- Gestão de Horários Previstos;
- Gestão de Alertas;
- Configuração de dispositivos embarcados;
- Gestão de dispositivos de informação ao passageiro;
- Registo de módulos do sistema;
- Registo de aplicações externas que pretendam implementar o serviço;
- (Vão surgir mais durante o desenho e implementação do sistema).

Muito provavelmente esta ferramenta será utilizada na grande maioria das vezes pelo centro de controlo. No entanto, este pressuposto pode não se verificar, existindo assim uma aplicação de gestão de serviço independente.

#### **3.4.4.4 SITREPA - Business Data Analyser**

Finalmente, o módulo *Business Data Analyser* pretende ser uma ferramenta de apoio à decisão para os departamentos administrativos e de planeamento da entidade promotora do serviço.

A aplicação pretende disponibilizar um sistema de consultas personalizadas, disponibilizando a possibilidade de correlacionar diferentes tipos de dados, de forma a gerar relatórios sob a forma de texto, tabelas ou gráficos.

Como exemplo podemos considerar o seguinte caso de uso. Pretende-se com base em: Estação de verão; dias úteis; período das 8 às 12 horas; linha vermelha; a média de passageiros a entrar e sair do veículo em cada paragem. O resultado poderá ser uma tabela e um gráfico, cujos dados podem levar à decisão da supressão ou aumento de veículos a efetuar determinado percurso.

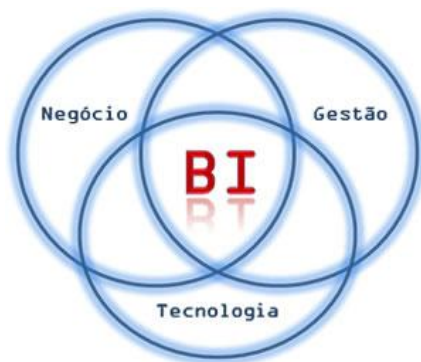
A aplicação pretende implementar um módulo de estatísticas que será descrito e planeado a seguir.

### 3.4.5 Módulo de Estatísticas

Um dos objetivos deste projeto é fornecer dados estatísticos úteis aos vários perfis de utilizadores. Como já foi referido nesta análise, deverá ser implementado um módulo de estatísticas que dará suporte à consulta de informação, necessária para a tomada de decisão, quer na aplicação direcionada para os serviços de manutenção quer para aplicação direcionada para os serviços de administração e planeamento.

É difícil definir um conjunto de consultas de dados que satisfaçam as necessidades de todos os interessados, além disso, essas necessidades vão variar com o decorrer do tempo, quer pelo reajuste das consultas existentes, quer pela introdução de novos dados no sistema, por novas abordagens de gestão, etc.

O módulo de estatísticas que esta solução propõe deve ser baseado na tecnologia de *business intelligence* [66]. Esta tecnologia permite que os dados sejam interpretados e correlacionados, de forma a sejam efetuadas consultas dinâmicas aos dados existentes, possibilitando a avaliação e ajustamento do sistema, com base em dados concretos e reais.



**Figura 18 - Business Intelligence na realidade empresarial**

Em Portugal, alguns investigadores transportam já esta solução para o ambiente dos transportes públicos, baseando o seu estudo em sistemas de transportes inteligentes (ITS) [67] [68].

Estes sistemas têm a capacidade de tratar os dados de forma a serem apresentados ao utilizador sob a forma de tabelas, gráficos, etc., disponibilizando ao utilizador uma ferramenta importante para a tomada de decisão em ambiente empresarial.

### **3.4.6 Módulo de alertas**

Para além de informação ao passageiro, o SITREPA também disponibiliza tecnologia e informação para a monitorização técnica dos veículos e do serviço.

Para que seja rentabilizada a informação, é essencial que exista um sistema de alertas transversal a todos os componentes do sistema, desde o SVED às aplicações que compõem o SITREPA.

Alguns exemplos de alerta podem ser:

- Alertas mecânicos sem necessidade de parametrização (e.g. existência de DTCs);
- Alertas mecânicos com necessidade de parametrização (e.g. temperatura do óleo do motor acima de 80°);
- Alertas de segurança quando o motorista ativa a interface (e.g. “botão de pânico”);
- Alertas de condução (e.g. excesso de velocidade);
- Alertas de serviço (e.g. atraso acima de 10 minutos de um serviço; erro no sistema de bilhética);
- Alertas do veículo (e.g. excesso de passageiros; impacto físico ou acidente).

Os alertas devem ser configurados por veículo, ou conjuntos de veículos com características idênticas) e configurados os módulos onde os alertas serão apresentados (e.g. Consola motorista; Garage Manager; Route Monitor; Serviço externo de ligação com a rede da Polícia de Segurança Pública).

Os alertas poderão ser configurados em diferentes fontes de dados ou no SVED, o mais junto da fonte possível, para sistemas de monitorização de determinado veículo.

Os alertas poderão ser também configurados no *software* SITREPA, quer através da aplicação *Garage Manager* ou *Route Monitor*, de forma a gerar alertas com base em informação, não só do veículo mas também informação externa que interfira diretamente com o desempenho do serviço.

Estes alertas com origem no *software* SITREPA, caso se justifique, deverão estar também disponíveis para serem despoletados na consola do motorista.

### **3.4.7 Integração de serviços**

Com foi previamente definido, o SITREPA assume-se como uma solução que se distingue pela quantidade e qualidade de dados que disponibiliza ao utilizador. No entanto, poderá ainda ser mais completo se existir a possibilidade de o integrar com sistemas externos (serviços de informação multioperador [8] [7], quiosques de informação, aplicações móveis, etc., aplicação de gestão de frotas, ERP, etc.).

Se determinado serviço (entenda-se serviço como o percurso efetuado em determinado dia e a determinada hora, por determinado veículo e determinado motorista) for realizado estando a chover e se se verificar que o tempo utilizado para a realização desse serviço é significativamente diferente de quando está tempo seco, então a informação do estado do tempo associada aos dados do serviço, pode ser bastante importante para a previsão do tempo que demorará o serviço a efetuar.

Este tipo de informação poderá ser introduzida manualmente ou poderá implementar-se mais sensores para tal, mas existindo já ferramentas disponíveis para aquisição desse tipo de informação, não é sensato despender recursos nessa tarefa.

O sistema de transportes públicos urbanos da cidade de Leiria é o caso de estudo para o desenvolvimento desta solução. No caso da cidade de Leiria, mais concretamente na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, existem serviços *web* que disponibilizam (podem disponibilizar) leituras das condições atmosféricas em tempo real [69].

Outro exemplo de serviços externos que o SITREPA pode utilizar, são as eventuais notícias do dia que poderão ser reproduzidas nos painéis, previsão de condições meteorológicas, etc.

A componente de informação ao utilizador do SITREPA é um dos pilares importantes deste projeto, pelo que a informação deverá estar disponível ao público de todas as formas possíveis.

Ao existirem serviços que já existem e que utilizam a informação deste tipo de sistemas e com interfaces já desenvolvidas para o efeito, será de todo o interesse do SITREPA

integrar esses serviços globais de informação ao passageiro [7] [8] [70]. A integração com esses serviços deverá também ser implementada nesta subcamada.

## 4 Solução implementada

### 4.1 Dispositivo embebido no veículo (SVED)

A aquisição de dados no sistema SITREPA efetua-se através de um dispositivo eletrónico concebido especificamente para este efeito, o já analisado SVED.

O SVED nasceu a partir de um projeto conceptual desenvolvido no âmbito de um projeto de desenvolvido em parceria com a Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria financiado pela empresa Digiwest – Wireless and Embedded Solutions Lda. de acordo com as necessidades do SITREPA. A Digiwest tem alocada uma equipa de engenheiros eletrotécnicos associada ao projeto SITREPA, permitindo assim uma excelente integração entre o *hardware* e o *software* desenvolvido, e a possibilidade de melhorar e implementar novas funcionalidades sempre que se justificar.

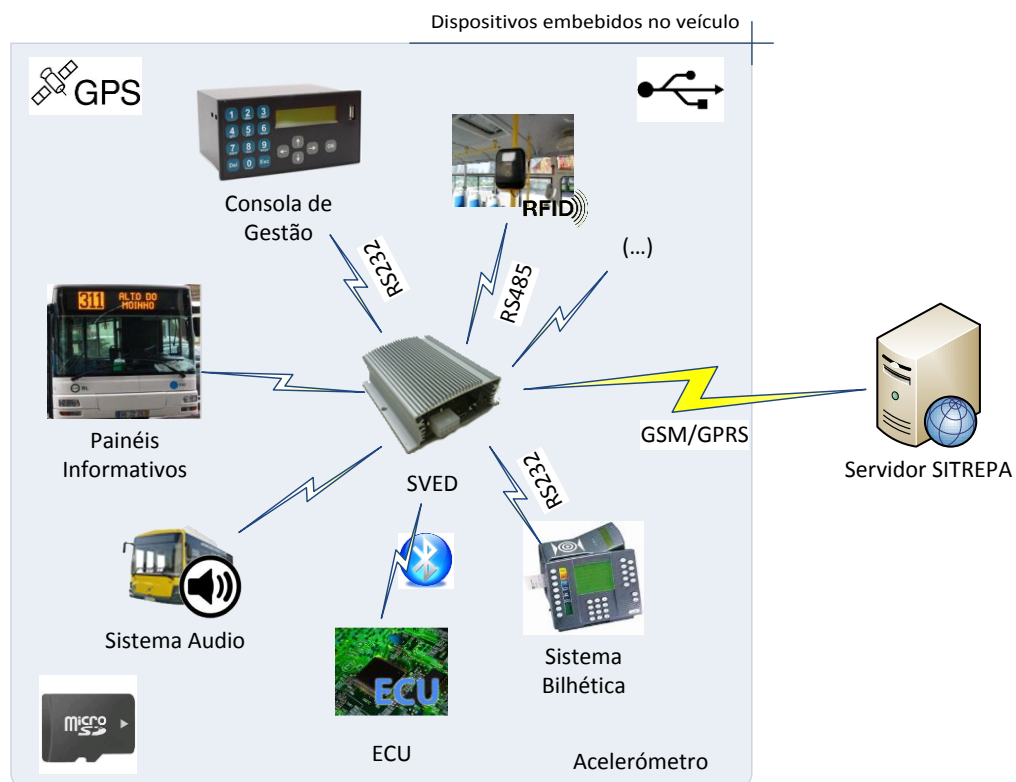
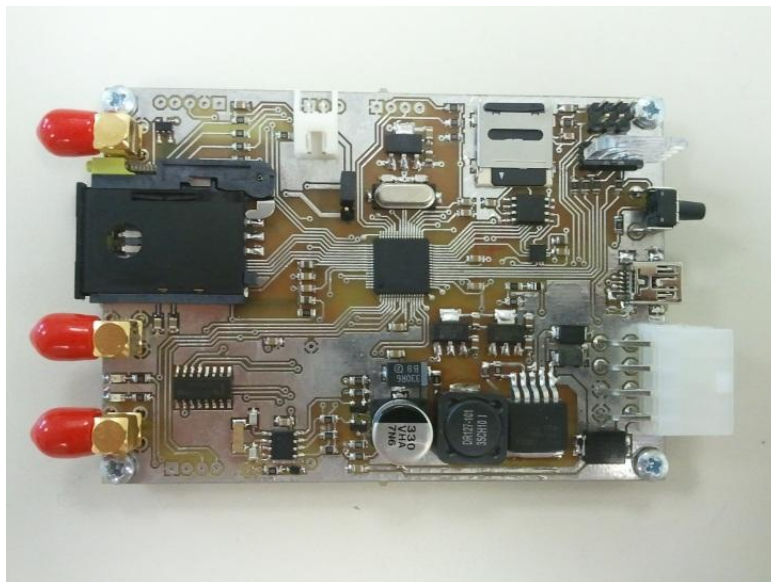


Figura 19 - Integração SVED com outros dispositivos no veículo

Tal como especificado na fase de análise, a arquitetura representada na Figura 19, prevê que este dispositivo integre várias tecnologias para efetuar funcionalidades como: aquisição e pré tratamento de dados, integração com dispositivos de interface para o utilizador, integração com o sistema principal através de tecnologias de comunicação sem fios.

A aquisição de dados é efetuada a partir de componentes eletrónicos instalados na placa do SVED e de sensores externos. A placa apresenta um grande conjunto de funcionalidades, com um ótimo desempenho, mas como se pode constatar na Figura 20, tudo assembled numa placa com um tamanho reduzido, o que facilita muito o processo de instalação no veículo.



**Figura 20 - Placa de controlo do SVED**

Perante as funcionalidades especificadas na solução proposta, o dispositivo integra um recetor de GPS para efetuar a georreferenciação do veículo.

Como meio de registar os movimentos do veículo, o SVED implementa um sensor acelerómetro tri-axial que mede nos três eixos a aceleração a que o veículo está sujeito durante o seu movimento.

O SVED tem também a capacidade de aquisição de dados em tempo real a partir da ECU dos veículos. Esta funcionalidade permite que dados como a velocidade instantânea,

consumo médio do veículo, temperatura do habitáculo, temperatura do óleo, pressão do óleo, entre outros, sejam conhecidos em tempo real.

Com este objetivo, o SVED implementa as normas SAEJ1850, ISO14230, ISO9141 e ISO15765 (CAN) e comunica com o veículo através de uma interface OBD II.

Para além dos sensores já referidos, que são direcionados principalmente para a localização e monitorização do veículo, o SVED integra um leitor RFID para proceder à identificação do motorista e também para a possibilidade de integração com os sistemas de bilhética.

Para que seja possível a utilização no sistema de monitorização da valência de informação em tempo real (e todos os custos de manutenção associados), foi integrada uma interface para cartões microSD que permite um armazenamento de informação até 32GB.

#### **4.1.1 Comunicação**

O SVED implementa diversas tecnologias que lhe dão capacidade de comunicar, quer com o servidor SITREPA quer com outros dispositivos embebidos no próprio veículo. Para a comunicação com o servidor SITREPA (i.e. para comunicações de dados sem fios de longa distância), o SVED implementa um módulo GSM/GPRS. Como já foi analisado anteriormente neste documento, apesar de existirem outras tecnologias mais seguras e fiáveis para a implementação da rede SITREPA (e.g. TETRA), a rede GSM (GPRS/UMTS) disponibiliza um serviço com boa qualidade, principalmente nos meios urbanos, a custos acessíveis. Prevê-se no entanto a evolução desta opção para a rede LTE, mas apenas quando os operadores de comunicação assegurarem uma boa cobertura geral dos espaços onde o sistema deve intervir.

No que respeita a integração com periféricos no interior do veículo, o SVED disponibiliza um conjunto de tecnologias que permite a comunicação com diferentes tipos de dispositivos, o que se traduz num produto bastante escalável.

Para estabelecer a comunicação com o leitor OBD II, o SVED implementa uma interface Bluetooth, permitindo que a localização do SVED não seja obrigatoriamente junto da porta da ECU do veículo e nem que se tenha instalar cablagem para ligação. Para comunicação com os diferentes periféricos de disponibilização de informação e para integração de

serviços terceiros (e.g. sistemas de bilhética existentes, consola, painéis informativos, etc.), o SVED implementa as interfaces RS232 e RS485.

Disponibiliza ainda uma interface disponível para uma placa de expansão onde existe disponível o controlador e interfaces áudio para integração com o sistema áudio do veículo.

Existe ainda disponível o adaptador para o cartão SIM do serviço GPS/GPRS.

#### **4.1.2 Consola**

Ao motorista do veículo é disponibilizada a interface com o sistema através de uma consola instalada no painel de veículo. A consola de gestão do veículo permite ao motorista interagir não só com o sistema SITREPA, mas com os diversos dispositivos de informação ao passageiro instalados no veículo. As principais opções disponíveis na consola são:

- Identificação do veículo na rede SITREPA;
- Identificação do percurso a realizar;
- Identificação do motorista;
- Configuração da informação a ser visualizada nos vários painéis existentes no veículo;
- Configuração do sistema de áudio;
- Modo administrador para configuração de parâmetros no SVED;
- Serviço de mensagens escritas com o operador do serviço (Mensagens pré-definidas e mensagens personalizadas);
- Acionar um sistema de alarme para reportar incidentes que não sejam detetados por outros sensores (e.g. assaltos);

Esta versão da consola de gestão, ilustrada na Figura 21, disponibiliza teclas de pressão alfanuméricas, direcionais, de confirmação, rejeição, de eliminar, e um monitor para interação com o utilizador.



**Figura 21 - Consola de Gestão SVED**

Esta consola disponibiliza também uma interface USB permitindo efetuar tarefas como:

- Carregar informação sobre os percursos (coordenadas de paragens, nome das paragens para serem visualizados nos painéis, ficheiros áudio com a indicação do nome das paragens para serem reproduzidos no sistema de áudio do veículo);
- Descarregar dados dos vários sensores existentes no veículo caso o sistema de comunicação GPRS não esteja a funcionar devidamente ou não esteja de todo ativo;
- Efetuar tarefas de diagnóstico do dispositivo;
- Configurar o dispositivo através de um computador;

#### ***4.1.3 Sistemas de informação ao passageiro***

Os dispositivos a instalar nos veículos para informação ao passageiro podem ser alterados consoante as especificações da empresa operadora do serviço, mas os dispositivos que são contemplados nesta solução são:

- Interligação do sistema de áudio do veículo com o SVED (nome da próxima paragem e eventualmente mensagens personalizadas, conforme ficheiros áudio previamente carregados e mapeados a determinada mensagem escrita);
- Painel eletrónico para informação ao passageiro no interior do veículo (próximo destino e mensagens personalizadas);
- Painel eletrónico exterior frente e lateral com mensagens (identificação do percurso, destino, possibilidade de alternar também com mensagens personalizadas);

- Painel eletrônico traseiro com a indicação do percurso que o veículo está a efetuar;

## 4.2 Painel de informação ao passageiro (SPIS)

O painel de informação ao passageiro implementado seguiu as definições previstas na solução proposta, no entanto algumas funcionalidades apenas serão implementadas quando o sistema se apresentar como uma solução comercial devido aos custos e esforço de desenvolvimento.

Assim, as funcionalidades de disponibilização de informação áudio, a alimentação através de painel solar e bateria, bem como a estrutura necessária não foram implementados neste primeiro protótipo.

O painel desenvolvido consiste num painel de LEDs da empresa Digiwest, Lda. adaptado com características de comunicação sem fios para a comunicação com o servidor SITREPA. À placa controladora do painel de LEDs inclui um módulo de comunicação GSM e foi implementado o *firmware* necessário para a comunicação entre os dois componentes do sistema.



Figura 22- Painel de LED para SPIS

Podem ser implementados diferentes painéis de acordo com as necessidades e espaços do local, o SPIS pode ser composto por dois ou mais pequenos painéis modulares como é representado na Figura 22 ou um painel grande de maiores dimensões que tem a possibilidade de se subdividir em diversas linhas de texto. Todos eles são configurados de modo a que sejam disponibilizados dois tipos de informação diferentes ao utilizador, o tempo que falta para o próximo veículo de determinado percurso chegar à paragem onde o painel se encontra configurado, e uma outra que permite disponibilizar texto definido pelo

utilizador.

### **4.3 Software SITREPA**

O *software* SITREPA definido na solução proposta é bastante complexo e envolve o estudo de bastantes tecnologias e metodologias, quer ligadas à área dos transportes quer de programação e de sistemas, que por si só se apresenta com objetivos suficientes para uma dissertação.

Assim, foram definidos objetivos para o *software* a implementar de forma a aferir o funcionamento da solução. Os objetivos definidos foram:

- Implementação de servidor de comunicações com o veículo (SVED)
- Implementação de servidor de comunicações com painéis informativos (SPIS)
- Implementação de uma aplicação que permita a consulta dos dados recebidos pelo veículo.

O *software* foi implementado com base no funcionamento do sistema Mobilis, rede de transportes urbanos da cidade de Leiria.

Para descrever o *software* implementado, é importante primeiro descrever alguns processos que o sistema SITREPA toma como pressupostos. Assim, divide-se o sistema em duas partes e analisa-se cada uma em separado: informação ao passageiro em tempo real e aquisição de dados técnicos.

#### **4.3.1 Informação ao Passageiro em tempo-real**

De modo a contextualizar o assunto, podemos começar por analisar o modelo de dados, identificando as entidades e as relações necessárias.

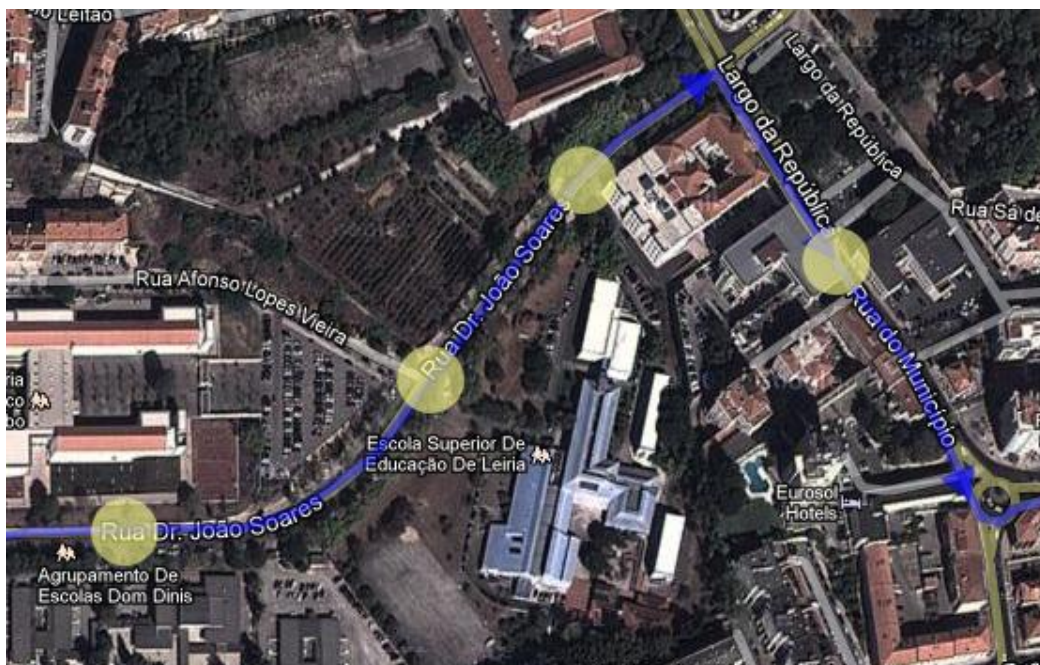
##### **4.3.1.1 Identificação de Entidades e Relações**

Uma **paragem** representa a paragem de autocarro, esta paragem contém uma descrição e está relacionada a um local. O **local** descreve as informações relativas a uma localização (localidade, rua, coordenadas GPS).

Uma **carreira** tem é composta por paragens, sendo esta associação designada por **paragemDeCarreira**. Esta entidade relaciona a paragem com a carreira e qual o seu número de ordem na carreira.

Um **ServicoCarreira** refere-se ao serviço que um **motorista** vai efetuar, relacionando a carreira, o **veículo** e o motorista com a hora e a data em que o serviço foi iniciado.

As carreiras e as paragens são pré-carregadas para os SVED existentes nos veículos, e quando o SVED deteta que entrou ou saiu de um raio definido da localização de uma paragem, envia uma mensagem ao sistema a informar que entrou/saiu da zona dessa paragem, conforme ilustrado na Figura 23.



**Figura 23 - Representação de zonas de paragem**

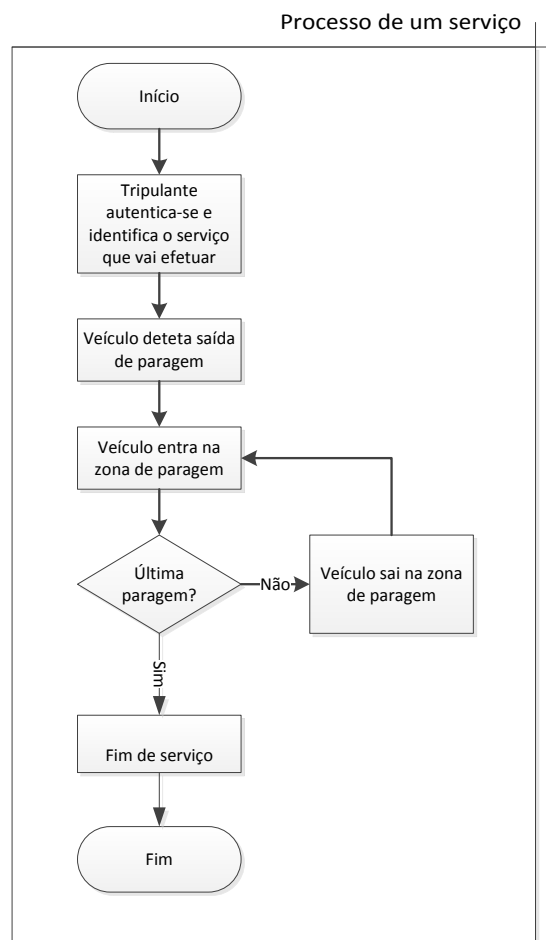
Cada **mensagem** é armazenada na base de dados, identificando se se trata da saída ou da entrada numa destas zonas, armazenando consigo também a hora e data dessa leitura e quais as suas coordenadas.

Posteriormente e periodicamente, existe um mecanismo que analisa todas as mensagens, e para cada carreira calcula uma média de tempo para a viagem entre cada paragem de uma determinada carreira, a **TTempoMediaPercurso**, e calcula também a média de tempo em que o veículo está parado em cada paragem, a **TTempoMediaParagem**.

Após a aquisição dos dados e todos os cálculos efetuados, é possível encontrar o tempo que um determinado veículo demora a chegar a uma determinada paragem numa carreira. Esse tempo é enviado e mostrado ao passageiro num painel representado como **TPainelSPIS**.

#### 4.3.1.2 Ações de um serviço

Nesta secção é descrito o processo de um serviço de transportes públicos previsto nesta implementação. As ações descritas a seguir geram mensagens que interagem com o Servidor SITREPA, representado na Figura 24.



**Figura 24 - Processo que descreve um serviço/SVED**

Um motorista ou tripulante quando chega ao seu veículo, autentica-se perante o sistema, através do cartão RFID ou através de um código introduzido na consola, e introduz também o código da carreira que vai efetuar. Esta ação faz com que o SVED envie uma mensagem ao servidor com os dados de identificação do veículo, do motorista e da carreira

a efetuar, que vai dar origem à abertura de um serviço no servidor.

Como o SVED tem previamente a informação da localização das paragens que constituem aquela carreira, assim que deteta que sai da primeira paragem envia uma mensagem ao servidor. Esta mensagem faz com que o servidor saiba que este veículo iniciou o serviço e vai despoletar a atualização da lista de veículos a efetuar este mesmo percurso.

Para cada entrada e saída de zonas das paragens seguintes, o SVED envia uma mensagem ao servidor que será registada e atualizada constantemente a lista de veículos a efetuar o percurso.

Após o veículo detetar que chegou à última paragem, envia uma mensagem ao servidor a informar que chegou à última paragem, o que despoleta o término do serviço.

Parte-se do pressuposto neste desenvolvimento, que após cada serviço, o motorista terá de iniciar todo o ciclo para iniciar um novo serviço.

#### **4.3.1.3 Modelo de dados para a funcionalidade de RTPI**

A partir da análise das entidades encontradas e das ações que foram identificadas até agora, é possível já reconhecer algumas das entidades existentes no modelo de dados direcionado para a funcionalidade de RTPI do SITREPA, representado na Figura 25. O modelo de dados associado aos dados técnicos do veículo encontra-se definido no Anexo II.

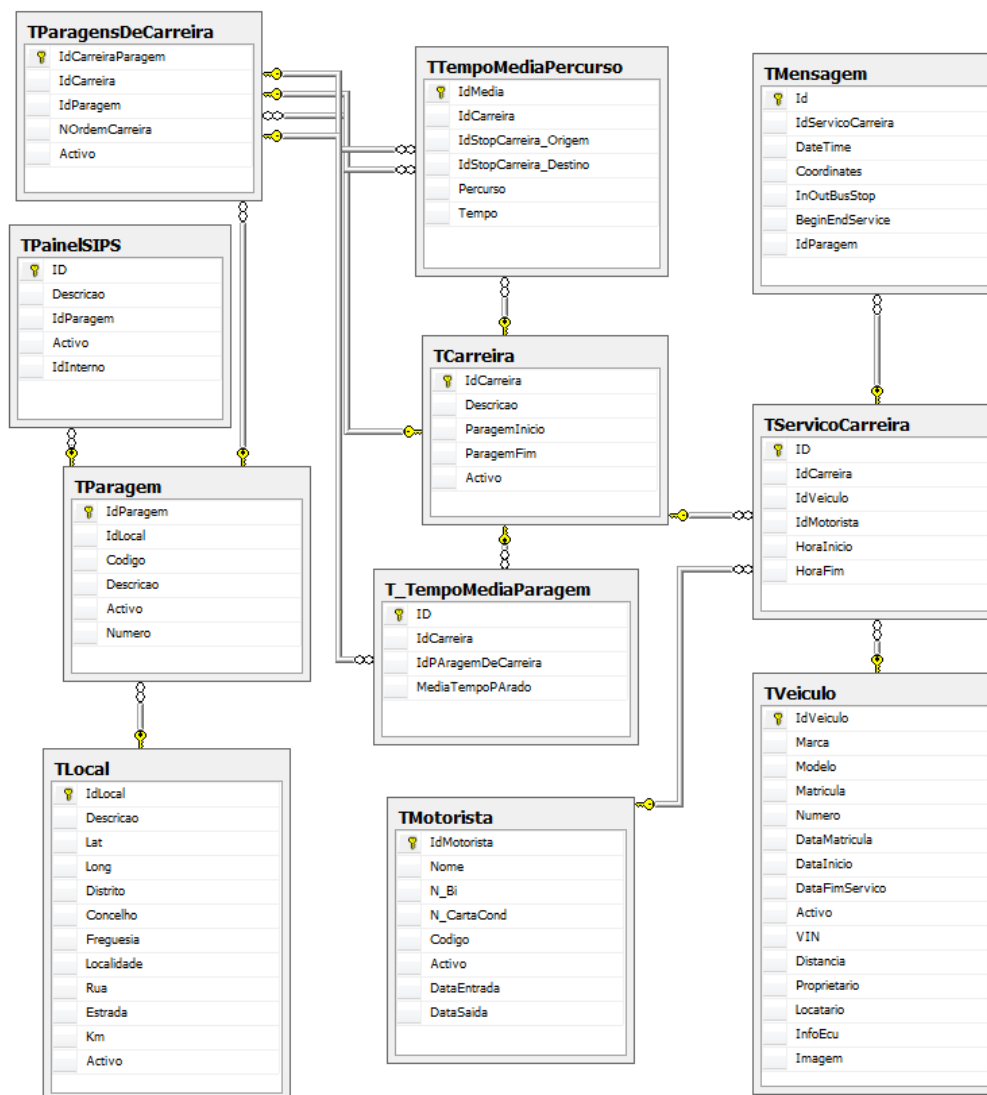


Figura 25 - Modelo de dados para a funcionalidade RTPi

#### 4.3.1.4 Processo de atualização de informação em painéis SPIS

Após existirem veículos a efetuar serviços de uma determinada carreira, o servidor SITREPA cria a referida lista de veículos que efetuam uma carreira.

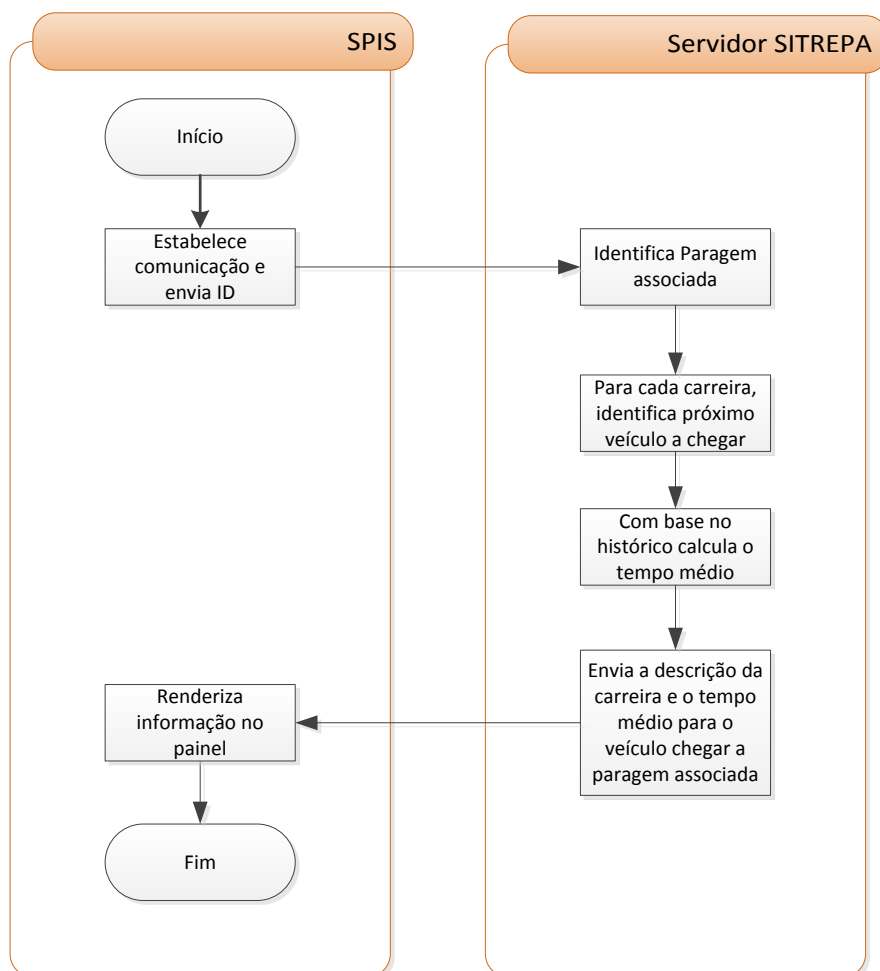
Esta lista pode facilmente ser representada como o modelo em espinha existente em muitas aplicações de monitorização de serviços, i.e. a representação de uma carreira, as suas paragens e a representação gráfica da localização dos veículos em relação à carreira, como representado na Figura 26.



**Figura 26 - Modelo em espinha representado a lista de veículos em relação a carreira**

Esta lista permite ao servidor identificar qual o próximo veículo a chegar a uma determinada paragem e efetuar um cálculo do tempo previsto de chegada.

O processo de atualização dos painéis SPIS é periódico e está descrito na Figura 27, sendo esta periodicidade configurável.



**Figura 27 - Processo de atualização de painéis SPIS**

### **4.3.2 Servidor SITREPA**

Após definidos os processos e definido o modelo de dados, implementou-se o servidor SITREPA. Esta aplicação foi desenvolvida como um serviço Windows sob a plataforma ASP.NET 4.0. O modelo de dados definido no capítulo anterior e no Anexo II foi implementado no sistema de gestão de base de dados Microsoft SQL Server 2008 R2.

O serviço Windows implementa dois sockets TCP/IP distintos, um para a comunicação com os vários dispositivos SVED e outro para os vários SPIS. Implementa também uma camada de acesso a dados, que servirá no futuro de interface entre a Base de dados e todas as aplicações que pretendam comunicar com esta.

### **4.3.3 Consulta de dados técnicos**

Para esta primeira abordagem de teste conceptual do SITREPA foi implementado um protocolo que permitiu a transmissão dos vários dados recolhidos pelos vários métodos já identificados no SVED para o servidor SITREPA.

Ao longo do desenvolvimento do SITREPA, tentou-se canalizar os esforços para um objetivo genérico e foi também desenvolvido paralelamente um Sistema de Monitorização de Veículos (SiMoVe), não só direcionado para a monitorização de dados de veículos de um sistema de transportes públicos mas para qualquer veículo em geral.

Neste contexto foram desenvolvidas duas aplicações, uma de configuração via USB do SVED, a SIMOVE\_ACD (Aplicação de Configuração e Diagnóstico), e outra para visualizar os dados recebidos pelo SVED e para efetuar configurações remotas do mesmo dispositivo, o SIMOVE\_SIGR (Sistema Integrado de Gestão Remota).

O objetivo do SIMOVE\_SIGR não é gerir o sistema de transportes públicos, mas sim poder visualizar os dados técnicos obtidos e armazenados de um determinado veículo. Como tal, esta aplicação não implementa as regras de negócio associadas aos transportes públicos como se verifica no servidor SITREPA, mas sim um sistema genérico de consulta de dados que pode ser aplicado tanto no sistema de autocarros como na monitorização de qualquer veículo.

Esta aplicação foi desenvolvida para a empresa Digiwest, Lda. onde o apoio dos seus

colaboradores na definição do protocolo de mensagens e no desenvolvimento do hardware foi fundamental para os resultados obtidos até este momento.

A análise do SIMOVE está disponível no Anexo II deste documento.

#### **4.3.4 PocketMobilis**

O projeto pocketMobilis foi desenvolvido no âmbito do projeto SITREPA no decorrer do Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel, e consiste numa aplicação móvel para *smartphones* com o sistema operativo Android, capaz de comunicar com a camada de integração prevista na secção da solução proposta deste documento (Disponibilização de dados), e disponibilizar ao utilizador informação em tempo-real do tempo até determinado veículo chegar a determinada paragem.

A aplicação disponibiliza também a localização de todas as paragens, bem como a indicação de qual se encontrava mais perto da sua localização atual (com base no sensor GPS disponível no *smartphone*). Para além disto oferece também a possibilidade de indicar o caminho que o utilizador terá de percorrer até chegar a esta mesma paragem.

A pesquisa de horários em tempo real pode ser feita com base na paragem onde se pretende apanhar o veículo, ou ainda com base na paragem de destino, onde o próprio sistema identifica qual a melhor carreira para chegar a esse destino, e informa o utilizador onde e quando deve apanhar esse veículo.

A aplicação disponibiliza ainda, se disponível, informações como o horário pré-estabelecido dos vários serviços da rede Mobilis, os tarifários em vigor e ainda a possibilidade de ler um *feed* de novidades importantes acerca do serviço Mobilis, que se definiu que são mensagens personalizadas pelo centro de controlo do serviço.

Esta aplicação foi implementada com o objetivo de poder ser integrada com o sistema SITREPA assim que este for totalmente implementado, no entanto, o pocketMobilis foi testado com recurso a um simulador deste servidor com implementação de interfaces dos serviços requeridos disponibilizando dados fictícios gerados na própria máquina.

A documentação desta aplicação encontra-se compilada sob a forma de artigo no Anexo III do presente documento.

## 5 Testes

---

### 5.1 Definição dos testes

Devido à complexidade e volume de trabalho previsto para a implementação do projeto SITREPA no âmbito deste mestrado, foram traçados os seguintes objetivos de implementação:

- Desenvolvimento de servidor SITREPA;
- Comunicação entre o SVED e o servidor SITREPA;
- Protocolo de mensagens;
- Validação do SVED em cenário real;
- Qualidade dos dados obtidos;
- Construção do modelo de dados;
- Desenvolvimento de interface de consulta de dados.

Após a definição do sistema foi necessário começar a validar as funcionalidades e as abordagens escolhidas de forma geral.

Para aferir a comunicação entre o veículo e o servidor, foi implementada parte da camada de acesso a dados e de comunicação TCP do servidor SITREPA conforme definido na solução proposta.

Os testes efetuados nesta fase de desenvolvimento pretenderam responder às seguintes questões:

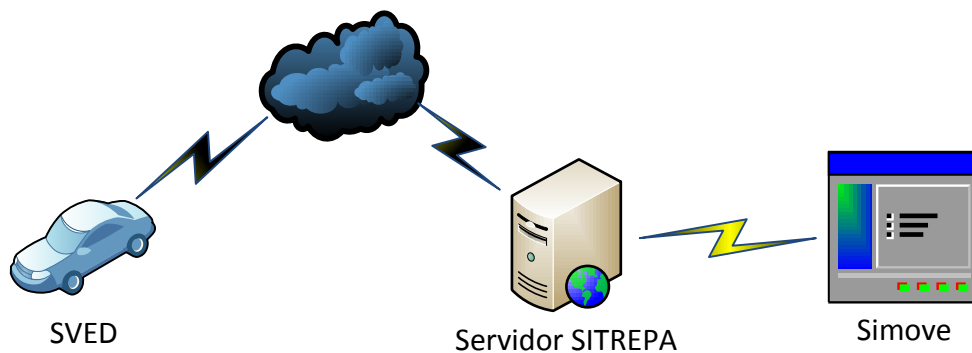
- O SVED está a recolher os dados como esperado?
- O SVED consegue efetuar comunicação com o servidor?
- Os dados estão a ser corretamente transmitidos e reconhecidos pelo servidor?
- Os dados estão a ser corretamente armazenados na Base de dados?
- O utilizador consegue visualizar as localizações do veículo num determinado intervalo de tempo?

- O utilizador consegue visualizar as localizações do veículo num mapa num determinado intervalo de tempo?
- O utilizador pode visualizar os dados da ECU num determinado intervalo de tempo?

## 5.2 Definição do cenário

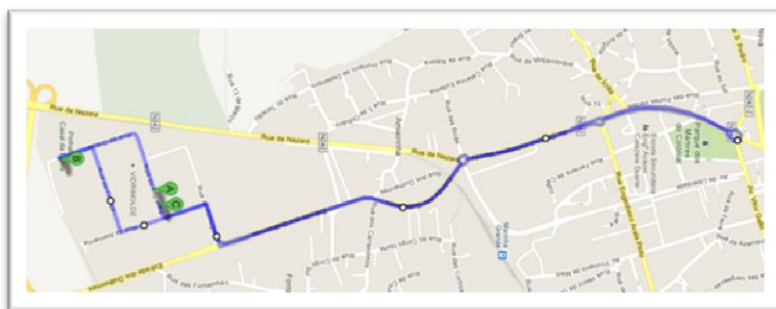
Para responder a estas questões foi criado o seguinte cenário de testes:

O dispositivo SVED foi instalado num veículo ligeiro de passageiros devidamente configurado para efetuar leituras de dados de 10 em 10 segundos, quer do sensor acelerómetro, quer de GPS quer de dados da ECU. Foi instalado também no SVED um cartão SIM de um operador de telecomunicações preparado para comunicação por dados.



**Figura 28 - Cenário criado para o teste definido**

O servidor SITREPA foi instalado num computador com IP público e com servidor de base de dados devidamente configurado.

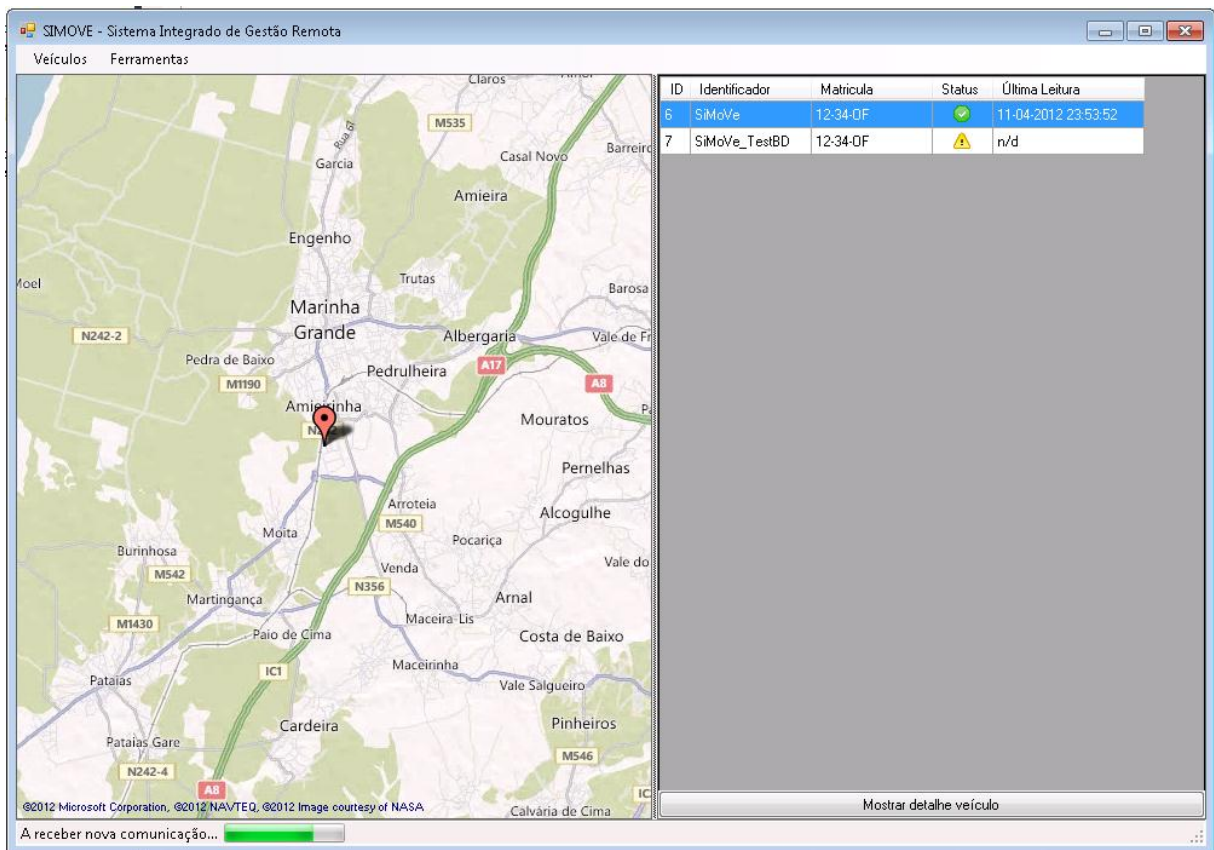


**Figura 29 - Representação da viagem prevista no Google Maps**

Foi definido um percurso na cidade da Marinha Grande e procedeu-se à viagem e à recolha dos dados.

### 5.3 Resultados dos testes

Após efetuados os testes, recorreu-se à aplicação SIMOVE para consultar os dados e posteriormente validar se o sucesso ou insucesso dos testes.



**Figura 30 - Janela principal SIMOVE - Última localização conhecida**

Como se pode observar na Figura 30, a última localização conhecida, coincide com a localização onde terminamos a viagem.

Neste primeiro ponto, está validado o objetivo de o utilizador conseguir observar a última localização conhecida de determinado veículo. Também se pode concluir que houve efetivamente transmissão de dados e que o servidor recebeu, processou e armazenou convenientemente os dados.

De seguida pretendeu-se validar a recolha das coordenadas ao longo da viagem, a sua

transmissão e a sua representação na ferramenta desenvolvida através da representação de dados na forma de tabela e representação gráfica no mapa.

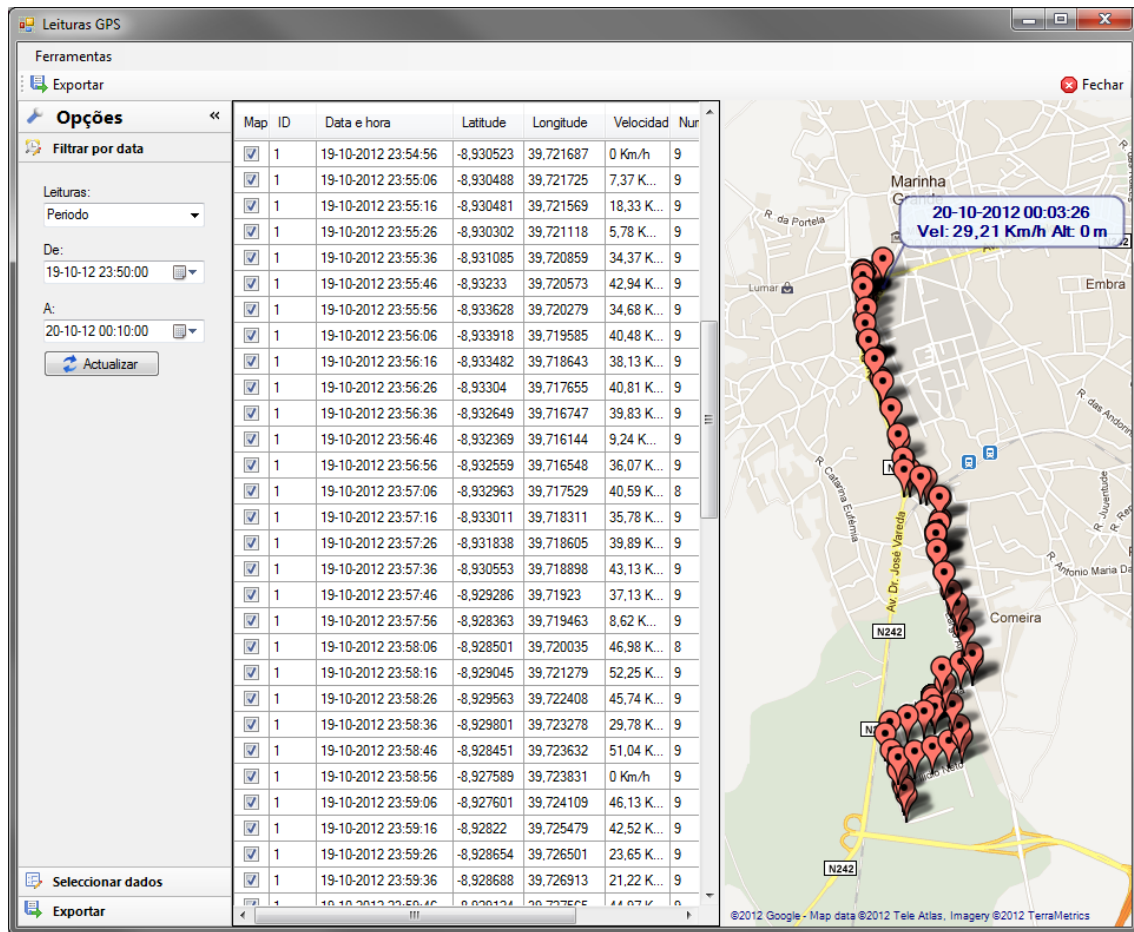


Figura 31 - SIMOVE - Representação em tabela e gráfica de histórico de localizações

Como é possível observar na Figura 31, os objetivos definidos foram alcançados.

Data	Sensibilidad	X	Y	Z
19-10-2012 23:59:36	8G	-0,3	0,24	1,06
19-10-2012 23:59:46	8G	-0,47	0,48	1,31
19-10-2012 23:59:56	8G	-0,32	-0,22	1,05
20-10-2012 00:00:06	8G	-0,34	-0,2	1,32
20-10-2012 00:00:16	8G	-0,39	0,38	1,32
20-10-2012 00:00:26	8G	-0,32	-0,18	1,05
20-10-2012 00:00:36	8G	-0,27	-0,23	1,04
20-10-2012 00:00:46	8G	-0,29	-0,23	1,1
20-10-2012 00:00:56	8G	-0,31	0,3	1,19
20-10-2012 00:01:06	8G	-0,32	0,34	1,06
20-10-2012 00:01:16	8G	-0,4	-0,31	1,14
20-10-2012 00:01:26	8G	-0,43	-0,22	1,04
20-10-2012 00:01:36	8G	-0,3	0,18	1,25
20-10-2012 00:01:46	8G	-0,35	-0,44	1,19
20-10-2012 00:01:56	8G	-0,46	0,5	1,38
20-10-2012 00:02:06	8G	-0,27	-0,14	1
20-10-2012 00:02:16	8G	-0,2	-0,18	0,9
20-10-2012 00:02:26	8G	-0,2	-0,18	0,92
20-10-2012 00:02:36	8G	-0,5	-0,19	1,12

Figura 32 - SIMOVE - Representação de dados do sensor acelerómetro

Na Figura 32 estão representados os dados recolhidos pelo acelerómetro instalado no SVED durante a viagem, detetando assim as acelerações no a que o veículo esteve sujeito durante a viagem.

Data e hora	04 - Load Value	05 - Coolant Temp	0B - Int Main Fold Press	0C - Engine RPM	0D - Speed	0F - Intake Air Temp	10 - Air Flow Rate	1F - Time since engine start	23 - Fuel pressure	2F - Fuel level input	42 - ECU Voltage	46 - Ambient Air Temp
19-10-2012 23:54:40	10,2%	90°C	100 kPa	849 r/min	0 km/h	40°C	9,22 g/s	2:18:5	23850 kPa	22,4%	13,792 V	7° C
19-10-2012 23:55:10	14,5%	91°C	100 kPa	972 r/min	3 km/h	41°C	4,41 g/s	2:18:34	25700 kPa	21,6%	13,373 V	7° C
19-10-2012 23:55:40	74,1%	92°C	140 kPa	1564 r/min	40 km/h	34°C	27,15 g/s	2:19:3	42220 kPa	23,5%	13,749 V	7° C
19-10-2012 23:56:10	8,6%	91°C	102 kPa	1180 r/min	40 km/h	32°C	8,01 g/s	2:19:32	26900 kPa	21,6%	13,729 V	7° C
19-10-2012 23:56:40	0,0%	90°C	103 kPa	1089 r/min	36 km/h	28°C	6,09 g/s	2:20:2	23070 kPa	22,4%	13,580 V	7° C
19-10-2012 23:57:10	16,1%	89°C	101 kPa	1686 r/min	42 km/h	24°C	25,58 g/s	2:20:31	23450 kPa	22,4%	13,492 V	6° C
19-10-2012 23:57:40	2,4%	89°C	100 kPa	1735 r/min	43 km/h	22°C	7,82 g/s	2:21:1	32690 kPa	23,1%	13,500 V	6° C
19-10-2012 23:58:10	21,2%	89°C	127 kPa	2081 r/min	52 km/h	18°C	19,97 g/s	2:21:30	59530 kPa	21,2%	13,600 V	6° C
19-10-2012 23:58:40	96,9%	89°C	137 kPa	1393 r/min	37 km/h	17°C	54,46 g/s	2:21:59	74580 kPa	24,3%	13,653 V	6° C
19-10-2012 23:59:10	72,5%	90°C	212 kPa	2104 r/min	54 km/h	14°C	65,85 g/s	2:22:28	97170 kPa	22,4%	13,586 V	6° C
19-10-2012 23:59:40	18,8%	91°C	105 kPa	1549 r/min	24 km/h	15°C	16,12 g/s	2:22:58	37860 kPa	21,2%	13,558 V	6° C
20-10-2012 00:00:10	0,0%	90°C	105 kPa	1091 r/min	36 km/h	15°C	14,12 g/s	2:23:27	27470 kPa	22,0%	13,557 V	6° C
20-10-2012 00:00:40	15,3%	89°C	108 kPa	1604 r/min	55 km/h	14°C	22,27 g/s	2:23:56	36480 kPa	21,2%	13,537 V	6° C
20-10-2012 00:01:10	74,1%	89°C	150 kPa	1531 r/min	39 km/h	13°C	44,27 g/s	2:24:25	70010 kPa	22,0%	13,568 V	6° C
20-10-2012 00:01:40	0,0%	90°C	129 kPa	1896 r/min	64 km/h	12°C	40,20 g/s	2:24:55	24120 kPa	21,2%	13,528 V	6° C
20-10-2012 00:02:10	3,1%	89°C	102 kPa	857 r/min	0 km/h	13°C	13,02 g/s	2:25:24	23190 kPa	21,2%	13,686 V	6° C
20-10-2012 00:02:40	37,6%	89°C	180 kPa	2220 r/min	37 km/h	14°C	33,13 g/s	2:25:54	68190 kPa	20,4%	13,693 V	6° C
20-10-2012 00:03:10	31,0%	90°C	137 kPa	1876 r/min	31 km/h	13°C	44,38 g/s	2:26:23	25900 kPa	20,8%	13,634 V	6° C
20-10-2012 00:03:53	2,7%	89°C	103 kPa	858 r/min	7 km/h	13°C	11,09 g/s	2:27:5	23230 kPa	23,1%	13,660 V	6° C
20-10-2012 00:04:10	15,7%	89°C	107 kPa	1159 r/min	13 km/h	13°C	15,50 g/s	2:27:21	22280 kPa	22,4%	12,910 V	6° C
20-10-2012 00:04:40	0,0%	89°C	124 kPa	1720 r/min	42 km/h	12°C	28,47 g/s	2:27:51	31770 kPa	23,9%	13,617 V	6° C
20-10-2012 00:05:10	4,3%	89°C	102 kPa	851 r/min	0 km/h	13°C	11,64 g/s	2:28:20	23620 kPa	25,1%	13,714 V	6° C

Figura 33 - SIMOVE - Representação dos dados obtidos pela ECU do veículo

Finalmente, na Figura 33 estão listados os valores recolhidos da centralina do veículo através do interface OBDII instalado no SVED para este efeito.

Os testes mostram que os objetivos definidos nesta primeira fase estão cumpridos. A comunicação e o protocolo de mensagens entre o SVED e o servidor SITREPA estão implementados e validados, a ferramenta de consulta de dados cumpre os primeiros objetivos definidos para a sua implementação.

Conclui-se que a esta altura existe uma boa base de trabalho para iniciar agora o desenvolvimento da solução de SAEIP definida neste documento.

## 6 Trabalho Futuro

---

O projeto SITREPA encontra-se numa fase em que foram aferidas as tecnologias a utilizar, foi encontrada uma solução de *hardware* que permite o fabrico do equipamento a custos reduzidos, comparativamente a outras soluções, e foram testados os conceitos através de aplicações de teste.

No entanto, para que o sistema esteja pronto a ser instalado em ambiente real, é necessário o desenvolvimento do *software* de monitorização e gestão do serviço de transportes públicos conforme a solução proposta. Este desenvolvimento é complexo mas que se prevê ainda assim vantajoso, uma vez que a solução final pode ser a solução que tantos pequenos e médios operadores de transportes públicos de passageiros procuram.

Esta primeira abordagem ao algoritmo de previsão de tempo de um veículo a uma paragem deverá ser reanalisada [21] [22] [23], uma vez que não lida com atrasos pontuais ou com as características que influenciam as diferenças deste tempo, como a hora do dia, dia da semana ou fim de semana, condições meteorológicas, tempo de aulas, estação do ano, obras num determinado local previstas que podem influenciar o tempo num determinado segmento do percurso, etc.

O sistema deverá permitir a introdução deste tipo de características, de forma que os tempos das viagens sejam associados ao maior número possível de variáveis, portadoras das características do meio em cada momento.

Após a existência destes dados, o mecanismo de previsão pode ser desenhado e desenvolvido com base em conceitos estudados em Inteligência Artificial ou com base em técnicas de *Data Mining* (e.g. árvores de decisão).

O sistema de estatísticas previsto na solução proposta apresenta-se como um dos principais pontos fortes desta solução em relação a outras concorrentes, pelo que é que é relevante apresentar como trabalho futuro.

Com atual tendência para a utilização de dispositivos móveis (*smartphones e tablets*), a

aposta no desenvolvimento de aplicações para estes dispositivos deve ser considerada.

Ao nível de hardware e da infraestrutura de suporte ao SITREPA define-se como trabalho futuro as seguintes funcionalidades:

- implementação do sistema áudio nos painéis SPIS;
- implementação da alimentação através de painéis solares e baterias nos painéis SPIS;
- desenho da estrutura estanque para suporte do painel SPIS no exterior;
- implementação da rede 4G no SVED;
- integração de sistema de videovigilância no veículo;
- integração de sistema de comunicação por voz;
- implementação de protocolos para comunicação com sistema de bilhética;
- interface de integração do sistema áudio dos veículos com o SVED;

## 7 Conclusão

---

A área dos transportes públicos de passageiros tem despertado bastante interesse na comunidade científica, pelo que o conhecimento criado ao longo dos anos permitiu criar sistemas de apoio à exploração e gestão deste tipo de negócio.

Neste trabalho foram desenvolvidas ferramentas que possibilitam a monitorização de veículos e que transformam esta informação em dados valiosos, não só para as empresas mas também para os passageiros.

Os principais problemas identificados nas soluções existentes são que a maioria dos sistemas existentes são orientados a um objetivo, a um equipamento ou a uma tecnologia em particular. Em muitos casos as possibilidades de integração são inexistentes ou muito complexas, ou ainda a integração de vários destes sistemas traduz-se em custos muito elevados para as empresas.

Existem, no entanto, soluções mais globais e completas, que obedecem a normas de integração mas que têm um custo de instalação e de manutenção demasiado elevado.

Os pequenos e médios operadores de transportes públicos necessitam também de ter acesso aos novos meios tecnológicos, não só para melhorarem o serviço disponibilizado aos seus clientes, como também para garantirem a sustentabilidade e o crescimento das suas empresas.

Orientada aos atuais serviços disponibilizados de computação escalável “na nuvem”, conclui-se que a solução proposta prevê custos de manutenção de serviço controlados. Foram propostas abordagens de configurações de *hardware* para diferentes necessidades e serviços, que garantem não só ferramentas para a maioria das necessidades identificadas neste tipo de ambientes, mas também uma estrutura de integração onde é possível interagir com outros sistemas.

Foi também analisada a documentação existente na área dos SAEIP, identificando as vantagens, necessidades, serviços e mais recentes tecnologias aplicadas ao

desenvolvimento destes sistemas.

Foram ainda descritas as aplicações implementadas no âmbito do projeto SITREPA para aferir as potencialidades do *hardware*.

Assume-se também que os principais objetivos na definição deste projeto foram cumpridos, apresentado assim uma solução que se prevê bastante completa e acessível, para dar resposta às necessidades de muitos operadores de transportes públicos de passageiros, que se estão a sentir excluídos deste novo paradigma de serviços por falta de oferta de soluções à sua medida.

Do ponto de vista académico foram adquiridos conhecimentos bastante amplos, quer de processos de negócio quer dos processos técnicos associados ao funcionamento deste tipo de serviços. Foram também adquiridos vastos conhecimentos técnicos, de *hardware*, serviços e desenvolvimento de *software*, na análise da imensa literatura e documentação científica produzida sobre este tema.

Também foi adquirida ao longo deste trabalho a sensibilidade para que as questões relacionadas com a inclusão social e igualdade de direitos da sociedade seja uma constante em projetos futuros.

## 8 Bibliografia

---

- [1] Carris, “Carris,” [Online]. Available: <http://www.carris.pt>.
- [2] S. Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, “Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, SA,” [Online]. Available: <http://www.stcp.pt>.
- [3] T. U. d. Coimbra, “Transportes Urbanos de Coimbra,” [Online]. Available: <http://www.smutc.pt>.
- [4] P. Kelly, “Quality bus transit systems,” em *International Conference on Public Transport Electronic Systems*, 1996.
- [5] B. Caulfield e M. M. OMahony, “The provision of on street passenger information via real time passenger information; a case study of Dublin,” em *12th IEE International Conference on Road Transport Information and Control*, 2004, pp. 1 - 10.
- [6] G. Duke, “Creating the Superbus with ITS: real time passenger information,” em *IEE Seminar on Using ITS in Public Transport and in Emergency Services*, 1998, pp. 201-212.
- [7] “Itinerarium.net,” [Online]. Available: <http://www.itinerarium.net>. [Acedido em 4 10 2012].
- [8] “Transporlis,” [Online]. Available: <http://www.transporlis.sapo.pt>. [Acedido em 4 10 2012].
- [9] T. Morenz e R. Meier, “An Estimation-based Automatic Vehicle Location System for Public Transport Vehicles,” em *11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, 2008, pp. pp.850-856.

- [10] L. S. Pun-Cheng, “An Interactive Web-Based Public Transport Enquiry System With Real-Time Optimal Route Computation,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, pp. 983 -988, June 2012.
- [11] Microsoft, “Windows Azure,” [Online]. Available: <http://www.windowsazure.com/pt-br/>. [Acedido em 10 10 2012].
- [12] Amazon, “Amazon web services,” [Online]. Available: <http://aws.amazon.com/pt/>. [Acedido em 10 10 2012].
- [13] L. Digiwest, “Digiwest, Lda.,” [Online]. Available: <http://www.digiwest.pt>.
- [14] C. M. d. Leiria, “Apresentação Mobilis,” [Online]. Available: <http://www.cm-leiria.pt/files/2/documentos/20121001105400550060.pdf>. [Acedido em 04 10 2012].
- [15] D. d. Leiria, “Mobilis já transportou meio milhão,” *Diário de Leiria*, 21 09 2012. [Online]. Available: <http://www.diarioleiria.pt/noticias/mobilis-ja-transportou-meio-milhao>. [Acedido em 04 10 2012].
- [16] D. d. Leiria, “Deputado municipal pede mais paragens para o Mobilis,” *Diário de Leiria*, 2 10 2012. [Online]. Available: <http://www.diarioleiria.pt/noticias/deputado-municipal-pede-mais-paragens-para-o-mobilis>. [Acedido em 4 10 2012].
- [17] R. d. Leiria, “Utilização do Mobilis triplicou em seis anos,” *Região de Leiria*, 02 10 2012. [Online]. Available: <http://www.regiaodeleiria.pt/blog/tag/mobilis/>. [Acedido em 4 10 2012].
- [18] J. Zheng, A. C. Winstanley, L. Yan e A. S. Fotheringham, “Economical LBS for Public Transport: Real-time Monitoring and Dynamic Scheduling Service.,” em *GPC Workshops*, IEEE Computer Society, 2008, pp. 184-188.
- [19] O. Rashid, P. Coulton, R. Edwards, A. Fisher e R. Thompson, “Mobile information systems providing estimated time of arrival for public transport users,” em *IEEE 61st Vehicular Technology Conferenc*, 2005.

- [20] H. Lim Tai Ching and Garg, "Designing SMS applications for public transport service system in Singapore," *The 8th International Conference on Communication Systems*, vol. 2, pp. 706-710, 2002.
- [21] O. Aloquili, A. Elbanna e A. Al-Azizi, "Automatic vehicle location tracking system based on GIS environment," *Software, IET*, vol. 3, pp. 255 - 263, 2009.
- [22] P. Thorlacius, "Time and space modelling of public transport systems using gis," National Environmental Research Institute, Denmark.
- [23] A. halaby, C. Lyon e T. Sayed, "Transferability of travel time models and provision of real-time arrival time information," em *IEEE Proceedings Intelligent Transportation Systems*, 2001, pp. 982-987.
- [24] G. Pang e H. Liu, "LED location beacon system based on processing of digital images," em *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2001, pp. 135-150.
- [25] T. J. Hancock, C. J.S.M Novak, S. Rickard e R. Gorr, "Automatic vehicle location using sensory maps: a brief demonstration," em *Conference on Intelligent Transportation System, ITSC'97*, IEEE, 1997, pp. 1016 -1021.
- [26] R. Leong, "An unconventional approach to automatic vehicle location and control for urban transit," em *Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1989. Conference Record*, 1989, pp. 219 -223.
- [27] G. J. a. Q. M. a. D. Ling, "Study for Public Transport Vehicle Location and Navigation System Based on GPRS," em *6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, 2006, pp. 82-85.
- [28] K. M. McKay, "Integrated automatic vehicle location systems," *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, vol. 12, pp. 18 -22, mar 1997.
- [29] É. Serra, L. Roboredo e Castro, J. Moniz e J. Barbosa, "Um sistema de Ajuda à

Exploração e Informação ao Público "O SAE XTraN Passenger da CARRIS", em 4º Congresso Nacional do transporte ferroviário, Lisboa, 2003.

- [30] Tecmic, "XTraN Passenger," [Online]. Available: [http://www.tecmic.pt/por/xtran/passenger\\_intro.html](http://www.tecmic.pt/por/xtran/passenger_intro.html). [Acedido em 10 11 2012].
- [31] D. d. T. d. E. U. d. América, "National ITS Architecture," [Online]. Available: <http://www.iteris.com/itsarch/index.htm>. [Acedido em 11 10 2012].
- [32] E. C. f. Standardization, "Service Interface for Real Time Information," European Committee for Standardization, [Online]. Available: <http://www.kizoom.com/standards/siri/>. [Acedido em 11 10 2012].
- [33] S. d. T. Public, "Transmodel," [Online]. Available: <http://www.transmodel.org/en/cadre1.html>. [Acedido em 11 10 2012].
- [34] Y. Zhang, "RFID-based Tracking in Supporting Real-time Urban Traffic Information," em *Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, 2009.
- [35] C. L.-S. C. Y.-C. C. S.-W. C. Shyang-Lih, "Automatic license plate recognition," em *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, 2004, pp. 42-53.
- [36] A. Riccio, "Automatic vehicle location Dallas test results," em *Vehicular Technology Conference - IEEE*, IEEE, 1977, pp. 144-152.
- [37] H.-L. Song, "Automatic vehicle location in cellular communications systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, pp. 902 -908, nov 1994.
- [38] M. C. Trimble, "Differential GPS Explained," [Online]. Available: <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html>. [Acedido em 18 10 2012].
- [39] Centro de informação Galileo, "Introdução ao EGNOS," [Online]. Available: <http://www.galileoic.org/node/144?language=pt-br>. [Acedido em 18 10 2012].

- [40] P. Philippopoulos, G. Soulos, A. Krukowski, N. Argyreas, V. Gorgas, D. Kyriazanos, D. Axiotis e S. Thomopoulos, “ToD: An Intelligent Location-Based Transport Management System,” em *Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, 2007, pp. 793-798.
- [41] L. Zhao, W. Y. Ochieng, M. A. Quddus e R. B. Noland, “An Extended Kalman Filter Algorithm for Integrating GPS and Low Cost Dead Reckoning System Data for Vehicle Performance and Emissions Monitoring,” *The Journal of Navigation*, vol. 56, pp. 257-275, 2003.
- [42] C.-h. Zhou e Z.-g. Gao, “A Real-Time Information System for BRT Based on GPS/Signpost Compound Navigation Technology,” *International Conference on Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems (LEITS)*, pp. 1-4, 2010.
- [43] S. Bonora e D. Engels, “Guidelines for the use of GPS-based AVL systems in public transport fleets,” *Public Transport Electronic Systems, 1996., International Conference on (Conf. Publ. No. 425)*, pp. 16-20, 1996.
- [44] S. a. B. M. a. B. D. a. G. V. Bakaric, “TETRA (terrestrial trunked radio) - technical features and application of professional communication technologies in mobile digital radio networks for special purpose services,” em *47th International Symposium ELMAR*, ELMAR, 2005, pp. 307-310.
- [45] P. Stavroulakis, *Terrestrial Trunked Radio - Tetra, A Global Security Tool*, Springer, 2007.
- [46] E. T. S. I. (ETSI), “Overview of technologies standardized or standardization touched by ETSI,” [Online]. Available: <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/Technologies.aspx>. [Acedido em 01 11 2012].
- [47] G. a. M. E. a. D. H. a. B. M. a. R. A. Moniak, “Robust and High Data Rate Wireless Link for Security Between a Bus and a Control Centre,” em *66th IEEE Vehicular Technology Conference , VETECF*, 2007, pp. 1426-1430.

- [48] 3gpp, “3gpp Technologies overview,” [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/LTE>. [Acedido em 01 11 2012].
- [49] C. europeia, “European Disability Strategy 2010-2020,” [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/justice/discrimination/disabilities/disability-strategy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/justice/discrimination/disabilities/disability-strategy/index_en.htm).
- [50] I. d. E. e. F. Profissional, “Pessoas com Deficiências e Incapacidades,” [Online]. Available: <http://www.iefp.pt/apoios/PessoasDeficiencia/Paginas/PessoasDeficiencia.aspx>.
- [51] I. P. d. Leiria, “IPL (+) inclusivo,” [Online]. Available: <http://maisinclusivo.ipleiria.pt/>.
- [52] “Qualidade - Grupo Barraqueiro,” [Online]. Available: [http://www.barraqueiro.com/html/pt\\_qualidade.php](http://www.barraqueiro.com/html/pt_qualidade.php). [Acedido em 27 10 2012].
- [53] J. A. Pinto, “Análise Espacial de Indicadores da qualidade de Serviço de Transportes Colectivos,” *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território (IST)*, 2011.
- [54] D. J. Artus, “SOA realization: Service design principles,” David J.N. Artus, [Online]. Available: <http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-soa-design/>. [Acedido em 6 09 2012].
- [55] T. Erl, “A community site for SOA Design Patterns,” [Online]. Available: <http://www.soapatterns.org/>. [Acedido em 04 09 2012].
- [56] “Internet protocol suite - TCP/IP,” [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_protocol\\_suite](http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite). [Acedido em 01 11 2012].
- [57] J. White, C. Thompson, H. Turner, B. Dougherty e D. C. Schmidt, “WreckWatch: Automatic Traffic Accident Detection and Notification with Smartphones,” *Mob. Netw. Appl.*, vol. 16, pp. 285--303, jun 2011.

- [58] S. Bonnabela e E. Salaün, “Design and prototyping of a low-cost vehicle localization system with guaranteed convergence properties,” *Control Engineering Practice*, vol. 19, pp. 591 - 601, 2011.
- [59] O. d. t. d. r. d. Lisboa, “Cartões Inteligentes Contactless e RFID para Multi-serviços,” [Online]. Available: [http://otlis.com.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=31&Itemid=45](http://otlis.com.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=31&Itemid=45). [Acedido em 14 11 2012].
- [60] C. N. Association, “Calypso Handbook,” [Online]. Available: <http://www.calypsonet-asso.org/handbook.php?chapter=0&page=001>.
- [61] D. Lefloch, “Real-Time People counting System using Video Camera,” *Master of Computer Science - Université de Bourgogne*, 2007.
- [62] infotron, “Passenger Counting System,” [Online]. Available: <http://www.infotron.com.pl/en/counting.html>.
- [63] Ermetris, “ERIS APC Automatic Passenger Counting Systems,” [Online]. Available: [http://www.ermetris.com/ermetris\\_site/index.php/en/automatic-passenger-counting-system](http://www.ermetris.com/ermetris_site/index.php/en/automatic-passenger-counting-system).
- [64] Parkeon, “Wayfarer - sistemas de bilhética,” [Online]. Available: <http://www.parkeon.com/uk/transport-wayfarer-products.html>.
- [65] SITMe, “STCP com Internet e TV Digital grátis,” [Online]. Available: <http://www.sitme.org/>.
- [66] M. Y. R. I. Santos, *Business Intelligence: Tecnologias da Informação na Gestão do Conhecimento*, Portugal: FCA, 2006.
- [67] G. Pereira, P. Sampaio, M. S. Carvalho, J. Telhada, A. Paisana, P. Paixão e A. Fonseca, “A business intelligence solution for public transportation sector,” em *Eurosis*, 2011.

- [68] G. Pereira, P. Sampaio, M. S. Carvalho, J. Telhada, A. Paisana, P. Paixão e A. Fonseca, “On The Way To A Business Intelligence Solution For The Transportation Sector,” em *The Internacional Workshop on Applied Modeling & Simulation*, Buzios - Rio de Janeiro, 2010.
- [69] I. P. d. Leiria, “Serviços Metereológicos de Leiria,” [Online]. Available: <http://www.meteo.estg.ipleiria.pt/>.
- [70] Google, “Google Transit,” [Online]. Available: <http://www.google.com/intl/pt-PT/landing/transit/#dmy>. [Acedido em 13 11 2012].

## **9 Anexos**

---

**Anexo I** - Real-time information system for small and medium bus operators

**Anexo II** -Sistema de Monitorização de Veículos (SiMoVe) – Descrição da aplicação

**Anexo III** - Mobile Support for Public Transportation Systems – PocketMobilis

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*