

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
CURSO DE SISTEMAS PARA INTERNET

Lucas Roratto da Silva

**SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO EM SISTEMAS DE TRANSPORTE
INTELIGENTE: UMA ÊNFASE NO TRANSPORTE PÚBLICO POR
ÔNIBUS**

Santa Maria, RS
2021

Lucas Roratto da Silva

**SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO EM SISTEMAS DE TRANSPORTE
INTELIGENTE: UMA ÊNFASE NO TRANSPORTE PÚBLICO POR
ÔNIBUS**

Trabalho apresentado ao Curso de Sistemas para Internet como requisito parcial para a obtenção do grau de **Tecnólogo em Sistemas para a Internet** da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Orientador: Prof. Dr. Giani Petri
Coorientador: Prof. Me. Samuel Vizzotto

Santa Maria, RS
2021

Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da
Universidade Federal de Santa Maria

A ficha catalográfica é confeccionada pela Biblioteca Central.

Tamanho: 7cm x 12 cm

Fonte: Times New Roman 9,5

Maiores informações em:

<http://www.bu.ufsc.br/design/Catalogacao.html>

Lucas Roratto da Silva

**SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO EM SISTEMAS DE TRANSPORTE
INTELIGENTE: UMA ÊNFASE NO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS**

Trabalho apresentado ao Curso de Sistemas para Internet como requisito parcial para a obtenção do grau de **Tecnólogo em Sistemas para a Internet** da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Aprovado em 1 de setembro de 2021:

Giani Petri, D.r (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Fernando Emilio Puntel, Me. (UFSM)

Daniel Lichtnow, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial meus pais Cleusa e Renato, e minha irmã Sofia, pelo apoio e incentivo que me foi dado incondicionalmente, e me fornecendo todo o respaldo necessário para permanecer forte e focado mesmo nas adversidades.

Agradeço meu orientador Giani Petri, com sua disponibilidade e dedicação inigualável, sendo peça fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço a Laviny Picoli por estar ao meu lado, pelo apoio e ajuda durante toda esta jornada. A sua companhia e dedicação foi de total importância para mim.

Agradeço a todos os professores que colaboraram com ensinamentos e aprendizagens que levarei comigo nestes anos de graduação, em especial os professores Juçara Gubiani e Daniel Lichtnow, coordenadores do curso, pelas conversas, conselhos e confraternizações. Com certeza, me tornarei um profissional dedicado graças a todos vocês. Agradeço também a professora Walkiria Cordenonzi, que mesmo não tendo feito parte do corpo docente de minha graduação, me ajudou muito antes desta, na escolha da profissão que desejo exercer em minha vida.

Não posso deixar de agradecer a todos os meus colegas e amigos, tanto de infância quanto os que formei durante minha vida: Maico, Glênio, Roger, Kendy, Lia, Fabiane, Wesley, Denilson, Rafael, Valeria, Filipe, Daiane e tantos outros que participaram ativamente deste processo, me proporcionando momentos incríveis.

Aos meus colegas de trabalho, em especial Cristiano Silveira e Samuel Vizzotto, que me forneceram todo o apoio, auxílio e material necessário para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Enfim, agradeço a todos que não foram citados acima, mas que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. A todos, meu muito obrigado.

Um otimista ... é uma pessoa que pensa
que o futuro é incerto.

(Howard Lindsay)

RESUMO

SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO EM SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE: UMA ÊNFASE NO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

AUTOR: Lucas Roratto da Silva

ORIENTADOR: Giani Petri

Os Sistemas de Transporte Inteligentes (STI) estão na nossa realidade provendo melhorias visíveis para toda a sociedade, desde o rastreamento de frotas até a previsão de horários de ônibus. Com a geração de tanta informação por meio destes sistemas, tem-se a necessidade de gerir e sugerir decisões para a melhor utilização de recursos, sejam eles ambientais ou financeiros. No escopo deste trabalho, buscou-se entender os conceitos que envolvem o STI como sua estrutura, arquitetura, elementos e componentes, bem como os conceitos de tomada de decisão, elencando os modelos de tomada de decisão e a conexão entre a Tecnologia da Informação com o processo decisório. Além disso, é realizada uma revisão da literatura analisando trabalhos relacionados que exemplificam a utilização dos STI no contexto brasileiro e mundial. Com isso, o objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso é desenvolver de um módulo que auxilie a tomada de decisão de empresas do transporte público por ônibus, usando Santa Maria/RS como projeto piloto. Testes de integração, usabilidade e aceitação de usuário foram realizados de modo a analisar a qualidade, funcionalidades e aceitação do módulo desenvolvido. Resultados deste trabalho podem contribuir com gestores e administrados do setor de transporte na adoção e compreensão dos benefícios na utilização e visualização centralizada de informações no processo de tomada de decisão.

Palavras-chave: Sistemas de Transporte Inteligente. Transporte Público por Ônibus. Tomada de Decisão.

ABSTRACT

DECISION SUPPORT SYSTEM IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS: AN EMPHASIS ON PUBLIC BUS TRANSPORT

AUTHOR: Lucas Roratto da Silva

ADVISOR: Giani Petri

Intelligent Transport Systems (ITS) are in our everyday life providing visible improvements for the whole society, from fleet tracking to forecast bus schedules. With the generation of so much information through these systems, there is a need to manage and suggest decisions for the best use of resources, be they environmental or financial. In the scope of this work, we sought to understand the concepts that involve ITS as its structure, architecture, elements and components, as well as the concepts of decision making, listing the decision-making models and the connection between the Information Technology with the decision-making process. Furthermore, a literature review is carried out analysing related works that exemplify the use of ITS in the Brazilian and worldwide context. Thereby, the main objective of this paper is to develop a module that helps in the decision making of public transport companies by bus, using Santa Maria/RS as a pilot project. Integration, usability and user acceptance tests were carried out in order to analyse the quality, functionality and acceptance of the developed module. The results of this paper can be of assistance to managers and administrators in the transport sector to adopt and understand the benefits of using and centrally viewing information in the decision-making process.

Keywords: Intelligent Transport Systems. Public Transport by Bus. Decision-making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comunicação entre Sistemas Embarcados e Sistemas de Controle.....	20
Figura 2 – Arquitetura Lógica do ITS americano.....	26
Figura 3 – Arquitetura Física do ITS americano	27
Figura 4 – Níveis de decisões e cargos responsáveis	29
Figura 5 – Estágios da tomada de decisão	31
Figura 6 – Comparação entre Modelo Racional e Modelo Comportamental.....	32
Figura 7 – Modelo Racional pelo ponto de vista organizacional	34
Figura 8 – Centro de Controle com as estações de trabalho e a parede de vídeo.....	39
Figura 9 – Modelo de operação de transito regional de multiterminais	41
Figura 10 – Estrutura de despacho do transporte público e sistema de apoio a decisão baseado em multiagentes	43
Figura 11 – Arquitetura da tecnologia da informação quanto a sincronização dos dados.....	46
Figura 12 – Modelo de conhecimento para o gerenciamento do transporte público proposto por Molina	49
Figura 13 – Comparação entre aplicações que seguem arquitetura proposta por Molina.....	50
Figura 14 – Arquitetura da Plataforma de Sistema de Transporte Inteligente de Liao ...	52
Figura 15 – Arquitetura de comunicação entre o rastreador até o Sistema Zelts	59
Figura 16 – Interface Dashboard	61
Figura 17 – Card da previsão do tempo.....	61
Figura 18 – Indicadores em tempo real das linhas	62
Figura 19 – Índices usados para identificar potenciais problemas	63
Figura 20 – Conversão dos índices para notas	66
Figura 21 – Gráficos de linhas com Atrasos e Não Cumpridas.....	68
Figura 22 – Gráficos de Frenagem e Aceleração Brusca.....	69
Figura 23 – Gráficos de Empresas que mais atrasam e Logins fora de linha.....	70
Figura 24 – Formulário para a geração do Relatório de Atrasos	71
Figura 25 – Relatório de Atrasos ordenados por dias e horários	71
Figura 26 – Interface de tomada de decisão	74
Figura 27 – Resultados das afirmações sobre utilidade percebida	76
Figura 28 – Resultados das afirmações de facilidade de uso	77
Figura 29 – Resultados das afirmações de intenção de uso.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Serviços do Usuário da Arquitetura de ITS dos Estados Unidos.....	25
Tabela 2 – Tecnologias adotadas e suas descrições	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCO	Centro de Controle Operacional
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
ATU	Associação dos Transportadores Urbanos de Passageiros de Santa Maria
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
APTS	<i>Advanced Public Transportation System</i>
ATMS	<i>Advanced Traffic Management System</i>
ATIS	<i>Advanced Traveller Information System</i>
CVO	<i>Commercial Vehicle Operation</i>
AVCS	<i>Advanced Vehicle Control and Safety System</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
SIG	Sistemas de Informação Gerenciais
SAD	Sistemas de Apoio à Decisão
SAE	Sistemas de Apoio ao Executivo
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano
SIM	Sistema Interligado Municipal
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
BHTrans	Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte
IDO	Índice de Desenvolvimento Operacional
ICP	Índice de Cumprimento à Programação
IPV	Índice de Pontualidade das Viagens
ICV	Índice de Conforto das Viagens
ICM	Índice de Confiabilidade Mecânica
ISV	Índice de Segurança em Viagens
IIR	Índice de Infrações Regulamentares
IDF	Índice de Disponibilidade de Frota
IFSO	Indicador de Fiscalização do Serviço de Ônibus
IITC	Índice de Informação do Transporte Coletivo
IDH	Índice de Horários
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	METODOLOGIA.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS.....	17
2.2	SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE.....	18
2.2.1	Componentes	19
2.2.2	Características	21
2.2.3	Classificação de ITS	22
2.2.4	Arquitetura de ITS	23
2.2.5	Sistemas de Apoio a Decisão no contexto de ITS	27
2.3	O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO.....	28
2.3.1	Modelos de Tomada de Decisão	32
2.3.2	O processo decisório e a Tecnologia da Informação como apoio	34
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	37
3.1	DEFINIÇÃO E EXECUÇÃO DA SELEÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS.....	37
3.2	ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS.....	38
3.2.1	Trabalho 1 - Real-Time Management and Control of a Bus Public Transport Network: The STCP Experience – Jorge Freire de Sousa;	38
3.2.2	Trabalho 2 - Application of the Advanced Public Transport System in Cities of China and the Prospect of Its Future Development - ZHANG Guohua, et al...	40
3.2.3	Trabalho 3 - Public Transport Dispatch and Decision Support System Based on Multi-Agent - Zengzhen He, Qisen Zhang	42
3.2.4	Trabalho 4 - Sistemas Inteligentes de Transporte – NTU	44
3.2.5	Trabalho 5 – An Intelligent Assistant for Public Transport Management – Martín Molina	48
3.3	DISCUSSÃO.....	53
4	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE TOMADA DE DECISÃO	55
4.1	ANÁLISE E PROJETO DO MÓDULO DE TOMADA DE DECISÃO.....	55
4.2	DESENVOLVIMENTO.....	60
4.2.1	Dashboard	60
4.2.2	Interface de relatório de Atrasos	70
4.2.3	Interface de tomada de decisão	72
4.3	TESTES.....	74
4.3.1	Testes de integração e usabilidade	74
4.3.2	Testes de aceitação com usuários	75
5	CONCLUSÃO	79

1 INTRODUÇÃO

As necessidades sociais e econômicas das pessoas requerem seu deslocamento no espaço, que pode ser feito a pé ou por meio de veículos de transporte motorizados ou não motorizados (BERTUCCI, 2011). Para isso, utilizam-se de meios de locomoção próprios ou por transportes públicos.

Segundo a Lei Nacional de Mobilidade Urbana (Lei Federal nº 12.587/2012), artigo 4º, VI, o transporte público coletivo é o “serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público”. Borges (2006) complementa, “o controle dos passageiros no transporte coletivo urbano é realizado por roleta ou catraca, sendo o pagamento realizado em dinheiro ou por meio de vale-transporte”.

Sendo assim, os sistemas de transporte coletivo via ônibus são uma alternativa mais viável, pois possui rápida implementação e custo acessível à população (REIS et al., 2013).

No Brasil, 69,1% da população utilizou o transporte público para se locomover em sua cidade nos últimos doze meses (GALINDO et al, 2019). Porém, a demanda de passageiros pelo transporte urbano por ônibus tem sofrido uma queda nos últimos anos. Conforme apresentado pela Associação Nacional de Transportes Urbanos, a queda de passageiros entre 2013 e 2017 foi de 25,9%.

Varandas (2012) afirma que a queda da demanda dos sistemas regulares ocorre em função da transferência de passageiros para os automóveis e motocicletas, fato comprovado pelo crescimento da frota nos últimos anos. Há outros fatores, como aplicativos de transporte individual de passageiros (Uber¹, Garupa², 99³, etc.), diminuição do poder aquisitivo da população, aumento da tarifa, superlotação e crises econômicas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

¹ <https://www.uber.com/>

² <http://www.garupa.co/>

³ <https://99app.com/>

Em Santa Maria, Rio Grande do Sul, o cenário é semelhante. Segundo dados da Associação dos Transportadores Urbanos de Passageiros de Santa Maria (ATU), houve uma queda de 6,19% de passageiros transportados entre 2016 e 2019 (ZOLIN, 2020). Isso corresponde a mais de 1 milhão de usuários por ano.

Analisando os números, as empresas de transporte urbano buscam reduzir suas perdas, por meio de aplicativos inteligentes de horários de ônibus e ferramentas que possibilitem a antecipação de possíveis prejuízos de modo a reduzir os custos com o transporte.

Para resolver esse problema muitas ações são realizadas, desde soluções mais pontuais como a criação de vias exclusivas para ônibus, plataformas de embarque e sistemas de telemática, até a implantação de sistemas de transporte inteligentes (traduzido do inglês *Intelligent Transport Systems*, ITS).

Sistemas de Transporte Inteligentes consistem em um conjunto de tecnologias para gerenciar problemas comuns do transporte coletivo, incluindo centros de controle de operações, sistemas de monitoramento e fiscalização remotos, gerenciamento de incidentes de tráfego, dentre outras tecnologias (DARIDO; PENA, 2012). Tais sistemas têm sido implantados em cidades como Porto em Portugal (DE SOUSA et al., 2009) e Tóquio no Japão (VARANDAS, 2012) de modo a monitorar e gerenciar todo o fluxo de transportes das cidades.

Em um contexto brasileiro, Florianópolis criou em 2003, e aprimorado em 2006, o Sistema Integrado de Transporte (SIT), mudando a forma de transporte na cidade. Foram criados 9 terminais de integração e possibilitando traslados e transbordos. Esse sistema conseguiu solucionar um dos problemas do transporte público que é a sobreposição das linhas. Recentemente um aplicativo⁴ para celular fornece aos usuários informações em tempo real sobre as linhas.

Curitiba, Paraná, tem um sistema de transporte modelo na América Latina, baseado no modelo *Bus Rapid Transit* (BRT). Criado na década de 1970, permite ao usuário a utilização de mais de uma linha de ônibus pagando apenas uma tarifa, usando os terminais de integração e circulação em vias exclusivas. Mais recentemente, criou o Centro de Controle Operacional (CCO). No CCO, é feito o controle em tempo real de todas as linhas

⁴ <https://www.floripanoponto.com.br/>

através de módulo GPS ⁵instalado nos coletivos, possibilitando informações em tempo real aos usuários nos terminais e através de aplicativos, avisando de possíveis atrasos.

No contexto de Santa Maria, está em uso uma plataforma que gerencia em tempo real a frota do Consórcio Sistema Interligado Municipal (SIM). A plataforma Zelts (zelts.com.br) – plataforma de rastreamento veicular para controle de frotas – dispõe de informações básicas como velocidade, localização, linha sendo executada, motorista responsável até informações mais complexas como temperatura do bloco e rotações do motor. Estas informações são armazenadas e compartilhadas com as empresas, mas há uma dificuldade na tomada de decisão com base nestes dados, assim, este trabalho busca como objetivo ajudar na interpretação dos mesmos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Implementar um módulo que auxilia a tomada de decisão, baseando-se em dados obtidos no transporte público por ônibus em Santa Maria – RS, para melhorar a eficiência do serviço prestado a fim de gerar economia de custos de operação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise da literatura sobre o transporte público, sistemas de transporte inteligentes e suas infraestruturas e sobre processos de tomada de decisão
- Pesquisar e analisar trabalhos relacionados que apresentem infraestruturas para gestão de transporte público por ônibus
- Implementar e avaliar um módulo que forneça informações para a tomada de decisão no contexto do transporte público por ônibus em Santa Maria – RS.

⁵ O Sistema de Posicionamento Global (em inglês Global Positioning System) é o sistema usado para navegação desenvolvido pelos Estados Unidos. Utilizando este sistema, é possível fornecer a um aparelho receptor em solo, sua posição geográfica. (NASA, 2021)

1.3 METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho foi adotada uma metodologia de pesquisa com abordagem multimétodo, dividida em quatro etapas:

Etapa 1 – Análise da literatura sobre o transporte público, sistemas de transporte inteligentes, e o processo de tomada de decisão e sua aplicação ao contexto de transporte público coletivo urbano. Nesta primeira etapa são realizadas as seguintes atividades:

A1.1 – Busca de bibliografias sobre os temas abordados neste trabalho

A1.2 – Análise e apresentação da fundamentação teórica sobre os temas abordados neste trabalho

Etapa 2 – Pesquisa e análise de trabalhos relacionados sobre estudos que apresentem infraestruturas para gestão de transporte público por ônibus. Para a seleção dos trabalhos relacionados utilizou-se a plataforma Google Scholar.

A2.1 – Buscas de trabalhos na plataforma Google Scholar

A2.2 – Seleção dos trabalhos relacionados em relação ao escopo deste trabalho

A2.3 – Análise e apresentação dos trabalhos relacionados

Etapa 3 – Desenvolvimento do módulo de tomada de decisão para o transporte público urbano por ônibus adotando o processo tradicional da engenharia de software (SOMMERVILLE, 2011) e o processo de tomada de decisão de Chiavenato (2003). Esta etapa está organizada nas seguintes iterações:

A3.1 – Análise e projeto do módulo de tomada de decisão;

A3.2 – Definição do processo de tomada de decisão adotado;

A3.3 – Implementação do módulo;

A3.4 – Testes de integração, usabilidade e aceitação do usuário;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos importantes para uma compreensão da temática do trabalho, abordando conceitos sobre o transporte público por ônibus, sistemas inteligentes, ferramentas usadas por empresas do setor, e conceitos sobre o processo de tomada de decisão, que serão fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

Conforme a Lei Nacional de Mobilidade Urbana (Lei Federal nº 12.587/2012), artigo 4º, VI, o transporte público coletivo é o “serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público”. No Brasil, 69,1% da população utilizou o transporte público para se locomover em sua cidade nos últimos doze meses (GALINDO et al., 2019), sendo acessível à população em 85% das cidades brasileiras (BERTUCCI, 2011). Muitos destes deslocamentos está diretamente ligado a necessidade da inter-relação entre as atividades urbanas – residência, trabalho, estudo, lazer entre outros. (RECK, 2015).

A utilização do transporte público por ônibus, tem por característica ser mais ágil que outros modais, bem como servir de sistema alimentador de outros modais de transporte, até mesmo servir de sistema estrutural (OLIVEIRA, 2003). Outra função do transporte público por ônibus é ser uma alternativa de transporte a utilização do automóvel. Bertucci (2011) cita que o número de pessoas transportadas em um ônibus ocupando 30 m² pode corresponder a 60 carros, ocupando 1.000 m². Fazendo outra comparação, um ônibus com capacidade para 72 passageiros corresponde a capacidade de 15 carros, ou 35 carros, seguindo a taxa média de ocupação de 1,47 pessoa por carro (SILVA et al., 2018).

2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE

Nas últimas décadas, as cidades e metrópoles tem se desenvolvido de forma bastante expressiva. Esse desenvolvimento urbano traz diferentes impactos para a sociedade, principalmente devido ao trânsito gerado na circulação de pessoas e veículos. Darido e Pena (2012) diz que tal crescimento muda a abordagem do desenvolvimento urbano, principalmente quanto às estruturas urbanas e seus setores derivados, como o transporte, sendo esse uma das principais preocupações.

Junto com o crescimento urbano, houve um grande desenvolvimento de tecnologias no mundo, que inevitavelmente chegam a todos os setores, incluindo o transporte. Com o intuito de ajudar nas necessidades do transporte, surgiu os Sistemas de Transporte Inteligentes (*Intelligent Transport Systems, ITS*).

Darido e Pena (2012) definem ITS como um conjunto de tecnologias voltada para a solução de problemas de transporte:

Os Sistemas de Transportes inteligentes consistem na aplicação de um conjunto de tecnologias em constante evolução a problemas comuns do transporte coletivo, englobando os centros de controle multimodal e operações, os sistemas avançados de sinalização do trânsito, os sistemas de monitoramento e fiscalização remotos (câmeras, sensores, sondas, software), o gerenciamento de estacionamento, o gerenciamento de incidentes de tráfego, respostas de emergência, pagamento eletrônico, precificação dinâmica e informações do usuário em tempo real (DARIDO; PENA, 2012).

De forma similar, Cortes et al. (2013) afirma que os Sistemas Inteligentes de Transporte são a interconexão de diferentes sistemas de informação destinados a capturar, comunicar, computar e auxiliar na tomada de decisões, permitindo gerenciar adequadamente o fluxo de veículos e meios de transporte. Para realizar tais atividades, é primordial a integração com serviços de internet, sistemas de comunicação sem fio e tecnologias designadas para a captura e análise destas informações.

2.2.1 Componentes

Para compor um ITS, é necessário a intercomunicação entre três camadas de infraestrutura (MEIRELLES, 1999): a camada de transporte, camada de comunicação e a camada institucional.

Enquanto a camada de transporte engloba os usuários, veículos, centros de controle e equipamentos, a camada de comunicação utiliza os elementos e as informações da camada de transporte para conectá-las entre si. Segundo Meirelles (1999), a infraestrutura descreve cuidadosamente as informações e comunicações que devem ser compartilhados em cada serviço da ITS. Já a camada institucional se refere às organizações e seus papéis na participação no contexto dos serviços da ITS.

Figueiredo (2005) classifica de forma semelhante os componentes ITS, dividindo os componentes da infraestrutura em componentes internos e externos.

Os componentes internos são subdivididos em três categorias dependendo de suas atividades, sendo eles os componentes físicos, os operadores e os planos operacionais.

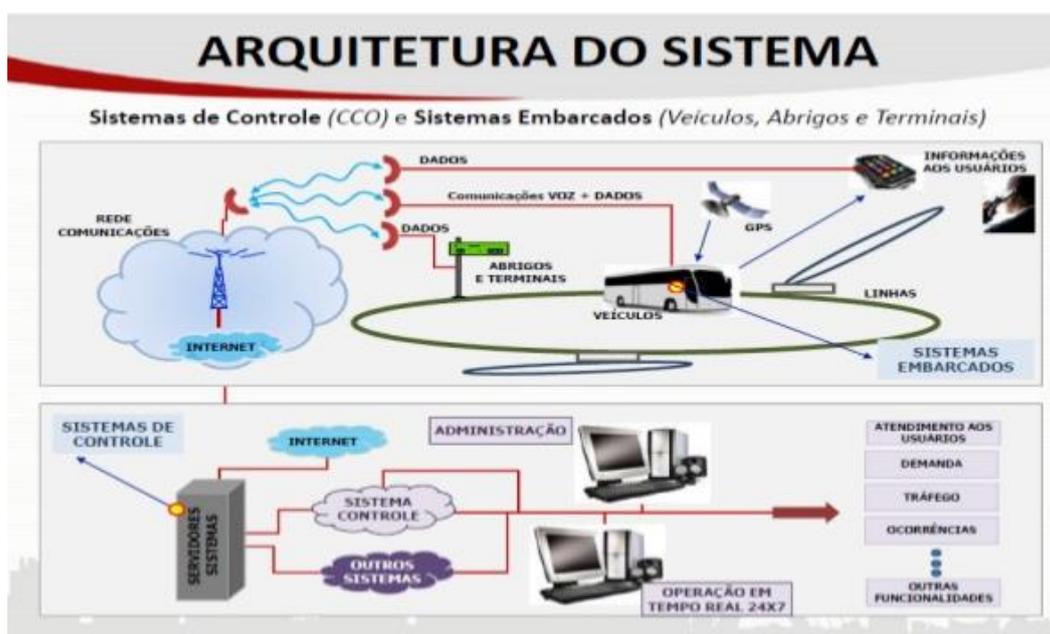
- **Componentes físicos:** refere-se a infraestrutura, englobando ruas, estradas, semáforos entre outros, os equipamentos como GPS, sensores, câmeras e demais sistemas que compõe o veículo e os veículos propriamente ditos.
- **Operadores:** é composto pelas pessoas envolvidas em todo o processo, pelos operadores do sistema, planejamento estratégico, gestores das operações, manutenção, tomadores de decisão operacional e administração do sistema de transporte, bem como sindicatos.
- **Planos Operacionais:** planos de escalonamento de chegadas e partidas, tripulação dos veículos, planejamento de rotas e planejamento contra imprevistos.

Um dos principais componentes internos em uma infraestrutura de um ITS são os sensores. Os sensores são dispositivos que detectam e reagem a mudanças de estado, sejam elas físicas ou químicas, transformando este estímulo receptado em um sinal que pode ser convertido e interpretado por outros dispositivos (HENRY, 1993). Estes componentes físicos embarcados são responsáveis pela coleta de dados dos veículos e por

enviar esses dados através de um *gateway* para serem processados e então enviados para os Centros de Controle Operacional (CCO) e demais responsáveis, podendo estes enviar informações bidirecionalmente entre os equipamentos embarcados e o *gateway*. Assim, além de receber informações de velocidade e localização do veículo, o CCO pode enviar mensagens ao veículo para ele reduzir a velocidade e permanecer na rota.

A Figura 1 apresenta uma visão geral de uma infraestrutura de um ITS, apresentando como ocorre o processo de coleta de dados por meio dos sensores, envio de dados para os sistemas centrais e monitoramento pelos setores responsáveis.

Figura 1 – Comunicação entre Sistemas Embarcados e Sistemas de Controle



Fonte: Dantas (2016).

Os componentes externos, segundo Figueiredo (2005), representam a ligação entre o Sistema de Transporte e seu meio. Neste componente participa o **governo** como promotora do sistema de transporte, a **competição** como fator de evolução, as **fontes de investimento** sejam elas público ou privadas, as **indústrias fornecedoras**, seja de veículos, equipamentos ou até mesmo de infraestrutura, os **proprietários das empresas** (também chamados de acionistas), o **público em geral** e os **clientes**.

2.2.2 Características

Um ITS deve ter alguns predicados para sua execução, já que são muito grandes e complexos, além de estarem conectados a muitas tecnologias. Para isso, Yokota (2004) cita algumas características:

- **Compatibilidade** – Independentemente de qual for o *software* e *hardware*, o sistema deverá se manter íntegro, mesmo após atualizações e troca de aparelhos;
- **Escalabilidade** – Mesmo recebendo atualizações, recebendo maior número volume de trabalho e inclusão de novos módulos, o sistema deve operar normalmente sem ser necessário muitas alterações no *core* do *software* e, conseqüentemente, sem exigir um aumento no orçamento do projeto.
- **Interoperabilidade** – Interoperabilidade é a capacidade de sistemas separados devem ter para se comunicar com outro sistema, a fim de trabalharem juntos.
- **Integração** – Para ter interoperabilidade deve-se ter integração de informações e, conseqüentemente, em um único grande sistema. A operação de sistemas diferentes em um mesmo centro operacional deve ser unificada para facilitar o intercâmbio de dados entre estes sistemas, com o intuito de gerar informações uteis para tomada de decisão. Contudo, um sistema unificado de grande porte requer imensa atenção para o seu planejamento, pois integrar sistemas já existentes é muito mais árduo que construir outro do zero.
- **Padrões** – Um ITS para ter integração e interoperabilidade, deve ser implementado seguindo padrões. São estes padrões que permitem que o ITS tenha um funcionamento coerente entre todos seus modelos de dados e funções, permitindo também que consiga ser escalável e compatível com outras versões. Estas características estão todas interligadas, uma dependendo da outra para que se alcance um ITS de qualidade.

2.2.3 Classificação de ITS

Diversos autores classificam ITS de diferentes formas. Cortes et al. (2013) classifica ITS em dois grandes tipos: ITS focado nos veículos, como sistemas de comunicação, rastreamento e veículos inteligentes, e ITS focados no controle da infraestrutura ou modo de transporte, como semáforos dinâmicos e cercamento eletrônico.

De acordo com Batista (2013), os ITS podem ser categorizados como: Sistema Avançado de Transporte Público ou APTS (*Advanced Public Transportation System*), Sistema Avançado de Gerenciamento de Tráfego ou ATMS (*Advanced Traffic Management System*), Sistema Avançado de Informações ao Viajante ou ATIS (*Advanced Traveller Information System*), Operações de Veículos Comerciais ou CVO (*Commercial Vehicle Operation*), Sistema Avançado de Segurança e Controle de Veículos ou AVCS (*Advanced Vehicle Control and Safety System*) e a Coleta Eletrônica de Pedágio (ETC).

Yokota (2004) complementa esse conceito classificando ITS em 32 serviços dentro de 9 áreas de aplicação, sendo elas:

1. **Informações aos usuários** – Abrange todos os serviços e informações para auxiliar nas decisões dos usuários antes e durante seu deslocamento, como apoio aos pedestres no controle dos semáforos de cruzamentos e orientação de rotas.
2. **Gerenciamento do tráfego** – Abrange os serviços que o gerenciamento de tráfego deve prover nas rodovias e áreas urbanas para melhor otimização, como sincronização de semáforos.
3. **Gerenciamento da demanda** – Abrange os serviços necessários para reduzir congestionamentos nas rodovias e nas áreas urbanas e aumentando a fluidez do trânsito, como temporização de semáforos diferente em horários de pico.
4. **Gerenciamento das rodovias** – Abrange os serviços necessários à manutenção física das rodovias e da pavimentação, como operações tapa-buraco e recapeamento.

5. **Sistemas de condução assistida** – Refere-se a todos os sistemas automáticos destinados a melhorar o desempenho do veículo e do condutor e tornar a condução mais segura, como airbags e sensores de estacionamento e de colisão.
6. **Transações financeiras por via eletrônica** – São os serviços que permitem o pagamento eletrônico, como em sistemas de transporte e a cobrança automática de pedágios.
7. **Gerenciamento de veículos comerciais** – Serviços de gerenciamento da frota e de carga, por meio de rastreadores e sensores instalados nos veículos.
8. **Gerenciamento do transporte público** – Abrange serviços para otimizar o transporte público, como criação de corredores de ônibus e terminais de integração.
9. **Respostas a incidentes e desastres** – Abrange serviços necessários para atender acidentes e outras emergências.

2.2.4 Arquitetura de ITS

Yokota (2004) diz que a arquitetura por si só consiste em uma coleção de serviços aos usuários, cada um com um conjunto de requisitos, uma arquitetura lógica e uma arquitetura física que ajuda a orientar o desenvolvimento de padrões.

A arquitetura lógica define a arquitetura de um ITS em detalhes, buscando modelar cada serviço, sem a preocupação de como ele será realizado. Esta arquitetura lógica possui forma de diagramas de fluxo de dados. Na arquitetura física são apresentadas as interfaces e grande parte dos componentes do sistema, além dos seus principais elementos, conectando essas entidades em uma estrutura geral. Esta arquitetura física utiliza a arquitetura lógica – processos e fluxos de dados – para sua criação, convertendo-os em subsistemas e fluxos da própria arquitetura física.

A arquitetura de ITS é principalmente sobre o intercâmbio de dados e as instruções que são enviadas entre diferentes componentes do ITS e fontes externas. Segundo

PIARC⁶, a arquitetura ITS diz que a especificação de desempenho seja definida para atingir o nível necessário de interconexão e interoperabilidade, assim as tecnologias mais adequadas para isso devem ser escolhidas pelo projetista do sistema.

Alguns países americanos e a comunidade europeia possuem suas próprias arquiteturas já estruturadas de ITS, tendo sido criadas em parcerias entre os setores público e privado. Por cada país usar uma abordagem diferente, usando tecnologias que melhor satisfazem suas necessidades, torna muito difícil a integração desses sistemas.

Dentre as arquiteturas mais conhecidas, destaca-se as implementações realizadas pela União Europeia⁷, Estados Unidos⁸ e Japão⁹, além de outra arquitetura de referência (ISO)¹⁰.

2.2.4.1 *Arquitetura ITS de referência ISO*

A Arquitetura de referência da ISO foi elaborada pelo Comitê técnico de ITS da Organização Internacional de Normalização (ISO/TC204, arquitetura completa disponível como ISO 14813) com o intuito de ajudar nas definições das atividades de ITS e para ser usada como base para outras arquiteturas. Segundo Yokota (2004), a arquitetura ISO tem como principal recurso um modelo de referência e uma coleção de serviços ao usuário. O acesso às informações completas da ISO não é possível pois se trata de uma informação paga.

2.2.4.2 *Arquitetura ITS dos Estados Unidos*

Os Estados Unidos foi o primeiro país a criar uma arquitetura própria, em 1991. O departamento responsável descreve cada comunicação entre os sistemas, dividindo a

⁶ Permanent International Association of Road Congresses (em português Associação Internacional Permanente de Congressos Rodoviários) é um fórum mundial para a discussão de assuntos envolvendo estradas e transporte rodoviário. A associação possui mais de 120 membros de governos de todo o mundo, incluindo o Brasil.

⁷ <https://frame-online.eu/>

⁸ <https://www.its.dot.gov/>

⁹ <https://www.its-jp.org/>

¹⁰ <https://www.iso.org/>

arquitetura em serviços ao usuário, acompanhada de uma arquitetura lógica e uma arquitetura física.

Os serviços de usuário (Tabela 1) consistem em 8 áreas de serviço, sendo voltadas principalmente às atividades dos órgãos públicos e na operação da infraestrutura (YOKODA, 2004), a fim de que a equipe responsável pela implementação do projeto consiga identificar o serviço a qual está relacionada, como este serviço pode ser fornecido e como alguns serviços poder agir em harmonia com outros (DARIDO; PENA, 2012).

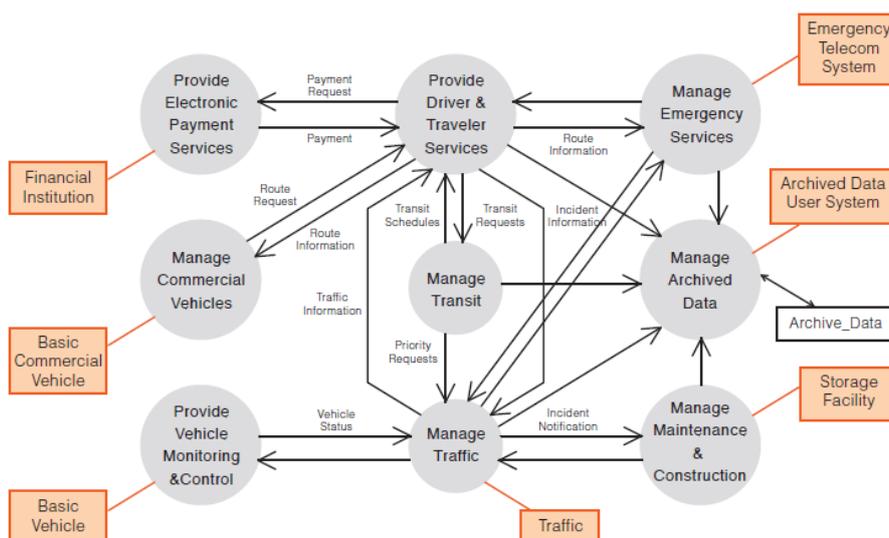
Tabela 1 – Serviços do Usuário da Arquitetura de ITS dos Estados Unidos

Áreas de Serviços de Usuários	Serviços de Usuários
1 Gerenciamento de Viagens e Tráfego	1.1 Informação anterior à viagem 1.2 Informação para motoristas durante a viagem 1.3 Orientação sobre rotas 1.4 Serviços de reservas e combinações de viagens 1.5 Serviço de informação para passageiros 1.6 Controle de tráfego 1.7 Gerenciamento de acidentes 1.8 Gerenciamento da demanda de viagens 1.9 Controle e mitigação de emissões 1.10 Controle de cruzamentos rododiferroviários
2 Gerenciamento de Transporte Público	2.1 Gerenciamento do transporte público 2.2 Informação para usuários durante a viagem 2.3 Transporte coletivo personalizado 2.4 Segurança pública nos transportes
3 Pagamento Eletrônico	3.1 Serviço de pagamento eletrônico
4 Operação de Veículos Comerciais	4.1 Liberação eletrônica de veículos comerciais 4.2 Inspeção automatizada de segurança ao longo da via 4.3 Monitoramento de segurança a bordo 4.4 Processos administrativos automatizados de veículos comerciais 4.5 Notificação de incidentes com carga perigosa 4.6 Gerenciamento de frota comercial
5 Gerenciamento de Emergências	5.1 Notificação de emergências e segurança pessoal 5.2 Gerenciamento de frotas de emergência 5.3 Resposta a desastres e evacuação
6 Sistemas Avançados de Segurança Veicular	6.1 Prevenção de colisões longitudinais 6.2 Prevenção de colisões laterais 6.3 Prevenção de colisões em interseções 6.4 Prevenção de colisões pela melhoria da visibilidade 6.5 Sensoriamento de segurança 6.6 Desenvolvimento de dispositivos de segurança pré-colisão 6.7 Operação automática de veículos
7 Gerenciamento de Informação	7.1 Função de arquivamento de dados
8 Gerenciamento de manutenção e construção	8.1 Operações de manutenção e construção

Fonte: Traduzido de Yokoda (2004).

A Figura 2 mostra o diagrama de fluxo de dados do modelo americano, referente ao modelo lógico da arquitetura. Nela, é ilustrado os vários níveis de detalhamento da arquitetura, explicando a configuração dos serviços sem entrar em detalhes sobre sua operacionalização (DARIDO; PENA, 2012). Segundo Yokoda (2004), a arquitetura lógica é formada por diversos diagramas de fluxo de dados, representando os processos lógicos (ilustrados como círculos), as entidades (retângulos), fluxos de dados (setas) e os dados para armazenamento (representados por um nome entre as linhas paralelas). Estes processos lógicos podem ser processos expandidos em outros fluxos de dados próprios e com detalhes adicionais de nível inferior, com este refinamento continuando por vários níveis.

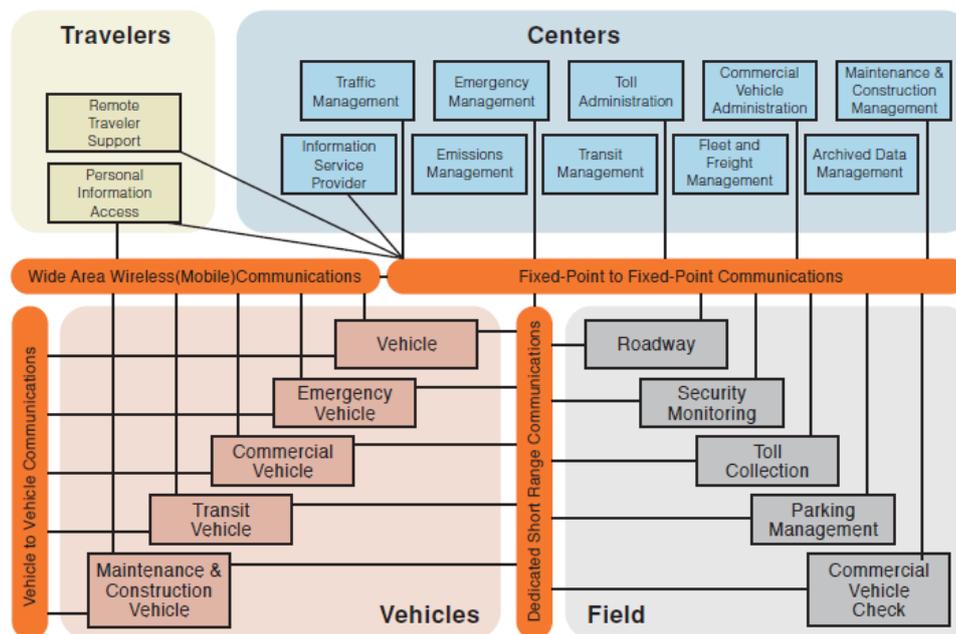
Figura 2 – Arquitetura Lógica do ITS americano



Fonte: Yokoda (2004).

A arquitetura física ITS dos Estados Unidos (Figura 3) descreve a comunicação entre seus elementos e os subsistemas, definindo claramente os papéis de cada um. A arquitetura física é dividida em 4 classes: *Centers* que define o centro de controle e gerenciamento de todo o sistema onde os serviços são executados; *Field* que se refere a toda parte de infraestrutura física; *Vehicles* que são os veículos e sensores embarcados; e os *Travelers* que é definido pelos dispositivos usados pelas pessoas durante a viagem (CUNHA, 2017).

Figura 3 – Arquitetura Física do ITS americano.



Fonte: Yokoda (2004).

2.2.5 Sistemas de Apoio a Decisão no contexto de ITS

Com tecnologias embarcadas, o transporte público passa a ter novas possibilidades, facilitando a vida dos usuários, ao oferecer aplicativos, e dos motoristas, ao disponibilizar ferramentas no auxílio da melhor eficiência do veículo. Silva (2000), complementa:

Equipamentos eletrônicos instalados nos veículos podem ajudar na manutenção do padrão de dirigibilidade do motorista, atuando no controle de velocidade, aceleração, abertura e fechamento de portas, etc.; também podem atuar na coleta de dados referente a demanda temporal e localizacional (SILVA, 2000).

Com todas essas tecnologias a mão, o grande desafio passa a ser transformar todos esses dados disponíveis em informações úteis na tomada de decisão. Com isso, a eficiência dos ônibus e melhor aproveitamento dos recursos acarretaria em um serviço de melhor qualidade bem como uma redução nos gastos com as viagens.

Um exemplo a ser citado sobre a tomada de decisões com base em dados coletados em tempo real nos sistemas de transporte urbano está na cidade de Curitiba – Paraná, considerada uma das cidades mais inteligentes do mundo, devido ao seu pioneirismo na utilização de ITS. Com a criação do Centro de Controle Operacional (CCO) na capital paranaense, foi iniciado um controle em tempo real de todas as linhas através de módulos GPS instalados nos coletivos. Além de disponibilizar esses dados ao usuário final, com o CCO é possível identificar problemas nos ônibus ou qualquer tipo de imprevistos com o veículo, rota ou passageiros, já que toda frota de coletivos possui uma tela LCD onde o motorista informa, e é informado, sobre o andamento da linha. Com este sistema então é possível prever prováveis falhas e tomar ações corretivas antes mesmo que elas aconteçam.

2.3 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

O conceito do processo de tomada de decisão tem origem na ciência administrativa, cujo objetivo primordial é a maximização dos resultados das organizações (PRÉVE et al, 2010).

Para alcançar esses resultados, diariamente os funcionários das organizações precisam tomar diferentes tipos de decisões. Segundo Laudon e Laudon (2011), as decisões podem ser classificadas em não-estruturadas, estruturadas e semiestruturadas.

As decisões **não-estruturadas** (conhecidas também por **não programadas**) são aplicadas em problemas que não são bem compreendidos, fogem do padrão e não se aplicam aos procedimentos sistêmicos ou rotineiros. Para tomá-la, o tomador de decisão deve usar seu bom-senso, capacidade de avaliação e sua clarividência na definição do problema. Executivos seniores são os tomadores de decisão nesse nível, como a escolha de entrar ou sair em determinados mercados.

As decisões **estruturadas** (ou **programadas**), por sua vez, aplica-se em problemas que são bem compreendidos, altamente estruturados, rotineiros e repetitivos e se aplica aos procedimentos e às regras sistemáticas. De tal modo, essas decisões são sempre semelhantes. Gerência operacional e funcionários tendem a tomar decisões mais estruturadas, como determinar a reposição do estoque, a concessão de crédito a clientes e

determinar ofertas especiais para clientes, usando dados disponíveis no sistema. No contexto de ITS, tais decisões podem ser aumentar disponibilidade de ônibus em horários de pico e o envio de veículos para a manutenção baseando-se nos dados dos sensores enviados ao sistema.

As decisões **semiestruturadas** possuem características mistas, tendo parte das respostas claras e objetivas para um problema, e outras partes nem tanto. Uma gerência de nível médio toma essas decisões, utilizando componentes estruturados e não estruturados como a formulação de um plano de marketing ou a elaboração de um orçamento departamental, se baseando em dados do sistema da empresa e experiências próprias.

A Figura 4 apresenta uma síntese dos tipos de decisão relacionados aos níveis de gerência responsáveis.

Figura 4 – Níveis de decisões e cargos responsáveis



Fonte: Laudon e Laudon (2011).

Para cada uma das decisões elencadas na Figura 4 existe um responsável por ela. Quanto maior o cargo na empresa, maior é a responsabilidade e, por tanto, tomadas de decisões mais difíceis.

De acordo com Trewatha e Newport (1979), a tomada de decisão envolve a seleção, consciente ou inconsciente, de uma ação entre duas ou mais possíveis alternativas com o intuito de chegar a uma solução para um dado problema ou situação.

Herbert Simon (1947) escreveu *Comportamento Administrativo*, onde se inicia a discussão sobre a Teoria das Decisões. Neste sistema, cada pessoa participa racional e conscientemente, escolhendo e tomando decisões individuais a respeito de alternativas mais ou menos racionais de comportamento (MORITZ, 2006). Complementando, Gomes, Gomes e Almeida (2002) dizem que os modelos de apoio à tomada de decisão, fazem com que as decisões sejam tomadas com base em critérios racionais que garante a otimização dos retornos obtidos. A introdução do risco e da incerteza nos modelos trouxe uma nova gama de informações que permitiu o aperfeiçoamento do processo decisório (MORITZ, 2006).

Em relação ao conceito de decisão, Chiavenato (2003) entende que “decisão é o processo de análise e escolha entre as alternativas disponíveis de cursos de ação que a pessoa deverá seguir”, e ressalta que a decisão envolve seis elementos:

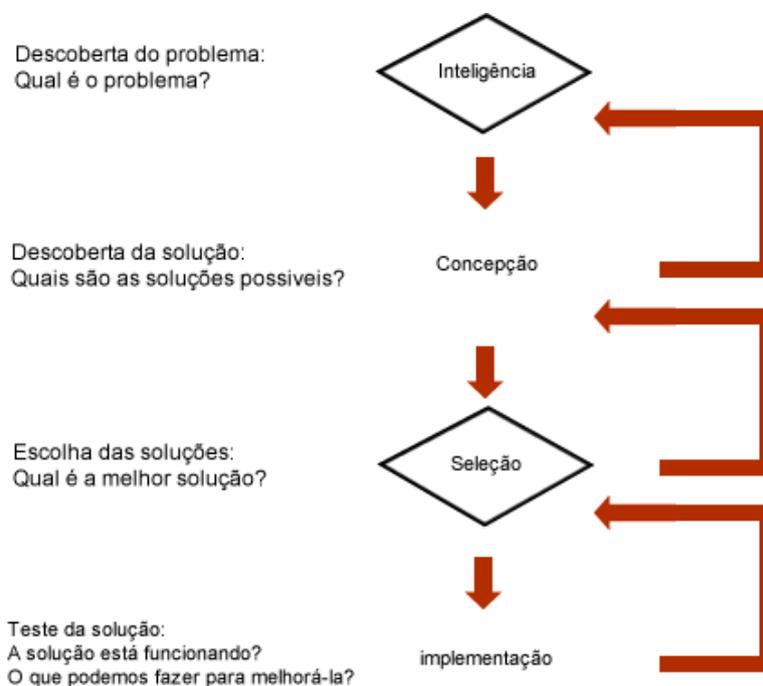
- 1- **Tomador de decisão:** é a pessoa que faz uma escolha ou opção entre várias alternativas de ação. É o agente que está frente a alguma situação.
- 2- **Objetivos:** são os objetivos que o tomador de decisão pretende alcançar com suas ações.
- 3- **Preferências:** são os critérios que o tomador de decisão usa para fazer sua escolha pessoal.
- 4- **Estratégia:** é o custo de ação que o tomador de decisão escolhe para melhor atingir os objetivos. Depende dos recursos de que pode dispor e da maneira como percebe a situação.
- 5- **Situação:** São os aspectos do ambiente que envolve o tomador de decisão, muitos dos quais fora do seu controle, conhecimento ou compreensão e que afetam sua escolha.
- 6- **Resultado:** é a consequência ou resultante de uma dada estratégia.

Embora exista na literatura diferentes teorias sobre o processo de tomada de decisão, Bethlem (1987), resume os principais mecanismos que orientam o processo decisório e a tomada de decisão, revisando os modelos apresentados por vários autores, incluindo Herbert Simon, resumindo o processo em quatro grandes estágios:

- **Estágio 1** – decisão de decidir/inteligência – assumir um comportamento que leve a uma decisão qualquer é uma decisão.
- **Estágio 2** – concepção – uma vez decidido iniciar o processo decisório, a etapa seguinte é a definição do que vamos decidir. Há ocasiões em que trabalhamos na solução de problemas que não definimos, mas estatisticamente o seu número é menos significativo.
- **Estágio 3** – formulação de alternativas/seleção – As diversas soluções possíveis para resolver o problema ou crise, ou as alternativas que vão permitir aproveitarmos as oportunidades.
- **Estágio 4** – implementação/escolha de alternativas que julgamos mais adequadas. É a tomada de decisão.

Assim, todo tomador de decisão está inserido em uma situação, pretende alcançar objetivos, tem preferências pessoais e segue estratégias.

Figura 5 – Estágios da tomada de decisão

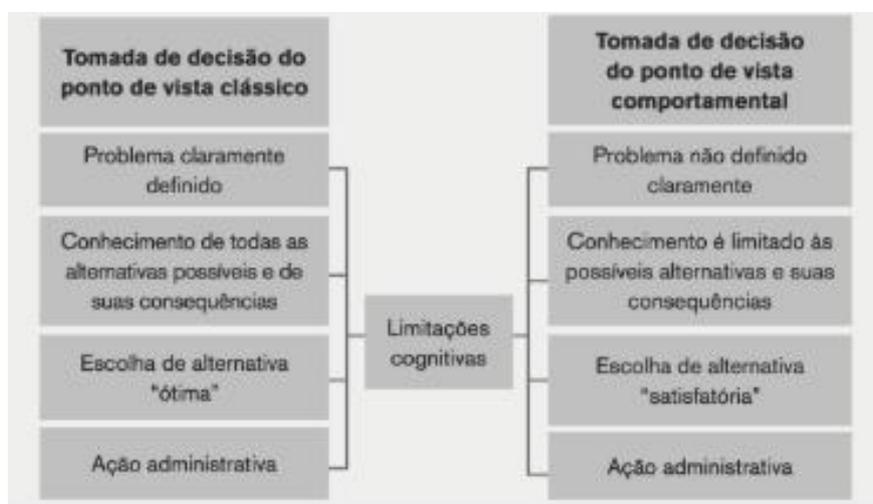


Fonte: Laudon e Laudon (2011).

2.3.1 Modelos de Tomada de Decisão

Os modelos organizacionais, a tomada de decisão e a resolução de problemas podem ser abordadas de várias formas, seguindo uma série de modelos. Mas dois modelos se destacam por serem mais seguidos: O Modelo Racional (ou Clássico) e o Modelo Comportamental. Na Figura 6 é apresentada uma comparação realizada por Chiavenato (2003) entre estes dois modelos quanto a suas limitações cognitivas.

Figura 6 – Comparação entre Modelo Racional e Modelo Comportamental



Fonte: Chiavenato (2003).

2.3.1.1 Modelo Racional

É considerado o primeiro modelo decisório feito por Simon (1947), e é caracterizado por elevar os objetivos da organização como um todo, levando em consideração todas as alternativas com informações perfeitas, com as decisões sendo tomadas de forma totalmente imparcial e a melhor para a organização, para a solução do problema. Se baseia no raciocínio técnico, em que o tomador de opinião se guia pela lógica e objetividade para atingir os objetivos.

Esse modelo engloba 8 passos:

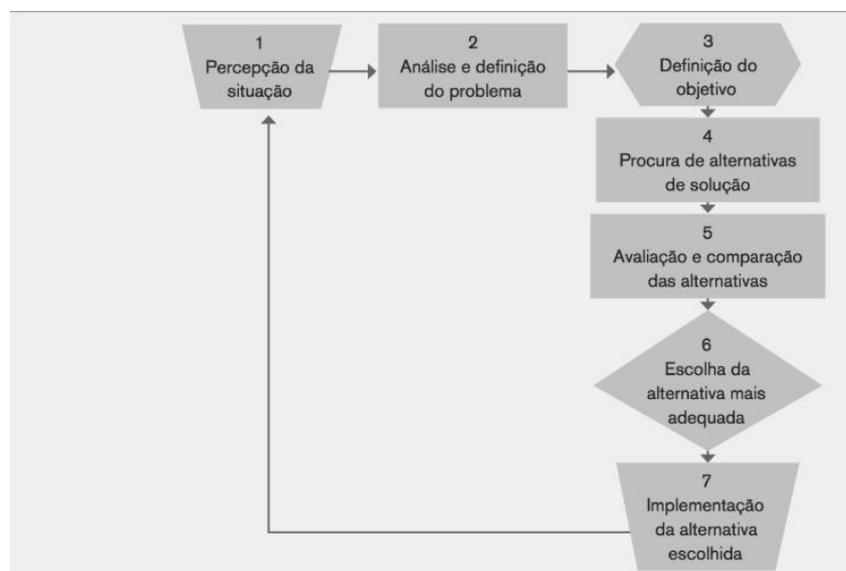
1. **Identificação do problema** – deve-se identificar a inconsistência entre o estado atual e o desejado, assim, sendo preciso uma tomada de decisão.
2. **Identificação dos critérios de decisão** – após identificado, o tomador de decisão deve definir o que é relevante na tomada de decisão.
3. **Ponderação dos critérios de decisão** – nem todos os critérios do Passo 2 tem o mesmo peso de importância para a tomada de decisão. Pode ser criada uma escala de importância ou atribuir coeficientes (como notas de 1 a 10), elencando sua importância para a tomada de decisão.
4. **Identificação das alternativas** – Com todos os critérios já definidos e com seus respectivos pesos, deve ser identificadas as alternativas para a solução do problema.
5. **Análise das alternativas** – O tomador de decisão deve analisar as alternativas seguindo os critérios estipulados no Passo 3.
6. **Seleção da melhor alternativa** – Após análise no Passo 5, é escolhida a melhor alternativa entre as que foram elencadas.
7. **Implementação da alternativa escolhida** – É feita a implementação da escolha no Passo 6. É importante que seja feita a correta implementação para evitar erros ou falhas.
8. **Avaliação dos resultados e da eficácia da decisão** – É verificado se a decisão tomada tem eficácia e se produz os resultados desejados.

De forma similar, os passos do modelo racional são adaptados para a prática organizacional. Do ponto de vista organizacional, os seguintes passos são adotados (CHIAVENATO, 2003):

- Percepção da situação que envolve algum problema.
- Análise e definição do problema.
- Definição dos objetivos.
- Procura de alternativas de solução ou de cursos de ação.
- Escolha da alternativa adequada ao alcance dos objetivos.
- Avaliação e comparação das alternativas.
- Colocar em prática a melhor solução dentro da organização.

A relação desses passos é graficamente apresentada na Figura 8.

Figura 7 – Modelo Racional pelo ponto de vista organizacional



Fonte: Chiavenato (2003).

Estas etapas não são necessariamente seguidas à risca uma a uma. Conforme a necessidade, em determinados casos que existe muita pressão e exigem uma tomada rápida de decisão, algumas etapas podem ser abreviadas ou suprimidas. Caso haja tempo suficiente e não tenha pressão alguma, certas etapas podem ser ampliadas e estendidas.

2.3.1.2 Modelo Comportamental

É caracterizado pela tomada de decisão baseando-se no comportamento dos indivíduos na organização. Os gestores devem prever o impacto das decisões sobre o contexto das decisões.

2.3.2 O processo decisório e a Tecnologia da Informação como apoio

De acordo com Albertin (2001), as mudanças na economia e nos mercados têm causado turbulências acentuadas. Desta forma, a TI passa a ser decisiva no fracasso ou sucesso de uma empresa.

Laurindo (2002, p. 19) refere-se a TI como sendo “mais abrangente do que o processamento de dados, sistemas de informação, engenharia de software, informática ou o conjunto de hardware e software, pois também envolve aspectos humanos, administrativos e organizacionais”. Enquanto Laudon e Laudon (2004) define sistemas de informação como um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando juntos para coletar, recuperar, processar, armazenar e distribuir informações com a finalidade de facilitar o planejamento, o controle, a coordenação, a análise e o processo decisório em empresas e outras organizações.

Existem algumas classificações para os sistemas e tecnologias de apoio a decisão. Laudon e Laudon (2011) apresenta quatro categorias:

- **Sistemas de Informação Gerenciais (SIG)** – Focada nas funções de planejamento, controle e tomada de decisão de nível gerencial. Em geral, condensam informações obtidas de sistema subjacentes de processamento de transações (SPT) e apresentam informações em forma de relatórios sumarizados de rotina e exceção. Têm pouca capacidade analítica e usam modelos de apresentação de dados;
- **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)** – Focada no suporte às decisões através de simulações com a utilização de modelos; construídos para dar suporte às decisões gerenciais semiestruturadas ou não-estruturadas, sobre assuntos dinâmicos, que sofrem constantes mudanças de cenário ou que não podem ser facilmente especificados. Apresentam maior capacidade analítica, o que permite empregar vários modelos diferentes para análise de informação. Na sua arquitetura básica compreende dados, modelos e a interação com o usuário.
- **Sistemas de Apoio ao Executivo (SAE)** – Focada na assistência e fornecimento de informações externas e internas que auxiliam a gerência sênior na tomada de decisões não-estruturadas e semiestruturadas, de forma a otimizar o tempo na obtenção da informação. Reúne dados de toda a organização, permitindo aos gestores visualizar os dados de maneira padronizada, ajustando assim para os fins necessários, em uma interface fácil de usar.
- **Sistemas especialistas** – Focado na captura a expertise humana, armazenando e processando conhecimento adquirido em uma determinada área de conhecimento. Busca compilar um conjunto de regras (também denominada base de conhecimento) para um sistema para que possa ser usado por outras pessoas na

organização, com um número limitado de tarefas, com o intuito de reduzir horas de trabalho. É recomendado em situações onde a tomada de decisão é cara ou escassa. Para buscar coleções de regras a fim de formular uma conclusão deve-se realizar um mecanismo de inferência, vasculhando aquelas que estão relacionadas ao problema pesquisado.

Outra ferramenta que auxilia na transformação de dados brutos em informações são as tecnologias de **Business Intelligence** (BI). Segundo Jamil (2002), O BI compreende técnicas, métodos e ferramentas que possibilitem ao usuário analisar dados e, com esses dados, obter respostas que subsidiem a tomada de decisão. Com isso, Affeld e Silva Junior (2013) afirmam que a tecnologia BI tem por objetivo melhorar a qualidade da informação entregue ao gestor. As principais ferramentas de BI são Data Warehouse, processamento analítico online (OLAP) e Ferramentas de mineração de dados (SILVA et al, 2014).

3 REVISÃO DA LITERATURA

Para alcançar o objetivo deste trabalho, relacionado a tomada de decisão no transporte público por ônibus, foi realizada uma busca a fim de identificar e relacionar pesquisas, estudos e ferramentas, que estão disponíveis até o momento na literatura com o escopo deste trabalho.

3.1 DEFINIÇÃO E EXECUÇÃO DA SELEÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS

Para realizar esta pesquisa de trabalhos relacionados foi considerado o uso de buscadores da Google. O Google Scholar¹¹ (Google Acadêmico), é uma ferramenta de pesquisa que permite buscar por trabalhos acadêmicos, literatura escolar, jornais de universidades e artigos variados, visto como apropriado para a análise de periódicos de acesso aberto. O uso do Google Scholar é justificado pelo fato de seus resultados incluírem artigos das principais fontes de dados da área de pesquisa como IEEE, Springer e ACM (HADDAWAY, et al., 2015). Para identificação de outros artigos ou ferramentas que eventualmente não tenham publicações vinculadas à academia, usa-se o buscador Google. Neste último, desconsidera-se os resultados já encontrados no primeiro buscador.

Para realizar esta pesquisa, foram utilizados termos genéricos derivados do objetivo do trabalho, com o objetivo de encontrar artigos de cidades do Brasil e mundo, que apresentam soluções para o transporte público baseando-se em ITS. Os termos usados em inglês: *Intelligent Transport System Public Transport, Advanced Public Transport Management System, Advanced Public Transport Management System Decision Support*; e em português: Sistema inteligente de transporte público, Sistemas Avançados de Transporte Públicos (APTS).

O período em que foi realizado esta busca foi datado de julho a setembro de 2020. Como resultado dessas buscas, foram analisadas as 5 primeiras páginas com resultados oriundos da fonte de dados Google Scholar, gerando 11 publicações de 250 analisadas. Da fonte de dados Google, das 250 publicações e *links* analisados, foram considerados

¹¹ <https://scholar.google.com/>

relevantes 32. No entanto, foram considerados somente os 5 trabalhos mais relevantes, considerando o escopo deste trabalho.

Para esta pesquisa, são considerados apenas artigos publicados em português e inglês, também considerando artigos ou ferramentas que contribuam para a pesquisa e que estejam publicados como artigos científicos que possuem foco no transporte público por ônibus.

3.2 ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS

3.2.1 Trabalho 1 - Real-Time Management and Control of a Bus Public Transport Network: The STCP Experience – Jorge Freire de Sousa;

Sousa (2009) apresenta um caso de uso de uma empresa da cidade de Porto, Portugal. Onde o autor descreve detalhadamente as razões para a utilização do sistema, a arquitetura e funcionalidades, bem como a importância dos dados coletados. O atual sistema de rastreamento e gerenciamento de frota cobre todos os veículos de transporte público, sendo um sistema integral de gestão na empresa, gerando dados em tempo real. Sendo assim, objetiva um controle total da frota, redução de gastos, obter mais e melhores informações sobre o serviço prestado, melhora nas condições de trabalho dos motoristas e aprimoramento do processo de planejamento.

Na arquitetura, o autor destaca que são quatro os componentes do sistema: a rede de comunicação, o equipamento embarcado, o centro de controle e o sistema de informação ao usuário. Em conjunto, esses dados fornecem informações ao controlador. Na rede de comunicação, a comunicação por voz e dados é realizada através de um mesmo canal, utilizando uma tecnologia chamada TETRA. Com os equipamentos embarcados, informações do veículo e dos passageiros são trafegadas pela rede de comunicação. No centro de controle, as informações dos subsistemas são recebidas em um servidor e armazenadas em um banco de dados parametrizado para ser utilizado no futuro. Em Porto, são 8 estações de trabalho, uma estação de configurações e estatísticas e uma parede de vídeo (Figura 8). Para auxiliar o centro de controle, ainda há câmeras espalhadas pela cidade. O sistema de informação ao usuário está disposto em alguns

pontos de paradas e dentro dos veículos, permitindo que o usuário tenha informações sobre as próximas paradas, o tempo de espera até o próximo ônibus e informações e avisos enviados pela empresa.

Figura 8 – Centro de Controle com as estações de trabalho e a parede de vídeo



Fonte: Sousa (2009).

Além destes serviços, o sistema da cidade de Porto permite muitas funções de controle e gerenciamento, permitindo inclusive a integração com outros sistemas existentes na empresa. A gestão da frota em tempo real permite ações como melhorar a distribuição dos passageiros nos ônibus, reduzir o tempo de espera dos usuários nas paradas, minimizar a perda de viagens (viagens com poucos ou nenhum passageiro) e ajustar a oferta do serviço em função de imprevistos no trajeto.

Um serviço destacado pelo autor é o aviso dos próximos ônibus a passarem por uma determinada parada. As informações para gerar essa informação são obtidas através de um algoritmo desenvolvido com base na localização do ônibus e na velocidade média anterior a requisição. Essas informações podem ser fornecidas a usuários com deficiência visual por meio de avisos sonoros, avisando-o quando o ônibus está próximo e ainda avisar o motorista que um usuário com deficiência visual está esperando o ônibus naquela parada.

3.2.2 Trabalho 2 - Application of the Advanced Public Transport System in Cities of China and the Prospect of Its Future Development - ZHANG Guohua, et al.

O trabalho de Zhang et al. (2007) apresenta aplicações de APTS em algumas cidades da China, bem como algumas possíveis aplicações e melhoramentos a serem realizadas. No início dos anos 2000, um dos pontos mais importantes era o desenvolvimento de ITS em várias cidades chinesas, dando maior foco em alguns pontos como: sistema inteligente de gerenciamento de trânsito, sistema de bilhetagem eletrônica, sistemas de serviço de informação de transporte público e plataforma de informação integrada de transporte urbano. A partir disto, o ITS da China obteve uma rápida melhora na gestão do transporte público e do nível de informações disponíveis.

Com isso, o autor destaca que o APTS se aperfeiçoará em alguns aspectos:

- Implementação de um sistema integrado de gestão do trânsito (semelhante a um CCO), implementando algumas ideias como a criação de um modelo de despacho do ITS restringido pela capacidade do transporte urbano, a criação de um modelo de avaliação do serviço do transporte público de acordo com a situação do tráfego, a construção de um modelo de despacho automático de transporte público de acordo com a situação de demanda do fluxo do transporte público, a integração de sistemas de gestão com outros sistemas inteligentes e uma intensa atualização do ITS quanto a sua construção, operação e planejamento urbano;

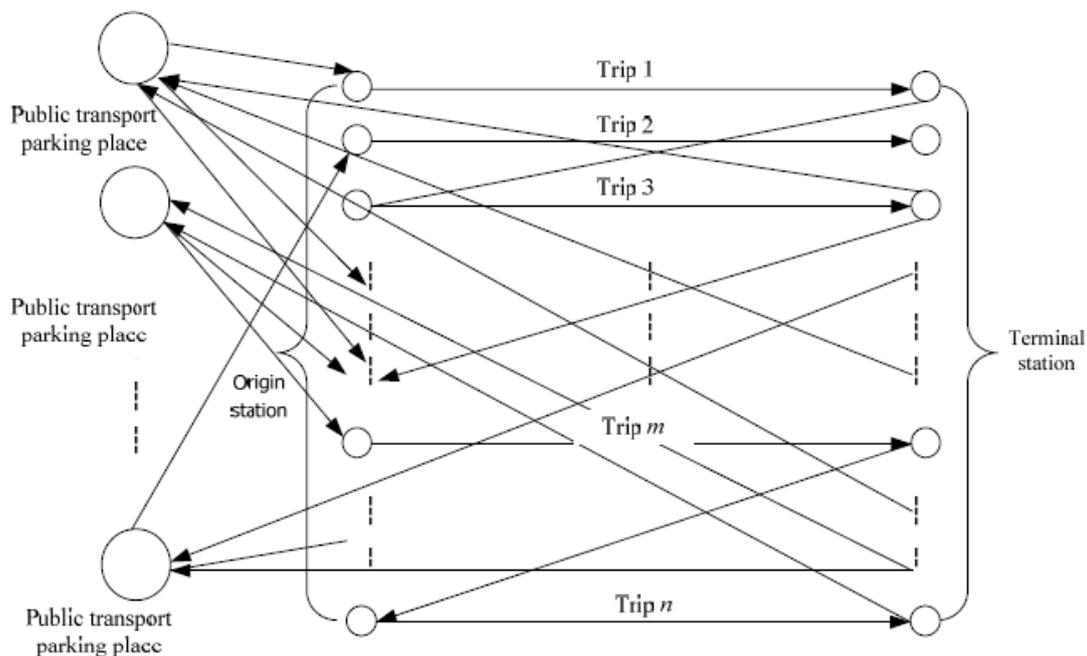
- Implementação de um sistema de serviço de informação de transporte público inteligente voltada a humanização, transformando informações estáticas em um serviço dinâmico, com dados em tempo real. Com isso, dados de diferentes métodos de transporte público estariam mesclados, dando oportunidade ao usuário a efetividade e ajuda no serviço de informação.

- A realização de operação em larga escala do sistema de ônibus regional do transporte público, coordenando as linhas anteriormente independentes no âmbito de uma determinada região por meio de algumas medidas técnicas, o tornando mais eficaz. Em outras palavras, a organização das operações regionais e o modo de despacho das linhas

são antecipados com base no pensamento de equilíbrio de passageiros, utilizado para reduzir o desequilíbrio da demanda de passageiros, refletindo no tempo de viagem. Para a realização deste cronograma de horários ideal, é estabelecido um modelo baseado no equilíbrio dos horários de despacho de ônibus pertencentes a diferentes linhas de ônibus. Com isso, o modelo de cronograma de despacho dos ônibus regionais é estabelecido usando o mínimo da empresa operadora da linha e dos funcionários, de forma que seja eficiente.

Segundo o autor, com esse modelo de cronograma mudará o modelo de programação regional atual na China, passando a ser um sistema multiterminais (Figura 9). Com isso, fica estabelecido com base na mínima distância total percorrida pela empresa ou no custo de operação, sendo assim, ficando abaixo do limite da gestão e do tempo de ociosidade dos ônibus.

Figura 9 – Modelo de operação de trânsito regional de multiterminais



Fonte: Zhang et al. (2007).

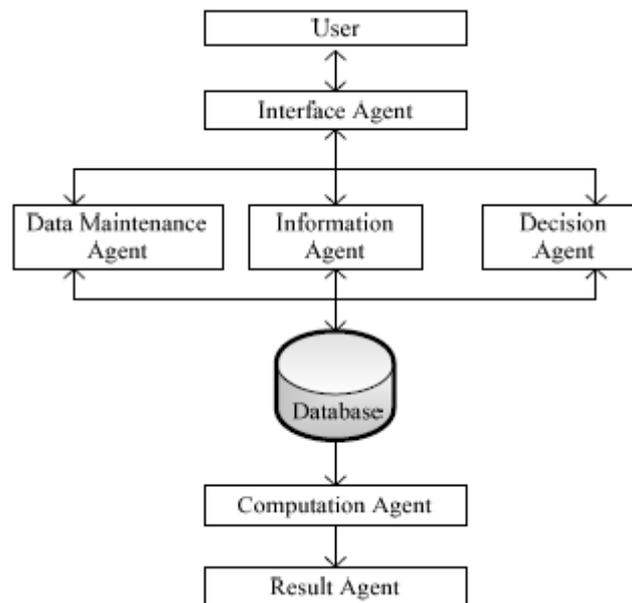
3.2.3 Trabalho 3 - Public Transport Dispatch and Decision Support System Based on Multi-Agent - Zengzhen He, Qisen Zhang

He e Zhang (2009) relatam neste trabalho o despacho do transporte público e um sistema de apoio a decisão baseado em multiagentes. Apresentando a arquitetura, estrutura e funções de cada agente no sistema. Também é apresentado o sistema proposto que tem por objetivo automatizar o cronograma de horários do transporte público, porém não é relatado como foi feita a implementação do sistema de maneira detalhada, apenas exemplificando as linguagens que podem ser usadas para a implementação.

Os autores destacam que um sistema avançado de cronograma de horários do transporte público urbano deve ter algumas características específicas como priorizar as pessoas no sistema de apoio a decisão dando atenção a interface e acessibilidade do sistema, apresentar características de escalabilidade do sistema, ser adaptável a várias plataformas e interagir com outros sistemas, bem como ser inteligente, ajudando na automatização das funções.

Na arquitetura do sistema, He e Zhang relatam que abandonaram a antiga estrutura de projeto de um sistema de suporte a decisão para diminuir a complexidade do projeto, que se caracteriza por ter unidades independentes, substituindo por todos os tipos de agentes com várias funções e tarefas. Cada agente é integrado com os modelos, conhecimentos e métodos para que as suas funções e tarefas sejam realizadas, seguindo o modelo apresentado na figura 10.

Figura 10 – Estrutura de despacho do transporte público e sistema de apoio a decisão baseado em multiagentes



Fonte: He et al. (2009).

O Agente de Interface, tem modelos correspondentes nos quais o operador pode obter soluções direto do Sistema de Informação de Gestão de Transporte Público Inteligente ou informações com entradas manuais, podendo modificar ou formular o esquema de horários de forma independente e elaborar programações do esquema de horários de saída. Com isso, o Agente de Interface possui os conhecimentos correspondentes de forma a auxiliar o operador na realização dos comandos de controle e na entrada de informações de forma fácil e rápida.

No nível abaixo, está o Agente de Decisão, cuja função é fornecer uma solução de um cronograma de horários ao operador. Projetar um esquema de horários do transporte público pode ser uma tarefa difícil, onde devem ser trabalhados com informações de entrada e saída. O trabalho deste agente de decisão é receber as informações de entrada (prefixo do ônibus, horário de chegada, número de passageiros, etc.) e converter em informações de saída (prefixo do ônibus, horário de partida, linha que fará, funcionários envolvidos, etc.), onde para tal tarefa, possui algoritmos de conversão de modo a garantir que estas sejam cumpridas.

Ao lado do Agente de Decisão, está o Agente de Informação, projetado para cobrir a falta de inteligência do Agente de Decisão, oferecendo um sistema homem-máquina. As informações inseridas, modificadas e as em tempo real são transferidas ao Agente de Decisão através do Agente de Interface, onde o Agente de Informação processa e analisa estas informações e armazena no banco de dados. Caso ocorra algum conflito nos dados analisados, o Agente de Interface é comunicado para que seja realizada alguma ação pelo operador. O módulo responsável pela inferência dos dados internos e externos é o módulo de raciocínio, sendo crucial para o funcionamento.

Outro agente deste nível é Agente de Manutenção de Dados, utilizado para que o sistema tenha boa aplicabilidade universal e seja aplicado em outros sistemas de transporte público urbano de diferentes cidades, possibilitando uma boa flexibilidade para o desenvolvimento de mais módulos no sistema.

O Agente Computacional está abaixo dos anteriores, cujos principais componentes são *perceptron*¹² e modelos computacionais. O *perceptron* é usado para responder rapidamente à mudança das informações de operação de despacho do operador. Assim, percebe em tempo real alterações e obtém todas as informações de operação automaticamente do operador. Os modelos computacionais podem fazer qualquer tipo de cálculo, sempre de acordo com as informações do *perceptron*.

Ao fim de passar por todos os agentes, o Agente de Resultado desenha horários de despacho de transporte público em tempo real e realiza todos os tipos de ferramentas gráficas de acordo com os dados do Agente de Computação.

3.2.4 Trabalho 4 - Sistemas Inteligentes de Transporte – NTU

O trabalho da Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano, a NTU (2013), traz relatos baseados em apresentações e assuntos tratados em um evento sobre ITS realizado em 2011. Nele, foi discutido o uso do ITS dentro do contexto brasileiro de gestão, planejamento e operação de cada cidade, e apresenta estudos de casos da implementação de projetos de ITS para as cidades de Fortaleza, Goiânia, Porto Alegre e

¹² Perceptron em computação é um tipo de rede neural artificial.

Rio de Janeiro. Este estudo foi realizado antes de eventos importantes no Brasil, que acarretaram muitos investimentos em transporte.

3.2.4.1 Fortaleza

Em Fortaleza e região metropolitana existe o Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SIT-FOR). O consórcio operacional, que é a união das empresas de ônibus, possui um conselho gestor, um setor de controles de qualidade, fiscalização, é instalado rastreadores na frota e câmeras de monitoramento bem como a utilização de um Centro de Controle Operacional (CCO). Este CCO tem visão geral de todo o sistema de operação, podendo auxiliar nas decisões do conselho, melhor atendimento ao usuário e a adequação de horário e linhas para melhor atender o cliente.

Para a implementação deste sistema, o projeto, em sua implementação, foi dividido em três fases: levantamento de dados, definição do cronograma e a execução. No levantamento de dados foi feita a identificação da área de operação das empresas e identificação da frota, e definido um cronograma para a execução deste levantamento. Na fase de execução, ela foi subdividida em três etapas: o mapeamento da cidade, a instalação dos equipamentos e a realização dos treinamentos. No mapeamento foi realizado o georreferenciamento dos pontos de paradas, terminais de integração, e todos os outros pontos que demandavam atenção, como radares e passagem de nível. A instalação dos equipamentos foi realizada com o apoio da empresa fornecedora do serviço em conjunto com o Sindiônibus, enquanto o treinamento foi executado pela fornecedora da solução ITS. O treinamento foi dado a todos que seriam atingidos com a operação do sistema.

Com o planejamento do projeto todo executado, voltou-se então para a operação do sistema. No CCO, a arquitetura da tecnologia da informação seria toda armazenada em um servidor central do Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Ceará (Sindiônibus), buscando assim a padronização e sincronização dos dados. O acesso a estes dados e informações são descentralizados, usando bases de dados locais em cada empresa, sendo posteriormente armazenados no servidor central com redundância, como apresenta a Figura 11.

Figura 11 – Arquitetura da tecnologia da informação quanto a sincronização dos dados



Fonte: NTU (2013).

Com um CCO em cada empresa, o Sindiônibus possui uma visão geral do sistema de transporte coletivo da cidade. Com isso, é executada funções importantes para o controle e melhoria da operação, além de um controle detalhado do comportamento dos veículos através de telemetria, possibilitando a identificação de problemas ainda durante a operação.

Além disso, aos usuários são disponibilizadas informações pertinentes a linhas e informações gerais através de painéis e *totens* disponíveis em terminais de integração e locais de grande movimentação.

Com todos estes investimentos, houve retorno financeiro e operacional para as empresas. A implementação deste sistema acarretou em um aumento de receitas e da demanda de usuários, a redução dos custos de manutenção e a redução do consumo de combustível, bem como uma maior pontualidade do serviço, redução do tempo de socorro a veículos, entre outros.

3.2.4.2 Goiânia

Em Goiânia e região metropolitana, a Rede Metropolitana de Transporte Coletivo (RMTC) oferece o serviço de transporte utilizando sistemas inteligentes de transporte para isso. A cidade é destaque nacional no setor de transporte por ser pioneira na

implementação de vários serviços, como a bilhetagem eletrônica, operações sem cobrador e na utilização de CCO.

O CCO de Goiânia é composto por 20 postos de controle com três telas cada e com 60 operadores, funcionando 24 horas por dia. Este modelo é considerado único no país, com ênfase na previsão de problemas. Assim, o operador compara a operação programada e a realizada, em tempo real. A tecnologia usada foi criada pela Volvo, chamada *ITS4MOBILITY*, e é composta por diversos serviços para um controle de tráfego mais eficiente. Entre esses serviços, está um sistema do próprio veículo, onde estão os equipamentos embarcados e um sistema de comunicação.

3.2.4.3 *Porto Alegre*

Em Porto Alegre, o ITS está muito presente no sistema de transporte por ônibus, destacando o controle semaforístico com programação dinâmica, o monitoramento por imagens, sistema de fiscalização eletrônica de velocidade dos veículos, bilhetagem eletrônica e a fiscalização automática da frota de ônibus.

Um dos consórcios que operam em Porto Alegre, o Sistema Transportador Sul (STS) é um exemplo na apresentação de soluções ITS. Com problemas de ordenamento urbano na cidade de porto alegre devido a congestionamentos, o STS iniciou a inserção de tecnologias para a priorização do transporte público para compensar a falta de infraestrutura dedicada ao transporte em massa. Para a implementação, o consórcio realizou visitas técnicas em casos considerados exemplos na implementação de ITS, chegando assim a uma estrutura do sistema. Ao ser implantada em uma linha para testes durante 4 meses, os resultados foram significativos. Foram estabelecidos cinco indicadores para serem avaliados, e em todas tiveram redução.

O projeto oficial levou cerca de 6 meses para ser implementado, sendo voltado para o planejamento das fases do projeto, o estudo e definição de tecnologias empregadas e o treinamento dos técnicos e operadores. Porém, alguns problemas foram observados, como dificuldades no processo de treinamento e capacitação da equipe técnica e da cobertura das antenas de telefonia para a cobertura da comunicação entre o veículo e a central.

3.2.4.4 Rio de Janeiro

O Rio de Janeiro, por sua vez, visa algumas áreas do ITS seguindo as concessões do transporte público e por projetos de BRT. Na licitação para o transporte público, era obrigatório os veículos terem câmeras internas e GPS. Com isso, os esforços ficaram voltados para áreas como Bilhetagem eletrônica e biometria, Sistema de informação ao usuário, Centro de Controle Operacional e Fiscalização eletrônica.

Para a bilhetagem eletrônica, todo o estado possui um mesmo responsável por esse serviço, o que permite a uniformização do sistema. Para reduzir fraudes no sistema de bilhetagem, estão em testes o uso de biometria e reconhecimento facial. Para fornecer informações ao usuário, o Rio de Janeiro possui apenas um site com alternativas de viagens, número e nome das linhas. Com parceria com o Google, o sistema também alimenta o *Google Transit*.

3.2.5 Trabalho 5 – An Intelligent Assistant for Public Transport Management – Martin Molina.

No trabalho apresentado por Molina (2005) é descrito uma arquitetura que tem por finalidade auxiliar na gestão do transporte público, oferecendo a operadores de uma Centro de Controle Operacional (CCO) a ajuda na tomada de decisão estratégica na maneira de solucionar problemas relacionados a frota do transporte urbano por ônibus. Além disto, é apresentado duas aplicações que seguem esta arquitetura para duas cidades europeias.

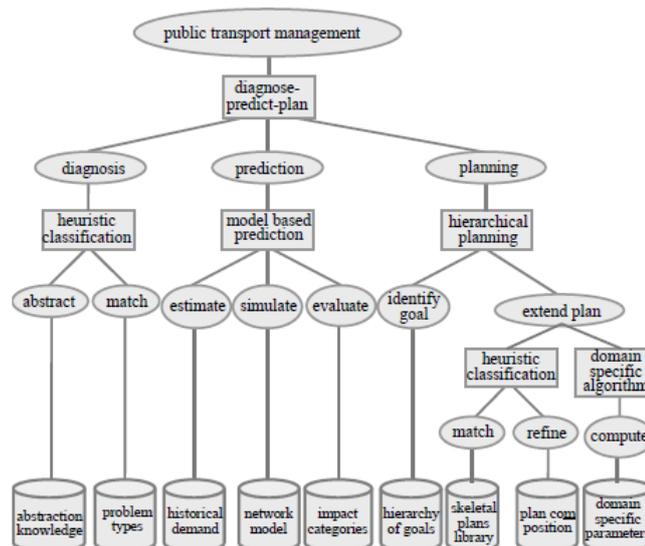
Segundo o autor, a arquitetura deste sistema segue a ideia de um assistente inteligente, seguindo o conceito derivado da inteligência artificial que é capaz de identificar um tipo de sistema para auxiliar o usuário no processo de tomada de decisão, dando ênfase que o operador responsável é o tomador de decisões. Com isso, o sistema não é projetado para substituir o operador, mas sim prestar um serviço assistencial a ele.

Descreve também o objetivo dos centros de controle, que é prestar um serviço adequado ao passageiro, garantindo um serviço da maneira mais próxima a planejada inicialmente, respeitando as tabelas de horários dos motoristas, garantindo a segurança

do serviço ofertado e o bem-estar dos passageiros e motoristas, além de dividir as funções do centro de controle em três principais tarefas: diagnóstico, previsão e planejamento.

Para o auxílio no suporte para o gerenciamento do transporte público, o assistente inteligente proposto pelo autor deve simular o processo de pensamento natural que os operadores usam em seus critérios estratégicos, nos mesmos níveis de abstração. Na Figura 12 o autor apresenta uma visão geral do modelo proposto, mostrando a hierarquia das tarefas (círculos), os métodos (retângulos) e as tipos de base de conhecimento (cilindros).

Figura 12 – Modelo de conhecimento para o gerenciamento do transporte público proposto por Molina

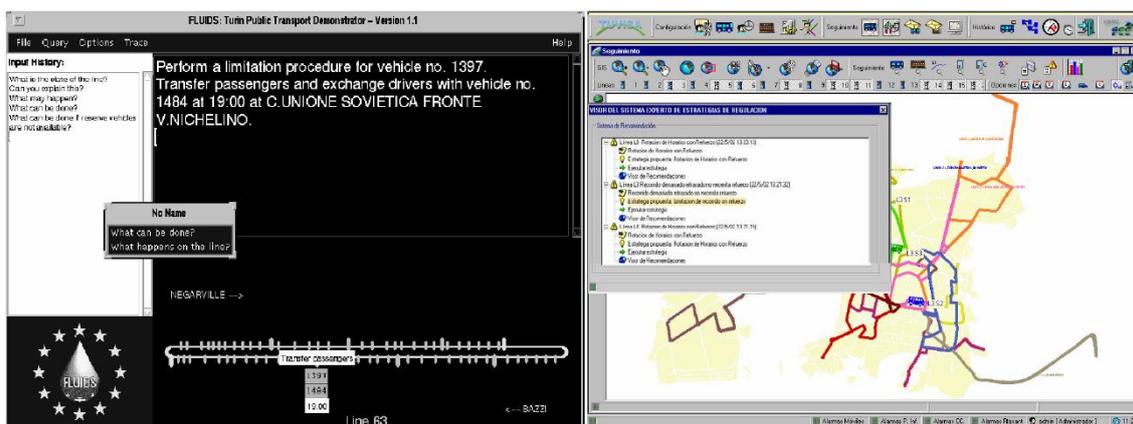


Fonte: Molina (2005).

A primeira aplicação apresentada por Molina (2005) foi desenvolvida por Comissão Europeia para Programas de Aplicações Telemáticas, sendo chamada de FLUIDS. Tinha como objetivo principal prover métodos avançados para interação entre usuário e sistema no contexto de suporte a decisão em tempo real. Este sistema utiliza um ambiente de software chamado KSM que provê uma abordagem baseada em modelo e um conjunto de componentes para facilitar o desenvolvimento.

A segunda aplicação apresenta melhoramentos comparada com a primeira. Foi concebida se baseando na mesma arquitetura proposta pelo autor, porém de maneira genérica, a fim de ser reutilizada em diferentes modais de transporte público. Implementada na cidade de Vitória, na Espanha, este sistema foi idealizado seguindo uma determinada arquitetura de software que integra o conjunto de procedimentos de inferência e bases de conhecimento usando uma memória de trabalho comum juntamente com um mecanismo de controle explícito. O usuário pode acessar o modelo de conhecimento usando uma interface de usuário específica desenvolvida para esse fim, com o intuito de fornecer a flexibilidade necessária para a manutenção do modelo de conhecimento. Na Figura 13 é possível identificar a mudança e evolução dos sistemas ao longo dos anos. A esquerda, está a primeira aplicação apresentada por Molina, do ano de 1998. E na direita a aplicação da cidade de Vitória, de 2001.

Figura 13 – Comparação entre aplicações que seguem arquitetura proposta por Molina



Fonte: Molina (2005).

3.2.6 Trabalho 6 - Intelligent Transportation Decision Analysis System Based on Big Data Mining - Huichuan Liao

Liao (2019) descreve neste artigo o transporte inteligente e o *big data mining*, e analisa a aplicação de big data e tecnologias de *data mining* no sistema de análise de decisão de transporte inteligente, sendo este é resultado do contínuo crescimento da

urbanização e sua população, que por consequência, acarreta problemas cada vez maiores de tráfego e escassez de recursos terrestres.

Com isso, o autor relata que a infraestrutura de transporte da cidade não consegue acompanhar o ritmo de crescimento do fluxo de tráfego. Para melhorar esta situação, o autor cita que o objetivo principal de estabelecer um sistema de decisão de transporte inteligente é melhorar o nível de gestão do tráfego da cidade, melhorando a racionalidade da tomada de decisão do tráfego, aliviar a pressão do tráfego na cidade, fazer uso total dos recursos de tráfego existentes para atender às necessidades das pessoas que o utilizam. Assim, os problemas de tráfego foram atenuados em certa medida devido à aplicação do sistema de decisão de transporte inteligente na cidade.

Então, com os dados em massa do tráfego, é uma questão chave em como utilizar a tecnologia de *big data* para análise de mineração de dados deve tornar um serviço melhor para o Sistema de Transporte Inteligente de modo a servir melhor o tráfego inteligente e promover a melhoria do sistema de serviço de transporte inteligente. Para ter o controle de todos esses dados, o autor relata que foi utilizado a mineração destes dados, assim, através do método de análise de informações massivas de dados, extrair as informações eficazes para o uso do sistema de serviço de transporte inteligente, fornecendo sugestões e orientações para o ajuste do fluxo de tráfego e viagens.

O autor divide a arquitetura do transporte inteligente em 3 camadas, representadas na Figura 14:

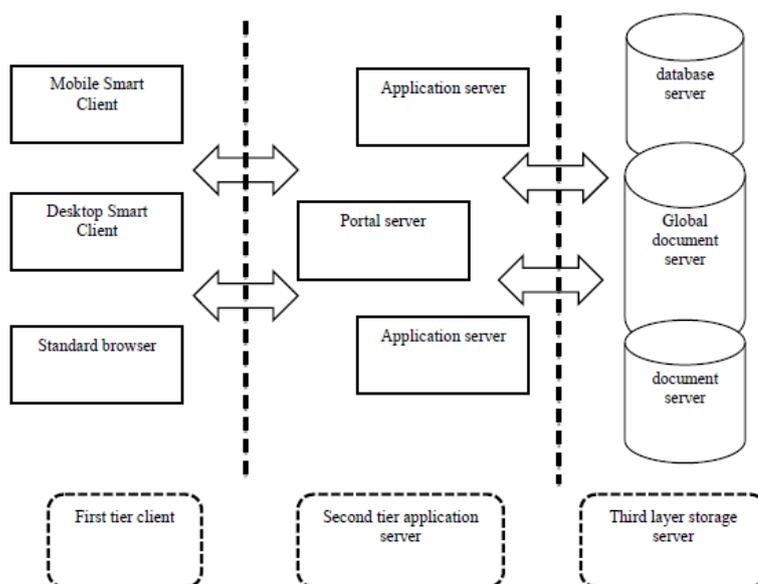
Camada de informação: onde a principal função é a coleta de informações. As informações de localização e de tráfego do veículo são coletadas em tempo real e enviadas para o servidor da plataforma de tráfego inteligente. A plataforma em nuvem é executada por meio do algoritmo de localização de várias estações base para simular e calcular a localização e a rota específicas do veículo ou indivíduo. Estas informações de tráfego podem ser alimentadas pelos moradores, com o uso de telefones celulares ou outros dispositivos para fazer upload de informações de GPS.

Camada de comunicação de rede: Sua principal função é a transmissão dos dados, enviando as informações dos dados da plataforma.

Camada de serviço em nuvem: É principalmente responsável por converter, analisar e armazenar dados codificados, prever o tempo de congestionamento de tráfego

e o grau de congestionamento, especialmente na estrada congestionada, para fornecer uma previsão de tráfego, otimização de caminho e um serviço de consulta de informações de ônibus em tempo real.

Figura 14 - Arquitetura da Plataforma de Sistema de Transporte Inteligente de Liao



Fonte: Liao (2019)

O autor relata também sobre o esquema de análise de mineração de big data, onde o sistema de decisão de transporte inteligente é construído com base no modelo de análise de big data do tráfego urbano. Nas ruas, uma *tag* de identificação é alocada em um intervalo de distância em vias de fluxo intenso, de modo a construir uma biblioteca de *tags* de várias ruas na cidade. A localização e a trajetória do veículo motorizado nas ruas serão coletadas em tempo real, e a localização das coordenadas geográficas do veículo são mostradas nas ruas correspondentes. Por meio da estrutura Map Reduce, o sistema pode calcular rapidamente o fluxo de tráfego em cada seção. Em seguida, ele pode determinar se há congestionamento. Assim, o sistema fornece uma referência forte para a programação do tráfego e recomenda o melhor caminho para os usuários. Na plataforma de transporte inteligente, o percurso de cada carro será registrado a qualquer momento. A rota geral é dividida em várias seções e haverá uma série de rotas acessíveis do início ao fim, de modo a economizar tempo de viagem dos usuários.

3.3 DISCUSSÃO

Os trabalhos relacionados selecionados apresentam em sua grande maioria arquiteturas para ITS, descrevendo situações de cidades pelo mundo e suas aplicações, bem como a comunicação entre os componentes embarcados com as centrais de controle, fornecendo dados para a tomada de decisão. Mas, em geral, não apresentam como esses dados podem ser usados para auxiliar gestores das empresas em tomadas de decisão.

Na China, é relatado o andamento do ITS no país e os futuros investimentos para torná-lo mais eficiente em um país tão populoso e em desenvolvimento constante. Entretanto, o trabalho não relata como essas ações são realizadas, fazendo apenas projeções e relatando que existe sistemas ITS no país. Em Portugal, por sua vez, o trabalho apresenta ações já realizadas na cidade de Porto, dando exemplos práticos, relatando a comunicação entre os veículos e seus sistemas embarcados e a central, bem como soluções para os passageiros, com deficiências ou não. Mesmo sendo apresentado em vários países, não fica especificado de forma explícita a comunicação e equipamentos utilizados, tampouco detalhes sobre os seus funcionamentos. Mas fica claro que o ITS está presente em todo o mundo, com suas diferentes arquiteturas. Uma destas arquiteturas envolve diferentes níveis, divididos em módulos, buscando facilitar o entendimento e sua manutenção, além de estipular suas funções de modo que fiquem organizados e isolados em caso de aperfeiçoamentos.

Assim como em todo o mundo, no Brasil também já conta com ITS em inúmeras cidades. Utilizando principalmente a bilhetagem eletrônica e centros de controle. O modelo brasileiro consegue acompanhar os detalhes dos veículos durante 24 horas por dia, tendo controle sobre problemas com os veículos, passageiros e imprevistos nas vias urbanas. As cidades utilizam ITS em áreas que se há a necessidade de melhorar, mas não é sempre que a utilização é na sua forma plena. Algumas cidades priorizam o uso de terminais de integração e outras o atendimento ao usuário como diretrizes.

No contexto de Santa Maria/RS, o ITS está ligado ao rastreamento da frota de ônibus e o controle de linhas – através de um teclado integrado ao veículo, onde o motorista informa sua matrícula e o código da linha a ser executada – e a disponibilização de horários e previsão de chegada em paradas através do aplicativo Urmob¹³. Tudo isso

¹³ <https://urmob.com.br/>

é realizado utilizando a plataforma Zelts, que é uma plataforma de rastreamento veicular e controle de frota, permitindo que o cliente tenha acesso a relatórios de percursos, relatórios sobre motoristas e veículos, entre outros. Mesmo contando com estes dados, Santa Maria possui um déficit no transporte público devido à falta de um processo de tomada de decisão. Com a oferta de novos dados para fornecer maior controle dos veículos, como sensores para coletar dados do número de passageiros em cada veículo (em tempo real) e outros serviços, e a incrementação de ferramentas, busca-se que assim haja um auxílio mais completo aos gestores na tomada de decisão para uma melhoria contínua na gestão dos serviços de transporte público na cidade.

4 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE TOMADA DE DECISÃO

Neste capítulo é apresentado todo o processo de desenvolvimento do módulo de tomada de decisão para o sistema de transporte de ônibus da cidade de Santa Maria/RS, destacando os requisitos e funcionalidades do módulo, o público-alvo e as tecnologias adotadas. Para o desenvolvimento do módulo foi adotado o processo tradicional da engenharia de software (SOMMERVILLE, 2011) organizado nas seguintes etapas: análise, projeto, desenvolvimento e testes.

4.1 ANÁLISE E PROJETO DO MÓDULO DE TOMADA DE DECISÃO

Levando em consideração as necessidades das empresas de ônibus, em especial no contexto da cidade de Santa Maria-RS, em reduzir as perdas – financeiras ou pela diminuição de passageiros transportados – e as informações adquiridas por meio dos rastreadores instalados nos ônibus, foi possível identificar os requisitos para o módulo a ser desenvolvido. Desse modo, é esperado que o módulo auxilie na redução dos custos de manutenção dos ônibus, gestão de horários e itinerários das linhas e um maior controle sobre a frota total de ônibus.

Nesse contexto, e conforme mencionado anteriormente, a plataforma Zelts, que atua na cidade de Santa Maria, dispõe de informações dos rastreadores, que são armazenadas e compartilhadas com as empresas do transporte urbano. No entanto, há uma dificuldade na tomada de decisão com base nesses dados, necessitando pesquisas paralelas e fontes externas, mesmo o sistema podendo fornecer essas informações aos gestores e tomadores de decisão.

Análise do contexto

Hoje, o Consórcio SIM (Sistema Integrado Municipal) – responsável pelo serviço de transporte público por ônibus em Santa Maria-RS, que é formado por um conjunto de empresas de transporte, possui uma Central de Controle Operacional (CCO) nas suas

dependências, bem como cada empresa também possui um controle semelhante em suas garagens. Essa central possui como atribuição a tomada de decisões estruturadas, baseando-se nos dados coletados dos rastreadores instalados nos ônibus que compõem a frota. Essas decisões são determinantes para o aumento de horários em determinadas linhas, a identificação de problemas nos veículos, identificação de falhas mecânicas, entre outras atribuições.

Análise das necessidades

Existe uma demanda no CCO de identificar problemas rotineiros do cumprimento de horário de linhas. O sistema atual de controle de linhas cumpridas e não cumpridas é realizado por meio de um teclado que fica na cabine do motorista, onde ele informa sua matrícula e linha que irá iniciar imediatamente, estando assim, logado na linha que irá executar. Ao chegar ao ponto final desta linha, ele sinaliza no mesmo teclado o encerramento da linha. Porém, há alguns motoristas que ocasionalmente esquecem de realizar este procedimento, assim, comprometendo o controle das linhas. Outros, por sua vez, tentam burlar o sistema “logando” dentro do horário (existe uma margem de 4 minutos permitida pelo SIM entre o horário estipulado e o horário de saída/*login* na linha) porém com o veículo fora do trajeto da linha. Assim, o sistema identifica o horário como correto, mesmo o motorista não estando cumprindo a linha.

A consulta a números de linhas atrasadas, linhas não cumpridas, linhas adiantadas e os *logins* fora do início da linha não são exibidos no sistema atual. Para a consulta desses dados, é necessário consultar relatórios de *logins* em linhas e contabilizar estas informações manualmente, assim, desperdiçando recursos humanos que poderiam estar focados em tarefas mais estratégicas como no controle e identificação de problemas.

Com base na análise do contexto e das necessidades, pretende-se com módulo de tomada de decisão auxiliar o CCO fornecendo informações que auxiliem a tomada de decisão, disponibilizando um *dashboard* com dados tratados extraídos dos rastreadores vinculados a plataforma Zelts e de outros eventos, com o objetivo de contribuir para uma melhor prestação de serviço e um melhor controle e aproveitamento da frota de ônibus urbanos. O *dashboard*, apresenta informações do dia anterior e da última semana, bem como informações em tempo real das operações na cidade.

Nas informações em tempo real, os dados de atrasos de linhas, adiantamentos, não cumpridas e *logins* fora da linha, sendo possível permitem identificar os problemas instantaneamente, sem a necessidade de buscas demoradas nos relatórios. A previsão do tempo, indicando temperaturas mínimas e máximas para o dia pode ajudar os gestores no melhor manejo da frota. Atualmente, no sistema Zelts, é possível visualizar em relatórios das linhas as viagens cumpridas e com problemas (atrasadas, adiantadas e não cumpridas). Entretanto, não é possível identificar os *logins* fora de linha e nem somente as viagens com problemas.

Quanto as informações de dias anteriores, a apresentação de dados como atrasos e não cumpridas, envolvendo as linhas que mais atrasam e os ônibus que mais atrasam, também pode auxiliar os gestores em decisões e organização da frota. Outro dado apresentado pode envolver frenagem e aceleração brusca. Esses dados possibilitam a identificação do conforto na viagem.

Disponibilizando estes recursos de forma integrada em um *dashboard*, pode ajudar consideravelmente os gestores e tomadores de decisão na empresa na identificação desses problemas e numa melhora a curto prazo da prestação de serviço à comunidade local e redução de custos operacionais as empresas.

Requisitos:

Conforme identificado na análise de necessidades, foi elencado os requisitos que o módulo de tomada de decisão deve conter:

- Criar índices que possibilite um entendimento da qualidade do serviço de transporte público por ônibus, seguindo índices da Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTrans)¹⁴ e que sejam úteis às empresas;
- Apresentar a previsão do tempo na cidade e suas temperaturas máximas e mínimas;
- Apresentar dados em tempo real sobre linhas atrasadas, linhas adiantadas, linhas não cumpridas e *logins* fora de linha;

¹⁴ Criada em 1991, a BHTrans é responsável pelo planejamento da mobilidade urbana, pela gestão dos Contratos de Concessão do Serviço de Transporte Coletivo Convencional por Ônibus, pelo gerenciamento dos serviços de táxi, transporte escolar, transporte coletivo suplementar, além do trânsito e sistema viário (BELO HORIZONTE, 2021).

- Apresentar gráficos que possibilitem identificar problemas referentes ao cumprimento das linhas;
- Apresentar gráficos que identifiquem a qualidade das viagens;
- Identificar e sugerir ações a problemas rotineiros da operação.

Público-alvo:

Com estes requisitos, o módulo de tomada de decisão busca ajudar empresas de ônibus, da cidade de Santa Maria-RS, na identificação de problemas nas linhas antes que eles aconteçam. O módulo é desenvolvido para usuários com função de gestor nas empresas de ônibus, que possuem responsabilidades estratégicas e de tomada de decisões para identificação e resolução de problemas operacionais.

Tecnologias:

O módulo utiliza tecnologias *web*, possibilitando a sua utilização em qualquer plataforma, independentemente do sistema operacional utilizado e sendo necessária apenas conexão com a internet. As informações oriundas da plataforma Zelts são recebidas por meio de um *WebService* disponibilizando os dados no formato JSON¹⁵ (*JavaScript Object Notation*), que é tratado e apresentado ao usuário utilizando *JavaScript* em um *template Bootstrap*. A tabela 2 apresenta as tecnologias usadas e sua utilização no desenvolvimento do módulo.

Tabela 2 – Tecnologias adotadas e suas descrições

Tecnologia	Descrição
Bootstrap	É um <i>framework front-end</i> desenvolvido para a criação de sites e aplicações web, sendo sua estrutura construída em HTML, CSS e JavaScript para facilitar o desenvolvimento de sites responsivos.
Web Service	É uma tecnologia que possibilita novas aplicações interajam com outras aplicações já existentes e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam

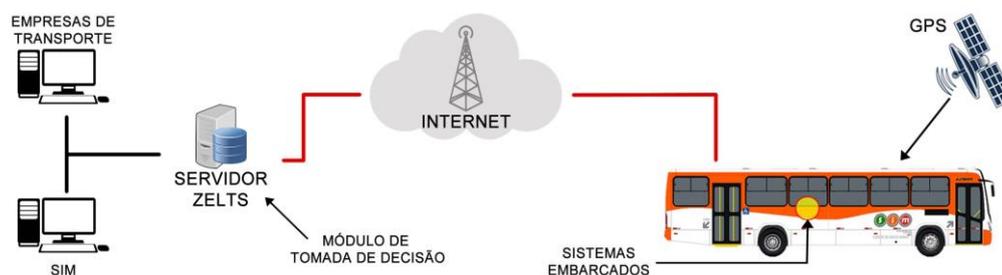
¹⁵ JavaScript Object Notation (JSON), é uma formatação de textos, que facilita o intercâmbio de dados estruturados entre todas as linguagens de programação, sendo utilizada para integrações entre sistemas. (ECMA INTERNACIONAL, 2017)

	compatíveis. Os Web Services são componentes que permitem às aplicações enviar e receber dados, utilizando formatos de dados como o JSON.
JavaScript	Linguagem de programação que permite implementar itens complexos em páginas web, mostrando conteúdo que se atualiza em um intervalo de tempo, no contexto deste trabalho, a atualização de informações referentes ao andamento do transporte público por ônibus em Santa Maria-RS.
JSON	Formato de dados de texto que segue um padrão para a troca de dados simples entre sistemas, sendo utilizada para receber os dados do Web Service e apresentar ao usuário.

Arquitetura

As informações que alimentam a plataforma Zelts são provenientes de rastreador veicular por GPS instalados em todos os ônibus que compõem o Consorcio. Esse rastreador possui um chip com tecnologia GSM¹⁶ instalado que se comunica por meio de torres de telefonia e permite o envio das informações do veículo para a central da empresa. O envio dos dados do rastreador podem ser ajustados, dependendo da necessidade da precisão das informações que o cliente necessite. No caso do transporte público de Santa Maria, os rastreadores enviam os dados a cada 20 segundos. No sistema da plataforma Zelts, os dados são tratados e disponibilizados às empresas de ônibus por meio de relatórios e monitoramentos em tempo real. A Figura 14 apresenta uma visão geral da arquitetura de comunicação desde a coleta de dados nos ônibus até a apresentação para as empresas de transporte.

Figura 15 – Arquitetura de comunicação entre o Rastreador até o Sistema Zelts



Fonte: O Autor.

¹⁶ Global System for Mobile Communications (GSM) é uma tecnologia móvel utilizada por operadoras de telefonia para comunicação. O GSM é um padrão internacional, que permite ao aparelho que comporte essa tecnologia funcione em qualquer lugar do mundo, a partir de um contrato de cobertura.

4.2 DESENVOLVIMENTO

Para este trabalho, foram desenvolvidas três interfaces que auxiliam a tomada de decisão fornecendo informações e sugerindo ações para resolver as inconsistências nas operações do transporte urbano por ônibus em Santa Maria. A primeira interface é um *Dashboard* (Figura 15) que apresenta alguns índices criados seguindo exemplos de outros índices já utilizados no controle do transporte urbano em outras cidades e alguns gráficos de dados de telemetria. A segunda interface é um relatório onde são apresentadas as inconsistências entre os horários oficiais e a execução, possibilitando a auditoria do transporte. E a última interface é onde ocorre a tomada de decisão, onde os dados do *dashboard* são transformados em *cards*. Estes *cards* sugerem ao gestor alterações e informa em tempo real de possíveis problemas na operação, possibilitando a correção imediata. A seguir as interfaces mencionadas são apresentadas em maior nível de detalhe.

4.2.1 Dashboard

A tela Dashboard tem por objetivo apresentar informações em tempo real e dados dos últimos dias de operação do sistema. Ela apresenta alguns gráficos e índices com métricas para informar o gestor com indicadores da atuação da sua frota no transporte. São apresentados 1 *card* com a previsão do tempo, 4 índices variáveis, 4 indicadores das operações em tempo real e 2 gráficos de telemetria.

Nos índices variáveis, as cores aplicadas são escalas de vermelho e verde, onde verde é uma operação considerada excelente e vermelho em estado crítico, de forma que as cores possuem um entendimento prévio, transmitindo a sensação que a cor vermelha representa alerta e o verde positividade (Barbosa, 2010). As cores aplicadas nos indicadores de operações em tempo real foram escolhidas para o usuário do sistema diferenciar cada indicador por cor, levando em conta o contraste entre elas seguindo o conceito de cores complementares. Enquanto que nos gráficos de telemetria foram usadas cores opostas, que pudessem haver contraste entre elas.

Figura 16 – Interface Dashboard



Fonte: O Autor.

4.2.1.1 Previsão do Tempo

O card da previsão do tempo (Figura 16) foi adicionado a interface para o gestor visualizar a previsão do tempo e planejar-se para eventuais problemas na operação caso ocorram, por exemplo, dia chuvoso pode acarretar em alagamentos, assim, gerando atrasos nas linhas.

Figura 17 – Card da previsão do tempo



Fonte: O Autor.

4.2.1.2 Dados gerais: Indicadores em tempo real

O *card* destes indicadores apresenta em tempo real dados da operação, sendo eles: linhas atrasadas, linhas adiantadas, linhas não cumpridas e *logins* fora do início da linha (Figura 17).

- **Linhas atrasadas:** Para uma linha ser considerada atrasada, esta deve ter sido logada 4 minutos, ou mais, após o horário estipulado. O indicador contará o número de vezes que este atraso ocorreu no dia;

- **Linhas adiantadas:** A linha adiantada segue o mesmo conceito da linha atrasada. Se for realizado o *login* anterior a 4 minutos do horário estipulado em tabela, este ônibus é considerado adiantado. O indicador contará a quantidade de *logins* adiantados no dia;

- **Linhas não cumpridas:** A linha não cumprida é registrada após 15 minutos sem nenhum *login* próximo ao horário, sendo contabilizada neste indicador;

- **Logins fora de linha:** Alguns motoristas realizam o *login* fora do início da linha, seja por erro ao digitar ou na tentativa de burlar o sistema, assim gerando inconsistências nos horários. Este indicador contará quantos *logins* foram registrados fora do alcance da linha no dia vigente.

Figura 18 – Indicadores em tempo real das linhas



Fonte: O Autor.

Essas informações são coletadas dos teclados instalados nos ônibus e cruzadas com as informações de horários fornecidas pelo Consórcio SIM, sendo possível serem

acessadas em relatórios disponíveis na plataforma Zelts. O sistema começará a contagem destes indicadores às 00:00 e encerrará às 23:59, sendo assim possível a visualização destes dados apenas no dia de operação. Para a consulta de dados anteriores, deve ser consultado os relatórios correspondentes no sistema Zelts.

4.2.1.3 Índices

Foram adicionados ao *dashboard* alguns índices que visam melhorar o desempenho do transporte urbano por ônibus, com base nos índices usados pela BHTrans em Belo Horizonte-MG. A Figura 18 apresenta os índices no *dashboard*. A seguir, o cálculo de cada índice é detalhado.

Figura 19 – Índices usados para identificar potenciais problemas



Fonte: O Autor.

Índice de Desempenho Operacional

O índice de desempenho operacional (I.D.O.) (Figura 18 A) é uma metodologia de avaliação de linhas empregada pela BHTrans em Belo Horizonte-MG, que visa melhorar o desempenho do transporte urbano por ônibus.

O I.D.O. utilizado pela BHTrans é calculado utilizando notas aplicadas a seis índices (Belo Horizonte, 2021):

- **ICP** – Índice de Cumprimento à Programação apresenta o percentual de viagens realizadas em conformidade com o quadro de horários programado para a linha. Quanto maior for o valor do ICP, melhor é sua nota.

$$ICP = \left(\frac{\text{Viagens Programadas} - \text{Viagens Não Realizadas}}{\text{Viagens Programadas}} \right) * 100$$

As viagens não realizadas seguem a mesma lógica para as Linhas não cumpridas.

- **IPV** – Índice de Pontualidade das Viagens apresenta o percentual de viagens pontuais realizadas em conformidade com o quadro de horários programado para a linha. Quanto maior for o valor do IPV, melhor é sua nota.

$$IPV = \left(\frac{\text{Viagens Programadas} - \text{Viagens Atrasadas}}{\text{Viagens Programadas}} \right) * 100$$

A lógica aplicada às viagens atrasadas é a mesma usada em Linhas Atrasadas.

- **ICV** – Índice de Conforto das Viagens é medido por meio da verificação do quantitativo de subfaixas horários nas quais as viagens nelas programadas foram realizadas apresentando nível de ocupação acima do máximo estabelecido no regulamento do transporte coletivo. A unidade de medida é a porcentagem. Quanto maior for o valor do ICV, melhor é a sua nota.

$$ICV = \left(\frac{\text{Subfaixas Horár. Programadas} - \text{Subfaixas Horár. Lotadas}}{\text{Subfaixas Horár. Programadas}} \right) * 100$$

- **ICM** – Índice de Confiabilidade Mecânica apresenta a relação entre o quantitativo de viagens interrompidas devido à ocorrência de defeitos mecânicos ou elétricos e a quantidade de quilômetros rodados em linha. O cálculo representa o número de quebras a cada 100.000 Quilômetros. Quanto menor for o valor de ICM, melhor sua nota.

$$ICM = \left(\frac{\text{Interrupções de Viagem Devido a Quebras}}{\text{Quilometragem Produtiva}} \right) * 100.000$$

- **ISV** – Índice de Segurança das Viagens indica o nível de segurança das viagens ofertadas a partir da apuração da quantidade de ocorrências de eventos inseguros (acidentes de percurso, assaltos, depredação, etc.) a cada 10.000 viagens realizadas. Quanto menor for o valor do ISV, melhor sua nota.

$$ISV = \left(\frac{\text{Viagens Com Ocorrências de Eventos Inseguros}}{\text{Total de Viagens Realizadas}} \right) * 10.000$$

- **IIR** – Índice de Infrações Regulamentares apresenta a frequência e a gravidade das infrações regulamentares cometidas pelos operadores, a cada 10.000 Quilômetros, durante a prestação dos serviços. Quanto menor for o valor de IIR, melhor é sua nota.

$$IIR = \left(\frac{\text{Pontos Relativos à Infrações Regulares}}{\text{Quilometragem Produtiva}} \right) * 10.000$$

Cada índice do I.D.O. apresentar unidades distintas, esses valores são convertidos para notas de 0 a 100, utilizando uma interpolação. Na figura 19 é possível visualizar as notas correspondentes a cada índice.

Figura 20 – Conversão dos índices para notas

Nível	Valor do ICP	Nota
A	99,375% ≤ ICP ≤ 100%	90 ≤ Nota ≤ 100
B	98,75% ≤ ICP < 99,375%	80 ≤ Nota < 90
C	97,5% ≤ ICP < 98,75%	60 ≤ Nota < 80
D	48,75 ≤ ICP < 97,5 %	30 ≤ Nota < 60
E	0% ≤ ICP < 48,75 %	0 ≤ Nota < 30

Nível	Valor do ICM	Nota
A	1 ≤ ICM ≤ 0	90 ≤ Nota ≤ 100
B	2 ≤ ICM < 1	80 ≤ Nota < 90
C	4 ≤ ICM < 2	60 ≤ Nota < 80
D	14 ≤ ICM < 4	30 ≤ Nota < 60
E	24 ≤ ICM < 14	0 ≤ Nota < 30

Nível	Valor do IPV	Nota
A	99,375% ≤ IPV ≤ 100%	90 ≤ Nota ≤ 100
B	98,75% ≤ IPV < 99,375%	80 ≤ Nota < 90
C	97,5% ≤ IPV < 98,75%	60 ≤ Nota < 80
D	48,75 ≤ IPV < 97,5 %	30 ≤ Nota < 60
E	0% ≤ IPV < 48,75 %	0 ≤ Nota < 30

Nível	Valor do ISV	Nota
A	1 ≤ ISV ≤ 0	90 ≤ Nota ≤ 100
B	2 ≤ ISV < 1	80 ≤ Nota < 90
C	4 ≤ ISV < 2	60 ≤ Nota < 80
D	14 ≤ ISV < 4	30 ≤ Nota < 60
E	24 ≤ ISV < 14	0 ≤ Nota < 30

Nível	Valor do ICV	Nota
A	98% ≤ ICV ≤ 100%	90 ≤ Nota ≤ 100
B	96% ≤ ICV < 98%	80 ≤ Nota < 90
C	92% ≤ ICV < 96%	60 ≤ Nota < 80
D	46% ≤ ICV < 92%	30 ≤ Nota < 60
E	0% ≤ ICV < 46%	0 ≤ Nota < 30

Nível	Valor do IIR	Nota
A	3,75 ≤ ISV ≤ 0	90 ≤ Nota ≤ 100
B	7,5 ≤ ISV < 3,75	80 ≤ Nota < 90
C	15 ≤ ISV < 7,5	60 ≤ Nota < 80
D	52,5 ≤ ISV < 15	30 ≤ Nota < 60
E	90 ≤ ISV < 52,5	0 ≤ Nota < 30

Fonte: BHTrans (2021).

Baseado nestes índices, a fórmula do I.D.O. é calculada utilizando as notas dispostas na figura anterior, da seguinte média ponderada:

$$IDO = 0,35.ICP + 0,20.IPV + 0,10.ICV + 0,15.ICM + 0,15.ISV + 0,05.IIR$$

Índice de Disponibilidade de Frota

O Índice de Disponibilizada de Frota (I.D.F.) (Figura 18 B) foi criado para identificar a porcentagem de veículos disponíveis para o uso imediatamente, descontando veículos em manutenção e parados (por regulamentação, a venda, com problemas, etc.). Para realizar o cálculo, foi estipulada a seguinte fórmula:

$$I. D. F. = \frac{Frota\ total - (Frota\ em\ manutenção + veículos\ parados)}{Frota\ Total} * 100$$

O resultado desta fórmula é apresentado como um *card* na interface *Dashboard*.

Indicador de Fiscalização do Serviço de Ônibus

O indicador de Fiscalização do Serviço de Ônibus (IFSO) (Figura 18 C) utiliza alguns dos subíndices utilizados no I.D.O. para a sua composição, realizando uma média simples destes índices. Com estes indicadores, a intenção é ter um controle do estado de funcionamento da frota de ônibus operante e orientando os gestores operacionais sobre a confiabilidade do serviço oferecido. A fórmula para o IFSO é:

$$IFSO = \frac{ICP + IPV + ICV + ICM + ISV}{5}$$

Índice de Informação do Transporte Coletivo

O Índice de Informação do Transporte Coletivo (IITC) (Figura 18 D) foi criado para identificar a parcela da população que utiliza o transporte público por ônibus no município (ou região metropolitana). Para isso, foi criado um sub índice chamado Índice De Horários (I.D.H.) para identificar o total horários executados versus horários disponíveis na tabela de horários, descontando os não cumpridos.

$$IDH = \frac{(Total\ de\ Horários - Horários\ Disponíveis)}{Total\ de\ Horários}$$

O resultado do I.D.H. é multiplicado pelo número de usuários que utilizam o transporte público por ônibus e dividido pelo número de municípios que compõem o sistema de transporte na cidade. O I.I.T.C. então é dividido para ter uma amostra de quantos passageiros a cada 100.000 utilizam este meio de transporte.

$$IITC = \left(\frac{Usuário\ Transporte * IDH}{Número\ de\ municípios} \right) / 100.000$$

4.2.1.4 Gráficos de Atrasos e Não Cumpridas

Foi criado também gráficos que apresentam a contagem de horários de ônibus com atrasos e horários não cumpridos. Estes dados, extraídos da plataforma Zelts, ajudam a visualizar a quantidade diária de atrasos e não cumpridas nos últimos dias, sendo possível identificar padrões de atrasos, sejam eles por dia ou por problemas meteorológicos. Assim, é possível identificar linhas que mais atrasam, empresas que mais atrasam e que menos cumprem os itinerários, dias que houveram mais atrasos e mais linhas não cumpridas e os ônibus que mais realizam tais atividades.

Este card (Figura 20), portanto, possui 3 gráficos: um gráfico de linhas que apresenta um contador diário dos últimos 14 dias destes eventos, um gráfico de barras horizontal onde são apresentadas as linhas que mais tem horários atrasados realizando uma média móvel dos últimos 7 dias e um gráfico de barras vertical representando os ônibus que mais atrasam em média móvel dos últimos 7 dias.

Figura 21 – Gráficos de linhas com Atrasos e Não Cumpridas



Fonte: O Autor.

4.2.1.5 Gráficos de Aceleração e Frenagem Brusca

Assim como os gráficos de Atrasos e Não cumpridas, os gráficos de aceleração e frenagem brusca apresentam gráficos semelhantes. Com sensores instalados nos veículos, é possível identificar movimentos bruscos realizados pelos motoristas, a fim de melhorar o conforto dos passageiros e reduzir gastos em manutenção de freios e motor com acelerações e frenagens mais suaves.

Este *card* (Figura 21) possui 3 gráficos, sendo um gráfico de linhas com a contagem de acelerações e frenagens bruscas diárias dos últimos 14 dias (Figura 21 A), um gráfico de barras de ônibus que realizam mais acelerações bruscas em média móvel dos últimos 7 dias (Figura 21 B) e outro gráfico semelhante ao anterior, porém, para frenagens bruscas (Figura 21 C).

Figura 22 – Gráficos de Frenagem e Aceleração Brusca

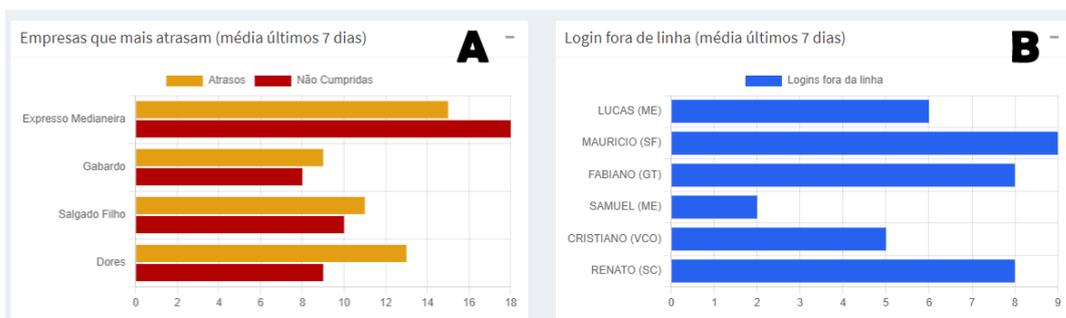


4.2.1.6 Empresas que mais atrasam

Foi criado um *card* (Figura 22 A) com as empresas que mais atrasam horários, onde são apresentadas uma contagem dos últimos 7 dias em média móvel. Porém este

gráfico só é visível para o Consórcio SIM, e não para os CCOs das empresas que o compõem.

Figura 23 – Gráficos de Empresas Que Mais Atrasam e *Logins* Fora do Início De Linha



Fonte: O Autor.

4.2.1.7 Logins fora de linha

O *card* de *logins* fora da linha (Figura 22 B) apresenta 6 nomes de motoristas que mais realizaram esta atividade nos últimos 7 dias em média móvel. Para o SIM, são apresentados um motorista de cada empresa que compõem o consórcio. Enquanto que, para as empresas, são apresentados os motoristas que mais fazem o *login* fora de linha que fazem parte da empresa.

4.2.2 Interface de relatório de Atrasos

A interface de relatórios de Atrasos (Figura 23) foi criada com a intenção de facilitar a leitura e interpretação dos horários com problemas. A interface é composta por um formulário simples, onde o usuário informa uma ou mais linhas que deseja incluir no relatório e o período de tempo (em dias) que este deve apresentar as informações.

Figura 24 – Formulário para a geração do Relatório de Atrasos

Fonte: O Autor.

Ao gerar o relatório, as informações preenchidas são enviadas por meio de uma requisição ao servidor Zelts que retorna os dados ordenados por dia e horário. São listadas em uma tabela com as colunas Linha e Horário, que lista os nomes das linhas e seus horários correspondentes, segundo o quadro de horários do site do Consórcio SIM. As colunas seguintes são referentes aos dias selecionados no intervalo de tempo no formulário da Figura 23. Na Figura 24 é possível identificar os campos citados anteriormente. A cada inconsistência registrada em algum horário, é criada uma linha na tabela informando o problema ocorrido.

Figura 25 – Relatório de Atrasos ordenados por Dias e Horários

Linha: Boi Morto -> Centro		Período: 16/11/2020 a 20/11/2020				
Linha	Horário	12/04	13/04	14/04	15/04	16/04
Boi Morto -> Centro	07:25					Não cumprida
Boi Morto -> Centro	07:50				6 minutos	
Boi Morto -> Centro (via Resid. Lopes)	12:10	5 minutos				
Boi Morto -> Centro (via Resid. Lopes)	13:10	10 minutos	10 minutos	7 minutos	10 minutos	9 minutos
Boi Morto -> Centro	18:20	4 minutos				
Boi Morto -> Centro (via Resid. Lopes)	17:56			4 minutos		
Boi Morto -> Centro	18:25			Não cumprida		6 minutos
Boi Morto -> Centro	19:05		5 minutos		4 minutos	

Legenda

- Atrasado
- Adiantado
- Não cumprida

Fonte: O Autor.

Os horários que tiverem atrasos são representados na tabela com a cor vermelha, onde é apresentada também o tempo de atraso em minutos. Ao lado, é possível ver um ícone de *replay*, onde o gestor ou tomador de decisão pode visualizar a rota realizada por este ônibus.

Os horários adiantados são representados na tabela com a cor amarela e, assim como nos horários atrasados, o campo possui os minutos de adiantamento e a possibilidade do gestor ou tomador de decisão visualizar o *replay* da linha.

Os horários não cumpridos são apresentados na cor cinza, sendo apresentado na tabela o seu não cumprimento.

4.2.3 Interface de tomada de decisão

A interface de tomada de decisão apresenta ao tomador de decisões sugestões de ações para revisar e fiscalizar problemas de operações. Enquanto a tela *Dashboard* apresenta gráficos e indicadores para informar o gestor com números da atuação da sua frota no transporte, a tela de tomada de decisão sugere ações baseadas nos mesmos dados, possibilitando o acompanhamento em tempo real de cada fator determinante para melhorar o desempenho do transporte público por ônibus.

Modelo de tomada de decisão adotado

O modelo racional pelo ponto de vista organizacional de tomada de decisão, citado por Chiavenato (2003) foi escolhido como orientação desse trabalho. Este modelo tem por característica elevar os objetivos da organização utilizando raciocínio técnico do tomador de decisão, levando em consideração as alternativas com informações, tomando decisões de forma imparcial e visando o melhor para a organização e para a solução do problema.

Chiavenato (2003) define passos do modelo racional voltados para a prática organizacional, conforme já apresentado anteriormente. Como dito pelo autor, estes passos podem não ser seguidos à risca, podendo abreviar ou suprimir algumas, bem como serem alongadas e estendidas. Assim, os passos definidos pelo autor auxiliam no processo

de tomada de decisão aplicado ao módulo desenvolvido, sendo estabelecido os seguintes passos:

Passo 1 – Percepção da situação que envolve algum problema: O módulo recebe as informações referentes ao ônibus e suas atividades no formato JSON oriundos da plataforma Zelts;

Passo 2 – Análise e definição do problema: As informações recebidas são compiladas e apresentadas em gráficos e índices, sendo apresentadas ao tomador de decisão para identificação dos problemas e pontos de atenção;

Passo 3 – Definição dos Objetivos: baseando-se nos índices e gráficos, os operadores definem quais destes merecem maior atenção, criando uma escala de importância;

Passo 4 – Procura de alternativas de solução ou de curso de ação: O sistema sugere algumas ações baseando-se nas informações colhidas;

Os seguintes passos precisam da intervenção humano de um operador do CCO:

Passo 5 – Escolha da alternativa adequada ao alcance dos objetivos.

Passo 6 – Avaliação e comparação das alternativas.

Passo 7 – Colocar em prática a melhor solução dentro da organização.

Os passos 1, 2 e 4 são tratados pelo módulo de tomada de decisão, enquanto os outros passos são de responsabilidade do operador. O passo 3 não é tratado diretamente pelo sistema, porém as informações disponíveis para a tomada de decisão foram validadas com os gestores e operadores visando extrair as informações mais importantes para a tomada de decisão. Foram definidos valores mínimos aceitáveis para que o sistema alerte os gestores com antecedência para que os mesmos tomem conhecimento e tomem as decisões mais assertivas.

Na Figura 25 é possível ver exemplos da atuação do modelo de tomada de decisão, onde são alertados em vermelho informações mais relevantes ao gestor e tomador de decisão sobre problemas nas operações das linhas, como por exemplo *logins* errados e não cumprimento de linhas. Em laranja ficou definido informações importantes e que mereçam atenção ao gestor, porém que não apresentem um risco muito elevado às

operações do transporte público. Em azul são informados avisos sobre situações que poderão gerar problemas no futuro, mas que não interferem diretamente na operação.

Figura 26 – Interface de tomada de decisão

The screenshot shows a dashboard titled 'Tomada de Decisão' with a section for 'Alertas'. It contains five distinct alert cards:

- Alerta de Login fora da linha:** A red card with a warning icon. Text: 'O motorista JOELINTON dirigindo o veiculo BUS 4561 logou fora da linha UFSM -> Bombeiros (via FxVELHA) [196051] às 15:42. [Abrir Dashboard para mais detalhes](#)'.
- Previsão do Tempo:** A blue card with an information icon. Text: 'Devido a previsão de chuva, poderá ocorrer atrasos.'
- Alerta:** An orange card with a warning icon. Text: 'Índice de Disponibilidade de Frota requer cuidado, está em 47%. Verifique a situação com as gerências operacionais das empresas.'
- Alerta linha não cumprida:** A red card with a warning icon. Text: 'Linha Chácara das Flores -> V.Oliveira [236022] às 9:45 não foi cumprida.'
- Alerta linha adiantada:** An orange card with a warning icon. Text: 'O motorista JOSÉ dirigindo o veiculo BUS 2311 logou 7 minutos adiantado na linha Brigada - Itararé [541011] das 12:45. [Abrir Relatório de Atraso](#)'.

Fonte: O Autor.

4.3 TESTES

Para a validação da aplicação desenvolvida e sua comunicação com o sistema Zelts foram realizados alguns testes. O objetivo dos testes era de encontrar possíveis erros ou falhas no sistema, bem como na comunicação entre os sistemas.

4.3.1 Testes de integração e usabilidade

Para a realização deste trabalho, é necessária a utilização dos dados oriundos de fontes externas. Os dados que extraímos da plataforma Zelts não estavam disponíveis para acesso ou ainda não haviam sido explorados na plataforma. Com isso, foi necessária a criação de um *Web Service* que pudesse realizar esta comunicação. Os testes iniciaram com o estabelecimento da conexão entre o módulo de tomada de decisão e o Zelts,

seguindo para a requisição dos dados e realizando os ajustes necessários para a integração entre os sistemas.

Na interface de relatórios de atrasos foram avaliados alguns *plug-ins* que possibilitasse a seleção múltipla de itens, para que fosse possível o envio de múltiplas linhas para a visualização do relatório. Assim, foi escolhido o *plug-in Select 2* que se apresentou mais simples na integração com o sistema.

Em termos de usabilidade, as cores utilizadas no sistema seguem base nos princípios de Barbosa (2010). Assim, foram feitos testes de usabilidade nas três interfaces, sendo possível identificar as melhores cores para serem utilizadas e uma melhor distribuição das informações na tela, facilitando a utilização do módulo por qualquer usuário.

4.3.2 Testes de aceitação com usuários

Para a realização dos testes de aceitação, foi dirigido um teste com usuários que pudessem identificar facilidades e dificuldades na utilização do módulo. Para isso, foi adotado o modelo *Technology Acceptance Model* (TAM), que é aplicado por pesquisadores da área de tecnologia na avaliação de sistemas computacionais. Foram adotados três indicadores do TAM para esta avaliação: utilidade percebida, facilidade de uso percebida e intenção de uso (VEKANTESH; BALA, 2008).

A avaliação do módulo de tomada de decisão foi realizada por dois usuários de diferentes áreas de atuação, sendo o primeiro gestor de empresa e com experiência na tomada de decisões críticas (nomeado de U1), enquanto o segundo usuário é responsável pelo controle e ajustes no Consórcio SIM de Santa Maria-RS (nomeado U2).

As tarefas propostas para os usuários participantes eram relacionadas a navegação pelas funcionalidades do módulo e utilização das informações na tomada de decisão. Foi proposta a utilização das informações dispostas na interface Dashboard como base na tomada de decisão, a geração de um relatório de atraso e a utilização da interface de tomada de decisão.

A avaliação se baseia na utilidade percebida, que define o grau no qual uma pessoa considera que usar uma tecnologia melhoraria seu desempenho em determinadas

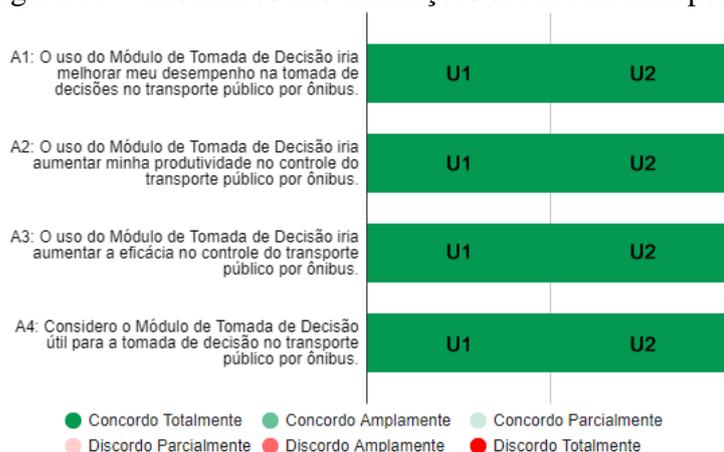
atividades; facilidade de uso percebida, que define o grau no qual uma pessoa considera que usar uma tecnologia seria livre de esforço; e intenção de uso, que define o grau no qual uma pessoa prevê que utilizaria uma tecnologia no futuro (RIPASY et al., 2018). Para isso, foi elaborado um questionário com as afirmativas apresentadas baseadas no modelo TAM e um espaço adicional para comentários sobre o módulo.

A avaliação do módulo ocorreu durante uma semana, onde era apresentada uma explicação sobre o módulo e suas funcionalidades, em seguida era requisitada a realização das tarefas. Devido a pandemia do novo coronavírus, a utilização da ferramenta foi realizada por meio de acesso remoto ao módulo, que por se tratar de uma versão Alpha, ainda não está disponível em um endereço *web*. Após a realização das tarefas propostas, os usuários responderam ao questionário.

4.3.2.1 Análise dos Resultados

A Figura 26 apresenta os resultados obtidos para o indicador de utilidade percebida do modelo TAM. Ambos os usuários concordam totalmente com todas as afirmativas relacionadas à utilidade da ferramenta.

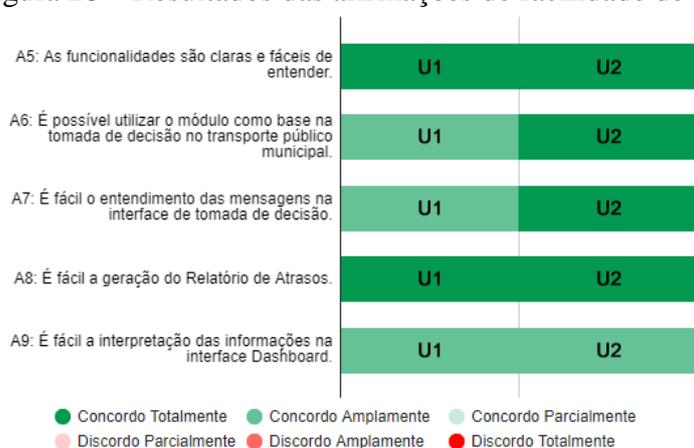
Figura 27 – Resultados das afirmações sobre utilidade percebida



Fonte: O Autor.

Na Figura 27 ilustra os resultados obtidos nas afirmações que indicavam a facilidade de uso do módulo de tomada de decisão. Todas as afirmações se mostraram positivas aos usuários, porém na afirmativa A6 o usuário U1 concorda parcialmente sobre a utilização das informações apresentadas como base na tomada de decisão. Na afirmação A7 e A9, o usuário U1 concorda amplamente sobre o entendimento das informações dispostas na interface Tomada de decisão, enquanto que ambos concordam amplamente sobre a facilidade de entendimento das informações dispostas na interface Dashboard.

Figura 28 – Resultados das afirmações de facilidade de uso



Fonte: O Autor.

Alguns comentários dos usuários explicam as respostas nas afirmações da imagem anterior:

“A previsão do tempo sem data dificulta o entendimento se esta previsão se refere em tempo real”. U1 sobre a Interface Dashboard

“A falta números absolutos dos gráficos para saber o que aquele número significa, por exemplo, marcando 40 no indicador X, mas qual o total? Esse 40 é porcentagem?”. U1 sobre a Interface Dashboard.

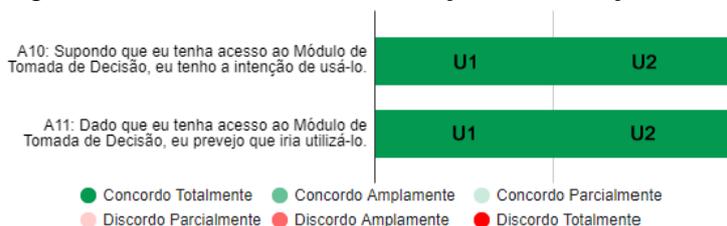
“Falta interatividade no Dashboard. Quando o usuário clicar na informação de horário atrasado e ou adiantado, o sistema abrir mais telas ampliando mais a informação tornando mais interativo e com informações mais completas”. U2 sobre a Interface Dashboard.

“No relatório de atrasos, informar também os motoristas e o ônibus de cada registro, porque nos permite saber se a variável com problema é o motorista, ou o ônibus, ou o horário da linha. ”. U1 sobre a Interface de Relatório de Atrasos.

“Na tela tomada de decisão, seria interessante a apresentação do dia que a ocorrência foi realizada. Quando o usuário abrir a tela, poderá ter informações de ocorrência de dias anteriores e, sem a informação do dia que ocorreu, fica mais complicada a interpretação da informação ”. U1 sobre a Interface Tomada de Decisão.

Quanto as intenções de uso do módulo de tomada de decisão, os usuários U1 e U2 responderam concordando totalmente com as afirmativas conforme a Figura 28 apresenta. Os usuários se apresentaram satisfeitos com as informações novas que o módulo apresenta, destacando a Interface de Relatório de Atraso com informações tabelas focando nos horários oficiais e suas inconformidades. Outra interface que se destacou na interação com os usuários foi a interface de Tomada de Decisão, onde as ocorrências são informadas em tempo real, podendo ser tratadas imediatamente.

Figura 29 – Resultados das afirmações de intenção de uso



Fonte: O Autor.

Os resultados e comentários dos usuários indicam que o módulo atende as expectativas e pode proporcionar informações úteis para a tomada de decisão. Foi observado com os comentários, que há informações que podem ser adicionadas para melhorar a interação do usuário com o módulo de tomada de decisão.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho é possível identificar as características que definem um Sistema Inteligente de Transporte, como componentes, classificação e comparar as diferentes formas de implementação de ITS através de suas arquiteturas e *frameworks* elaborados por cada país, seguindo diretrizes. Como exemplos práticos, observa-se que há ITS em todo o mundo e com cada vez maior participação das empresas do transporte público e dos órgãos responsáveis. Destaca-se o uso de ITS em países desenvolvidos e em desenvolvimento, com enfoques diferentes. Enquanto em países desenvolvidos o principal enfoque das ITS são na experiência do usuário no transporte público, em países em desenvolvimento é visado a economia de custos de operação e agilidade na execução de linhas.

Santa Maria/RS segue o mesmo padrão. Com o início da implementação da bilhetagem eletrônica em 2010, o consórcio que venceu a licitação vem implementando novos ITS no transporte para melhorar o serviço e reduzir seus custos. Em 2020, toda a frota do transporte municipal conta com rastreamento veicular, controle de início e fechamento de linhas, relatórios de cumprimento das linhas entre outras funcionalidades. A partir disso, foi desenvolvido um módulo em parceria com o consórcio que auxilie na tomada de decisão para melhorar a eficiência do serviço prestado. Para isso, foram utilizados dados coletados na plataforma Zelts (zelts.com.br) – plataforma de rastreamento veicular para controle de frotas – de modo a sugerir ações, mostrar informações importantes do andamento do transporte público por ônibus e corrigir possíveis erros de execução, ajudando as empresas a regularem horários e sua operação em geral na cidade.

Foram elaborados testes de aceitação com potenciais utilizadores do módulo. Estes testes obtiveram resultados satisfatórios sobre sua usabilidade e importância no fornecimento de informações úteis para a tomada de decisão. Foram sugeridas algumas mudanças que tornariam o módulo mais eficiente.

Como trabalhos futuros, busca-se aprimorar e melhorar o Módulo de Tomada de Decisão criado, criando novas ferramentas e melhorando as já existentes. Como melhorias, a inclusão da previsão do tempo no Relatório de Atrasos e listar eventos ocorridos no dia no relatório ajudaria o tomador de decisão a identificar se tais atividades

foram excepcionais ou se fazem parte da rotina daquela linha. A criação de um relatório de Logins Fora da Linha já está sendo pensado para aumentar o controle da operação do transporte público por ônibus.

REFERÊNCIAS

- AFFELDT, Fabrício Sobrosa; SILVA JUNIOR, Sady Darcy da. **Information architecture analysis using business intelligence tools based on the information needs of executives**. JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management, v. 10, n. 2, p. 251-270, 2013.
- ALBERTIN, Alberto Luiz. **Valor estratégico dos projetos de tecnologia de informação**. Revista de Administração de Empresas, v. 41, n. 3, p. 42-50, 2001.
- AL-TARAWNEH, Hussien Ahmad. **The main factors beyond decision making**. Journal of Management Research, v. 4, n. 1, p. 1-23, 2012.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO – NTU **Anuário 2018/2019**. Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/publicações>>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO – NTU. **Sistemas Inteligentes de Transporte - ITS**. Brasília, DF. 2013. 53p. ISBN: 978-85-66881-00-4.
- BARBOSA, Gilka Rocha; ALMEIDA, AT de. **Sistemas de apoio à decisão sob o enfoque de profissionais de TI e de decisores**. Anais XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2002, p. 1-8, 2002.
- BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno. **Interação humano-computador**. Elsevier Brasil, 2010.
- BATISTA, C. P.. **Sistemas Inteligentes de Transporte: uma abordagem voltada ao contexto**. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2013, Salvador. A gestão dos processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos, 2013.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal de. Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte. In: **PNH**. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/transportes/onibus/indice-de-desempenho-operacional>>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- BERTONCINI, Cristine et al. **Processo decisório: a tomada de decisão**. Revista FAEF, Garça, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 8-34, 2013.
- BERTUCCI, Jonas de Oliveira. **Os benefícios do transporte coletivo**. Ipea. Boletim regional, urbano e ambiental, p. 77-87, 5 jun. 2011. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5652/1/BRU_n5_beneficios.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2020.
- BIDGOLI, H. **Decision Support System - Principles and Practice**, West Publishing Company, New York, 1989.

- BORGES, Rodrigo César Neiva. **Definição de transporte coletivo urbano**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, p. 2006-1860, 2006.
- BRASIL. Lei no 12.587, de 3 de janeiro de 2012. **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm>. Acesso em: 9 abr. 2020.
- CASTRO, Cassio Uribe et al. **Transporte público urbano: a tarifa única no município de Florianópolis**. Monografia, 57p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2007.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 630 p.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. Edição compacta. São Paulo: Makron Books, 1999
- COSTA, M. da S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.
- CUNHA, F. et al. **Sistemas de transporte inteligentes: Conceitos, aplicações desafios**. Livro de Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC'17), 2017.
- DANTAS, Daniel. **Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) no transporte urbano**. In: NTU, 10 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/AndreDantas3/sistemas-inteligentes-de-transporte-its-no-transporte-pblico-urbano>>. Acesso em: 14 jul. 2020.
- DARIDO, G. B.; PENA, I. G. B. **Planejamento em Sistemas de transportes Inteligentes (ITS) – Perspectivas das Experiências Internacionais**. Sistemas Inteligentes em Transportes. Série Cadernos Técnicos ANTP, v. 8, 2012.
- DA SILVA, R. A.; SILVA, F. C. A.; GOMES, C. F. S.. **Business Intelligence: Sistema De Apoio À Tomada De Decisão Estratégica**. XXI Simpósio de Engenharia de Produção, 2014.
- DE CASTRO MEIRELLES, Alexandre Augusto. **Sistemas de transporte inteligentes: aplicação da telemática na gestão do transito urbano**. Revista informática pública, v. 1, n. 1, 1999.
- DRUCKER, Peter. **Administração lucrativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.
- ECMA INTERNACIONAL, Industry Association dedicated to the standardization os infomation and communication systems. **ECMA-404: The JSON data interchange syntax**. 2 Ed, dez 2017.
- FERRONATTO, Luciana Guadalupe. **Potencial de medidas de gerenciamento da demanda no transporte público urbano por ônibus**. 2002. 119 f. 2002. Tese de

Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção, Transportes) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FIGUEIREDO, L. M. B.. **Sistemas Inteligentes de Transporte**. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Portugal. 2005.

GALINDO, Ernesto Pereira; LIMA NETO, Vicente Correia. **A mobilidade urbana no Brasil: Percepções de sua população**. Texto para Discussão, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=34697>. Acesso em: 23 jul. 2020.

HADDAWAY, Neal R. et al. **A rapid method to increase transparency and efficiency in web-based searches**. Environmental Evidence, v. 6, n. 1, p. 1, 2017.

HE, Zengzhen; ZHANG, Qisen. **Public Transport Dispatch and Decision Support System Based on Multi-Agent**. In: 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. IEEE, 2009. p. 1040-1043.

HENRY, M. P.; CLARKE, D. W. **The self-validating sensor: rationale, definitions and examples**. Control Engineering Practice, v. 1, n. 4, p. 585-610, 1993.

JAMIL, G. L. **Business Intelligence informações para a inteligência nos negócios**. Revista de Administração FACES Journal, 2002.

LANZONI, Cristine; SCARIOT, Cristiele; SPINILLO, Carla Galvão. **Sistema de informação de transporte público coletivo no Brasil: algumas considerações sobre demanda de informação dos usuários em pontos de parada de ônibus**. InfoDesign-Revista Brasileira de Design da Informação, v. 8, n. 1, p. 54-63, 2011.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de Informação Gerenciais**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P.; MARQUES, Arlete Simille. **Sistemas de informação gerenciais**. Pearson Educación, 2011.

LIEGGIO JUNIOR, M. L., GRANEMANN, S. R., DE SOUZA, O. A. (2012). **Aplicabilidades da análise multicritério às problemáticas de decisão no transporte rodoviário de produtos perigosos: uma perspectiva teórica**. Journal of Transport Literature, 6(2), 197- 217.

MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru. **Introdução à Administração**. Ed. Compacta. São Paulo: Atlas, 2009. 294p.

MIYABUKURO, Everton. **Sistema de monitoramento de transporte coletivo em tempo real via GPS para smartphone**. Monografia, 2015. FURB, Blumenau, 2015.

MOLINA, Martin. **An intelligent assistant for public transport management**. In: International Conference on Intelligent Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. p. 199-208.

MORITZ, Gilberto De Oliveira; PEREIRA, Maurício Fernandes. **Processo decisório**. 3. ed., 158p. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2015.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). NASA Education: **What is GPS?** Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/what_is_gps> . Acesso em: 05 ago. 2021.

OLIVEIRA, Jairo Garay Ribeiro de. **A importância do sistema de transporte coletivo para o desenvolvimento do município de Campo Grande–MS**. Campo Grande-MS: Universidade Católica Dom Bosco, 2003.

PANPATTE, Suraj; TAKALE, V. D. **To Study the Decision Making Process in an Organization for its Effectiveness**, 2019.

PEREIRA, Miguel Leo Salomon de Almeida. **Definição de indicadores para monitoramento do sistema de transporte público coletivo abrangendo as perspectivas de usuários, empresas operadoras, governo e sociedade**. 2014. ix, 145 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

PRÉVE, Altamiro Damian; MORITZ, Gilberto de Oliveira; PEREIRA, Maurício Fernandes. **Organização, processos e tomada de decisão**. Florianópolis, SC: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2010.

RECK, Garrone. **Apostila transporte público**. Departamento de Transportes da UFPR-DTT-Centro Politécnico s/n, Bloco V-Jardim das Américas, Curitiba, 2015.

RIPASY, R., PETRI, G., VON WANGENHEIM, C. G., CONTE, T., & MARQUES, A. B. **Assistant MEEGA+: Uma ferramenta de apoio para avaliação de jogos educacionais usando modelo MEEGA+**. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE. 2018. p. 615.

SIEGMUND M. REDL, Matthias K. WEBER, Malcolm W. Oliphant: **An Introduction to GSM**, Artech House, March 1995.

SILVA, D. M.. **Sistemas inteligentes no transporte público coletivo por ônibus**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – PPGEP-UFRGS. Porto Alegre, 126p. 2000.

SILVA, N. A. B., RIBEIRO, T. R. S., DA SILVA, P. H., & DE MENDONÇA BRASIL, A. C. **Estudo da influência da taxa de ocupação na emissão de gases poluentes para o transporte individual e coletivo**. 2018. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. 2018. P. 0507.

SIMON, Herbert A. **A Comment on "The Science of Public Administration"**. Public Administration Review, v. 7, n. 3, p. 200-203, 1947.

SOUSA, J. F.; TEIXEIRA, J. R.; FERREIRA, J. B. **Real-Time Management and Control of a Bus Public Transport Network: The STCP Experience**. International Journal of Online Engineering, v. 5, 2009.

SOUZA, Renata et al. **Beyond efficiency: How to use geolocation applications to improve citizens well-being**. In: The Fourth International Conference on Smart Systems, Devices and Technologies. 2015. p. 37-40.

TAKAGI, F. T. **Sistema de monitoramento e previsão de tempo de chegada de ônibus de linha**. São Paulo, 2010.

TREWATHA, Robert L.; NEWPORT, Marvin Gene. **Administração: funções e comportamento**. Saraiva, 1979.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Diagnóstico do transporte coletivo urbano por ônibus no estado do RS em 2019**. Porto Alegre, RS: TCE-RS, dezembro 2019.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA. **Rede Integrada de Transporte**. Disponível em: <<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

VARANDAS, Marcus Vinicius Delgado. **Avaliação do uso e eficácia da Tecnologia da Informação no Sistema de Transporte Público**. 2012. 147 f. Dissertação - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

VASCONCELLOS, Eduardo A.; MENDONÇA, Adolfo. **Política Nacional de Transporte Público no Brasil: organização e implantação de corredores de ônibus**. Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano, p. 33-2010, 2010.

VENKATESH, V., & BALA, H. (2008). **Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions**. Decision sciences, 39(2), pp. 273-315.

VILA, Juan Jose Rodriguez et al. **Urban mobility challenges—an exploratory analysis of public transportation data in Curitiba**. Revista de Informática Aplicada, v. 12, n. 1, 2016.

WORLD ROAD ASSOCIATION TECHNICAL COMMITTEE ON ROAD NETWORK OPERATIONS. What is ITS architecture?. In: **PIARC**. Disponível em: <<https://rno-its.piarc.org/en/systems-and-standards-its-architecture/what-its-architecture>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

YOKOTA, Toshiyuki. **ITS system architectures for developing countries**. ITS Technincal Note for Developing Countries; no. 5. Washington, DC: World Bank. 2004.

ZAPATA CORTES, Julian Andres; ARANGO SERNA, Martin Dario; ANDRES GOMEZ, Rodrigo. **Information systems applied to transport improvement**. Dyna, v. 80, n. 180, p. 77-86, 2013.

ZHANG, Guohua; MING, L. I.; JINGXIA, W. A. N. G. **Application of the advanced public transport system in cities of China and the prospect of its future development.** Journal of Transportation Systems engineering and information technology, v. 7, n. 5, p. 24-30, 2007.

ZOLIN, Deni. Em 2019, ônibus tiveram redução de 1,1 milhão de passageiros em Santa Maria. In: **Diário de Santa Maria**, Santa Maria, 1 fev. 2020. Disponível em: <<https://diariosm.com.br/colunistas/colunistas-do-site/deni-zolin/em-2019-%C3%B4nibus-tiveram-redu%C3%A7%C3%A3o-de-1-1-milh%C3%A3o-de-passageiros-em-santa-maria-1.2198823>>. Acesso em: 9 de abr. 2020.