

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Maria Cristina Molina Ladeira

REGULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE LINHAS DE
TRANSPORTE PÚBLICO URBANO: CONTROLE DO
HEADWAY

Porto Alegre

2014

Maria Cristina Molina Ladeira

Regulação da operação de linhas de transporte público urbano: Controle do Headway

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph. D.

Porto Alegre

2014

Maria Cristina Molina Ladeira

Regulação da operação de linhas de transporte público urbano: Controle do Headway

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph. D.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Carlos José Antônio Kümmel Felix, Dr. (UFSM)

Professora Christine Tessele Nodari, Dr. (PPGEP/UFRGS)

Professora Letícia Dexheimer, Dr. (UFPEL)

Dedico esta dissertação aos meus pais, Vicente
e Sulema, aos meus irmãos e ao meu grande
amor Renato.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, meu orientador que acreditou e me incentivou na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Fernando Dutra Michel que desempenhou um papel fundamental para o êxito deste trabalho, além de compartilhar comigo seus conhecimentos e experiências sobre os temas da área.

Agradeço aos professores do LASTRAN que contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico.

Agradeço as minhas amigas Ana Margarita Larrañaga e Carla Elisa Kohl, pela dedicação e paciência frente às minhas dificuldades.

Agradeço ao Adriano Rodenbusch, da Empresa SAFEBUS, que disponibilizou o acesso ao sistema de monitoramento.

Agradeço ao Antônio Augusto Lovatto e ao Guilherme Rocha Bittencourt, da equipe do Consórcio Sistema Transportador Sul de Passageiros – STS, que contribuíram para a aplicação e aprimoramento da metodologia de regulação.

Por fim, agradeço aos meus pais, Vicente e Sulema, que proveram toda minha educação e serviram de modelo de vida e, ao meu marido Renato, por todo apoio incondicional, companheirismo, carinho e amor durante essa e todas as outras fases da minha vida.

RESUMO

O aumento da mobilidade das pessoas é um desafio para a sociedade atual, o que leva a uma preocupação constante em busca de soluções adequadas. Um sistema de transporte público eficiente e confiável proporciona melhor mobilidade às pessoas, além de auxiliar na redução dos congestionamentos e nas emissões de poluentes nas áreas urbanas. O estudo do *headway*, ou o tempo de passagem entre dois veículos consecutivos de uma linha, é uma medida útil para avaliar o desempenho do sistema de ônibus, uma vez que perturbações durante a operação de uma linha podem gerar comboios (*bunching*), degradando rapidamente a operação. Este trabalho teve como objetivo apresentar a regulação operacional de linhas de transporte público urbano por meio do controle do *headway*, empregando ações corretivas como estratégia de controle a partir da identificação das anormalidades que perturbam a operação e atenuando seus impactos sobre o funcionamento da linha. A regulação operacional pelo controle do *headway* propiciou uma homogeneidade dos mesmos, redução de comboios, melhoria na distribuição de passageiros por viagem, assim como ganhos na dirigibilidade e segurança dos motoristas

Palavras-chave: ITS, Regulação de linhas, Comboio

ABSTRACT

Increased mobility of people is a challenge for modern society, it leads to a constant concern in seeking appropriate solutions. An efficient and reliable public transport provides better mobility people and help in reducing congestion and emissions of pollutants in urban areas. Headway, or the transit time between two consecutive vehicles in a line, is a useful tool to evaluate the performance of the bus system because of disturbances during operation can generate bunching, quickly degrading the operation. This study aimed to present the operational control of public transport lines by controlling the headway using corrective actions as a control strategy starting the identification of abnormalities that disrupt the operation and mitigating its impact on the operation of the line. The operating regulation by the headway control provided a homogeneity of headways, reduction of bunching, improved distribution of passengers per trip, as well as gains in handling and safety of drivers.

Keywords: ITS, Control lines, Bunching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da dissertação	21
Figura 2: Problemas Esporádicos X Problemas Sistêmicos	47
Figura 3: Evolução do ICV do Sistema e do STS	72
Figura 4: Itinerário da linha 262	74
Figura 5: Matriz de Embarque e Desembarque Expandida, Pico da Manhã 06h00min às 09h00min B/C	75
Figura 6: Interface Monitorador Analítico Linha 262 – Consulta dia 23/11/2013.....	79
Figura 7: Inteface Monitorador Sintético Linha 262 – Consulta dia 23/11/2013.....	79
Figura 8: Gráfico de Marcha em tempo real, Pico Manhã	80
Figura 9: Gráfico de Marcha em tempo real, Pico Tarde	81
Figura 10: Gráfico de Marcha após treinamento	84
Figura 11: Metodologia manual proposta para a regulação operacional.....	94
Figura 12: Características operacionais da Linha 262 Jardim Vila Nova	95
Figura 13: Gráfico de Marcha em tempo real.....	97
Figura 14: Detalhe do gráfico de marcha da linha em tempo real.....	97
Figura 15: Dia 28/04/2014, Pico Manhã B-C, das 06:00 às 10:00.....	100
Figura 16: Dia 28/04/2014, Pico Tarde, C-B, das 16:00 às 20:00.....	101
Figura 17: Dia 29/04/2014, B-C, das 11:30 às 15:30	101
Figura 18: Dia 30/04/2014, Pico Manhã B-C, das 06:00 às 10:00.....	102
Figura 19: Dia 30/04/2014, B-C, das 16:00 às 20:00	102
Figura 20: Gráfico de Marcha da Operação	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Categorização do ITS	23
Quadro 2: Características, vantagens e desvantagens das tecnologias AVL.....	25
Quadro 3: Fragilidades dos sistemas atuais	40
Quadro 4: Objetivos e características de um Sistema de ITS.....	41
Quadro 5: Marco Referencial Teórico.....	52
Quadro 6: Trabalhos mais recentes de estratégia de retenção de veículos.....	55
Quadro 7: Descrição das fases do Modelo Funcional do Sistema de Ajuda à Regulação	66
Quadro 8: Mapa de decisão das manobras de regulação	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média diária mensal de anomalias dos pontos críticos na operação da linha..... 103

LISTA DE SIGLAS

ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte
APTS - Advanced Public Transportation Systems
ATMS - Advanced Travel Management Systems
ATIS - Advanced Traveller Information Systems
AVCS - Advanced Vehicle Control Systems
AVL - Automatic Vehicle Location
AVI - Automatic Vehicle Identification
BRT - Bus Rapid Transit
CCI – Centro de Controle Integrado
CCO – Centro de Controle e Operação
CCT – Centro de Controle de Tráfego
CECOMM – Central de Controle e Monitoramento da Mobilidade
CEIC – Centro Integrado de Comando
CIM – Central Integrada de Monitoramento
CONORTE – Consórcio Operacional Zona Norte
COR – Centro de Operações Rio
CTA – Centro de Controle de Área
CTAFOR – Controle de Tráfego em Área de Fortaleza
CVO - Commercial Vehicle Operations
DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul
EF – Estação fixa
EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação
ETC - Electronic Toll Collection
GPRS – General Packet Radio Service
GPS – Ground Positioning System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITS – Intelligent Transportation Systems
LCD – Liquid Cristal Display
LED – Light Emitting Diode
PANAM – Congresso Panamericano de Ingeniería de Transito y Logística
PDA – Dispositivo Móvel de Comunicação
PMV – Painel de Mensagem Variável

RMTC – Rede Metropolitana de Transporte Coletivo

RNA – Rede Neural Artificial

SAAT – Sistema de Arrecadação Tarifária

SAO – Sistema de Ajuda à Operação

SAD – Sistema de Ajuda à Decisão

SAR – Sistema de Ajuda à Regulação

SIU – Sistema de Informação ao Usuário

SMS – Short Message Service

SOMA – Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente

SOMART – Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente em tempo real

STS – Sistema Transportador Sul

TCRP – Transportation Research Board

UNIBUS – União da Bacia Urbana Sudeste Leste

VLT – Light Rail Vehicle

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	USO DO ITS NO TRANSPORTE	22
2.1	SISTEMA AVANÇADO DE TRANSPORTE PÚBLICO (APTS)	24
2.2	CATEGORIAS DOS SISTEMAS AVANÇADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO - APTS 26	
3	ARTIGO 1: “SITUAÇÃO ATUAL, FUTURO E DESAFIOS DO ITS NAS CIDADES BRASILEIRAS”	29
1	INTRODUÇÃO	30
2	BREVE HISTÓRICO	32
3	CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SISTEMAS ITS EXISTENTES NO BRASIL	33
3.1	SÃO PAULO	34
3.2	RIO DE JANEIRO	35
3.3	FORTALEZA	35
3.4	BELO HORIZONTE	36
3.5	CURITIBA	36
3.6	PORTO ALEGRE	37
3.7	GOIÂNIA	38
3.8	CAMPINAS	39
4	FRAGILIDADES E NECESSIDADES DOS SISTEMAS DE ITS EXISTENTES	39
5	CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS EM UM SISTEMA DE ITS	41
6	RECOMENDAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ITS	41
7	CONCLUSÕES	42
4	ARTIGO 2: “ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA OPERAÇÃO DE LINHAS DE ÔNIBUS”	45
1	INTRODUÇÃO	46
2	PROBLEMAS DE REGULAÇÃO	47

2.1	MÉTODOS PARA A RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS DA REGULAÇÃO DE LINHAS	48
2.2	ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO DE LINHAS	50
2.3	ABORDAGEM MAIS MODERNA ADOTADA DE RETENÇÃO DE VEÍCULOS NAS PARADAS.....	53
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5	ARTIGO 3: “ESTRATÉGIA DE REGULAÇÃO DE LINHAS EM TEMPO REAL: O CASO DE PORTO ALEGRE”	64
1	INTRODUÇÃO	64
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO)	65
3	PANORAMA DOS SISTEMAS DE AVL IMPLANTADOS NO BRASIL	69
4	O SISTEMA DE TRANSPORTE POR ÔNIBUS EM PORTO ALEGRE.....	70
5	PROJETO PILOTO.....	72
5.1	ESCOLHA DO CONSÓRCIO	72
5.2	ESCOLHA DA LINHA	73
5.3	PREPARAÇÃO DO PROJETO PILOTO.....	76
5.4	SOFTWARE DE MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO.....	78
5.5	PREMISSAS DO MODELO DE REGULAÇÃO OPERACIONAL DO PROJETO PILOTO	81
5.6	MANOBRAS DE REGULAÇÃO OPERACIONAL	82
5.7	PRIMEIROS RESULTADOS	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
6	ARTIGO 4: “ESTRATÉGIA DE CONTROLE DO HEADWAY EM TEMPO REAL: ESTUDO DE CASO”.....	88
1	INTRODUÇÃO	89
2	REFERENCIAL TEÓRICO	91
3	METODOLOGIA PROPOSTA.....	93
4	ESTUDO DE CASO	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
7	CONCLUSÕES.....	108
7.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	108
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	APÊNDICE	117

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, milhões de usuários utilizam diariamente o sistema de transporte público por ônibus. Nas áreas urbanas com forte densidade populacional esse sistema é cada vez mais importante e torna-se um serviço indispensável na vida dos usuários. Em paralelo, com o aumento da população, o crescimento do uso do automóvel coloca problemas iguais, tanto sociais como econômicos e ambientais. O transporte público tem uma grande importância na vida coletiva e no cotidiano das pessoas. O interesse mundial por esse setor é cada vez mais crescente nas últimas décadas.

As redes de transporte público estão maiores e, conseqüentemente, mais difíceis de controlar. O número de estações (paradas) e de veículos não param de crescer. Acrescenta-se a isso a noção de multimodalidade e de intermodalidade, e as dificuldades de gestão aumentam e se tornam mais complexas devido ao tamanho dessas redes e da presença de vários modos de transporte.

Com o desenvolvimento das tecnologias de informação, o poder público e os operadores de transporte buscam o desenvolvimento de ferramentas que permitam melhorar a qualidade dos serviços oferecidos aos usuários de transporte coletivo. Estas ferramentas concernem, entre outros, o estabelecimento do equilíbrio da oferta, pelo ajuste em tempo real, de tabelas horárias planejadas em relação à demanda. Para esse ajuste é imprescindível o acompanhamento, em tempo real, da posição da oferta (ônibus) no cumprimento de seu percurso. Esta localização, normalmente, é realizada pelo Sistema de Posicionamento Global-GPS.

Nesse contexto, a introdução em larga escala de sistemas baseados em GPS nas frotas de ônibus abriu novos horizontes a serem explorados pelos órgãos gestores e pelas empresas operadoras de transporte. Essa tecnologia tornou possível a criação de centros de controle altamente sofisticados para monitorar todos os veículos em tempo real. No entanto, esse tipo de controle necessita frequentemente de um grande número de recursos humanos para tomar decisões sobre as melhores estratégias operacionais frente às adversidades (Apendice).

A operação dos sistemas de transporte por ônibus se caracteriza pela variabilidade tanto dos tempos de viagem, (previstos para a construção de tabelas horárias) como da demanda entre as paradas sucessivas de uma rota, podendo ocasionar o fenômeno conhecido como *bunching*, ou seja, o agrupamento de dois ou mais veículos consecutivos. A formação do comboio deteriora os tempos de espera, o conforto e a confiabilidade do serviço (González, 2011).

O planejamento da operação da rede de transporte é realizado antecipadamente, e se baseia em previsões das condições de circulação, dos tempos de viagens e da demanda. Portanto, é difícil de seguir a tabela horária extraída desse processo por causa do aparecimento de fenômenos complexos e aleatórios que afetam o tráfego na rede. A fim de evitar que a qualidade do serviço se deteriore, as perturbações provocadas por tais fenômenos devem ser tratadas rapidamente através de um processo de regulação.

O aparecimento desses eventos é completamente aleatório porque não se sabe quando ou onde podem ocorrer. No entanto, existem alguns padrões comportamentais que podem antecipar sua ocorrência, tais como redução consecutiva do *headway*, intervalo de tempo em minutos entre dois veículos consecutivos de uma linha e tempos de viagem maiores do que o esperado. Tais padrões revelam algumas regularidades nas causas que podem ser exploradas. As informações são provenientes de séries históricas das ocorrências ou pelo rastreamento em tempo real (Matias et al., 2014).

A regulação operacional de linhas de transporte público urbano é o processo de adequação em tempo real das tabelas horárias nas condições reais de operação. Ela é realizada por um ou vários operadores chamados reguladores, os quais adotam estratégias de controle do *headway* em caso de perturbação.

A estratégia de controle do *headway* age somente sobre os horários da passagem dos veículos. Contudo, no caso de perturbações mais complexas e difíceis de controlar, a regulação operacional não pode propor uma ação específica de regulação, mas ela pode refazer um planejamento total ou parcial da linha em tempo real.

Segundo Delgado, Munöz & Giesen (2011) a regularidade dos intervalos de tempo entre os ônibus ajuda a melhorar o nível de serviço, uma vez que reduz a variabilidade dos tempos e a distribuição no carregamento dos ônibus, melhorando desta forma o conforto dos passageiros. Além disso, diminui o custo de operação ao reduzir os tempos de ciclo e possibilidade de redução de frota.

1.1 TEMA

O tema da presente dissertação é a regulação operacional de linhas de ônibus, através da aplicação de estratégias de controle do *headway*. Não há dúvida que existe a necessidade de se buscar constantemente a melhoria da qualidade do transporte público. Desde meados da década de 1990, os sistemas de transporte público de passageiros das cidades brasileiras vêm enfrentando uma redução na receita e um aumento dos custos, em decorrência da redução da quantidade de passageiros e o aumento da produção quilométrica.

Oferecer um serviço com qualidade (conforto, regularidade, pontualidade) aos usuários do transporte, que estão cada vez mais exigentes, é um desafio para as empresas e órgãos gestores de transporte. Do mesmo modo, ainda assegurar a regularidade, inserindo meios necessários à identificação das anormalidades que perturbam a operação e atenuar os seus impactos sobre o funcionamento da rede de transporte.

A queda da demanda do transporte coletivo refere-se à dificuldade de competir com outros modos formais ou informais, à qualidade dos serviços prestados, ao maior tempo de viagem e às baixas velocidades operacionais, além do alto custo tarifário. No quesito custo, destacam-se a incorporação nos itens de acessibilidade dos veículos, maiores frequências e nível de conforto, além das perdas advindas dos congestionamentos.

A fim de reverter essa situação, é de suma importância que os sistemas de transporte das cidades garantam um bom nível de serviço, como forma de atrair e fidelizar os passageiros. Esse nível de serviço está associado a vários aspectos que são percebidos pelos usuários tais como: frequência, *headway*, conveniência, custo, confiabilidade, regularidade, segurança no tempo de espera, dentre outros.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão divididos em dois níveis. O primeiro deles compreende o objetivo geral. No segundo nível aparecem os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a regulação operacional de linhas de transporte público urbano através do controle do *headway*, utilizando ações corretivas como estratégias de controle.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- a) apresentar uma contextualização do uso do ITS no transporte;
- b) apresentar a situação atual, futura e os desafios do ITS nas cidades brasileiras;
- c) apresentar estratégias de controle da operação de linhas de ônibus, e as abordagens disponíveis na literatura para a resolução de problemas de regulação operacional de linhas;
- d) apresentar um Estudo de Caso de aplicação real de regulação operacional de forma manual do *headway* em uma linha na cidade de Porto Alegre.

1.3 JUSTIFICATIVA

O problema da mobilidade urbana é mundial, cada vez mais o espaço urbano torna-se escasso em face da necessidade de deslocamentos das pessoas e mercadorias que ocorrem simultaneamente. A sensação é de que o tempo passa mais depressa e que mais atividades são feitas em menos tempo. Isso decorre das facilidades advindas da tecnologia, as quais proporcionam uma plataforma virtual de produtos e serviços.

A demanda por mobilidade é uma das características da sociedade moderna, trazendo como consequência o aumento do fluxo dos veículos e a necessidade por transporte,

impactando diretamente o meio ambiente. É previsível assim, um aumento dos problemas relacionados aos congestionamentos. Várias medidas têm sido adotadas no sentido de minimizar seus efeitos, tais como a cobrança por uso de áreas urbanas (Londres), a restrição do tráfego no centro histórico (Roma, Paris, Amsterdam), o rodízio de veículos que tem permissão de circular em determinados dias (São Paulo, Cidade do México) e muitas outras que visam uma mobilidade sustentável.

O atendimento ao aumento da mobilidade das pessoas é um desafio para todos os países, o que leva a uma preocupação constante em busca de soluções adequadas. Neste contexto é importante monitorar os sistemas de transporte, contemplando todas as dimensões e, incluindo nestes últimos anos, a sustentabilidade. Uma das formas mais efetivas de se atingir os objetivos da sustentabilidade é através da implantação de estratégias que aumentem a eficiência dos sistemas de transporte e reduzam seus impactos negativos.

É necessária a busca constante da melhoria da qualidade do transporte público, pois atua como mitigador dos congestionamentos. Atualmente, os veículos e a operação dos sistemas de ônibus são inquestionavelmente melhores que seus antecessores. Diversas cidades e pesquisadores do mundo apresentam casos exemplares no emprego da tecnologia para a operação do transporte público por ônibus.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, o tema, os objetivos, delimitações e estrutura da mesma. O capítulo dois apresenta uma contextualização do uso do ITS no transporte a partir de uma revisão bibliográfica. O estudo desenvolvido nesta dissertação é apresentado em forma de artigos científicos, os quais correspondem aos capítulos 3, 4, 5 e 6. Estes quatro artigos foram publicados nos anais de congressos de projeção nacional e internacional.

O capítulo 3 corresponde ao primeiro artigo “Situação atual, futuro e desafios do ITS nas cidades Brasileiras”. Esse artigo apresenta um breve histórico do uso do ITS, contextualização e aplicação dos sistemas existentes no Brasil, além das fragilidades,

necessidades e características desejáveis em um sistema desses. Este artigo foi apresentado no XI Rio de Transportes, Congresso de Ensino e Pesquisa de Engenharia de Transportes do Estado do Rio de Janeiro, em 2013.

O capítulo 4 corresponde ao artigo “Estratégias de controle da operação de linhas de ônibus”. Esse artigo trata da revisão bibliográfica das estratégias de controle da operação de linhas de ônibus e as abordagens disponíveis na literatura para resolução de problemas de regulação. Este artigo foi aceito no XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), realizado em Belém em 2013, e consta nos anais do mesmo.

O capítulo 5 corresponde ao artigo “Estratégia de regulação de Linhas em Tempo Real: O caso de Porto Alegre”. Nesse artigo, é apresentada uma análise dos modelos de resoluções de problemas de regulação de linhas de transporte por ônibus e identifica os principais problemas. Além disso, retrata a preparação do Projeto Piloto para a implantação da metodologia de regulação operacional em uma linha em tempo real. Este artigo foi aceito no XVIII Congresso Panamericano de Ingeniería de Transito Transporte y Logística (PANAM 2014), e consta nos anais do mesmo.

O capítulo 6 corresponde ao artigo “Estratégia de regulação operacional de ônibus em Tempo Real: Estudo de caso”. Nesse artigo é apresentado o estudo de caso de aplicação real de regulação operacional manual. O artigo descreve a metodologia proposta que se caracteriza pela utilização de um sistema de localização automática de veículo (*Automated Vehicle Location* – AVL) com uma análise e uma solução construída manualmente pelo operador. Este artigo foi aceito no XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), realizado em Curitiba em 2014, e consta nos anais do mesmo.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões desta dissertação e recomendações para trabalhos futuros. Em seguida, são apresentadas as referências bibliográficas.

A Figura 1, apresenta a estrutura da dissertação.

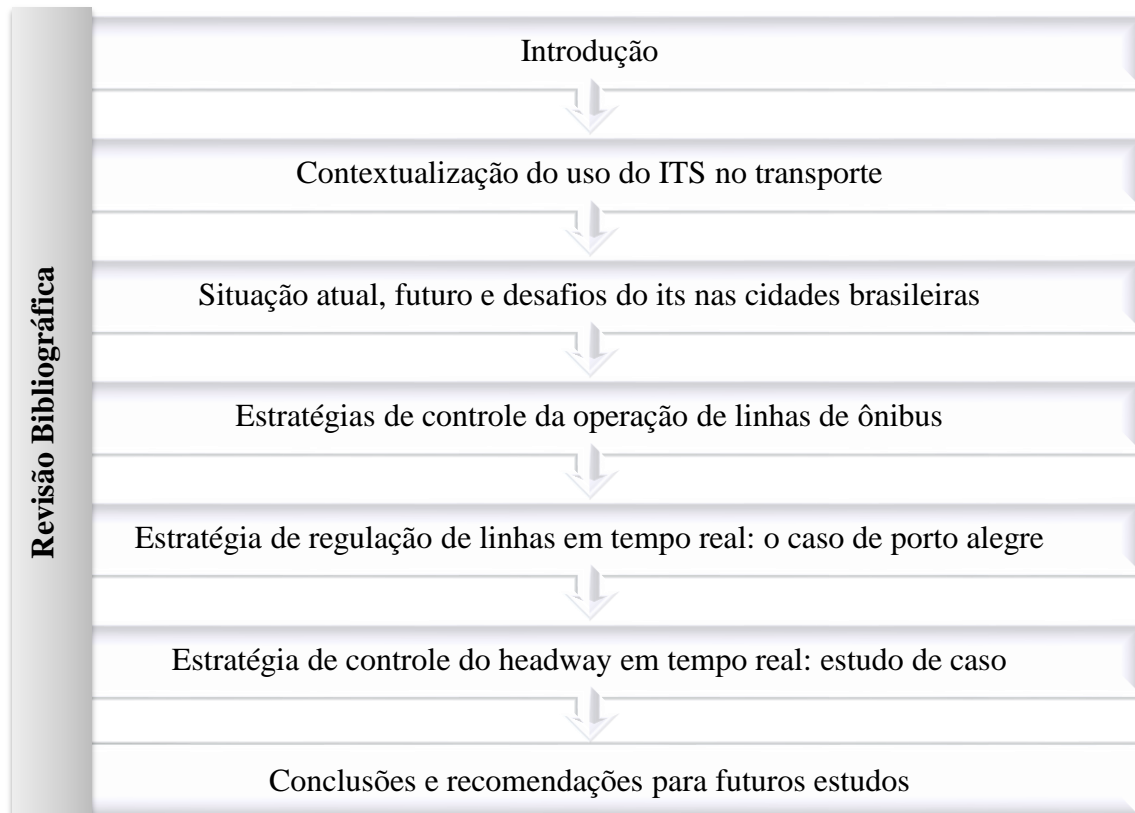


Figura 1: Estrutura da dissertação

Os artigos seguem uma ordem lógica de desenvolvimento. O primeiro artigo apresenta um *overview* dos sistemas de ITS nas cidades brasileiras. O segundo inicia a abordagem da natureza dos problemas de regulação quanto ao cumprimento das tabelas horárias das linhas de ônibus e seus métodos de resolução, apresenta uma revisão sobre estratégias de regulação de linhas e seus métodos.

O terceiro artigo apresenta a preparação do projeto piloto para a implementação do estudo de caso em tempo real, verificando e conferindo as condições mínimas necessárias para a sua operacionalização. O quarto artigo é a operacionalização da metodologia de regulação operacional em tempo real na linha piloto.

A cronologia dos artigos dá a sustentação teórica e prática para o alcance do objetivo final desta dissertação que é a implementação de uma metodologia de regulação operacional manual de linhas de ônibus pelo controle do headway apresentada pelo estudo de caso.

2 USO DO ITS NO TRANSPORTE

A gestão da mobilidade urbana e a otimização do espaço viário apoiam-se cada vez mais no uso da tecnologia. Desta forma, o controle eficaz dos sistemas de transporte urbano depende de um gerenciamento sistêmico do tráfego e da rede de transporte focados na segurança e na fluidez viabilizada pelo uso de Sistemas Inteligentes de Transporte - ITS (Ladeira et al., 2011).

Segundo os autores An et al. (2001), os sistemas de ITS tornam-se cada vez mais importantes e essenciais para um país. A prática mostra que contar apenas com a construção de infraestrutura e sua expansão não necessariamente resolve os problemas de transporte. Assim, cada país está explorando ativamente a tecnologia disponível para resolver os problemas de trânsito e transporte. Ainda, estes autores consideram o problema de tráfego não apenas como um problema individual, mas também como um tema global.

A constante evolução da tecnologia e o aumento das restrições à ampliação da infraestrutura viária proporcionam a pesquisa de equipamentos eletrônicos capazes de auxiliar na operação do sistema de transportes (Pereira, 2012). A crescente utilização de sistemas tecnologicamente avançados para monitorar e controlar a gestão centralizada e integrada da operação representa uma ação eficiente e eficaz para melhorar as condições do sistema de transporte, fluidez e segurança. Há visivelmente uma melhora na regularidade, segurança, confiabilidade e uso maximizado de dados que permite fornecer informações mais precisas ao usuário (Ladeira et al., 2011).

Os sistemas inteligentes utilizam tecnologia de processamento de informação e comunicação, sensoriamento, navegação e tecnologia de controle. Esses sistemas auxiliam no gerenciamento e na operação de transportes e seu uso cresce a cada dia, pois os sistemas de transportes devem ser mais modernos, eficientes e abrangentes (Silva, 2000; Kanninen, 1996; Ribeiro, 1996; Ladeira et al., 2009)

Investimentos em ITS envolvem desde sistemas avançados de informação ao motorista (via rádio, telefone, internet, painéis de mensagens, quiosques de informação, dispositivos instalados nos veículos e *personal assistants*), passando pelo emprego de técnicas das áreas de otimização e de telecomunicações até as novas tecnologias, visando direção autônoma e rodovias informatizadas.

Tais tecnologias envolvem automação de autoestradas, sistemas automáticos de pedágio, GPS, sistemas embarcados, sistemas de informação ao usuário, dispositivos inteligentes de controle (tanto no nível de infraestrutura, quanto no do veículo), dentre outros.

A aplicação de diferentes tecnologias avançadas no setor de transportes pode ser categorizada como: (i) Sistemas Avançados de Transporte Público (APTS); Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego (ATMS); (iii) Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (ATIS); (iv) Operação de Veículos Comerciais (CVO); (v) Sistemas Avançados de Controle Veicular (AVCS); e (vi) Coleta Eletrônica de Pedágio (ETC), (Silva, 2000; Santi e Goldner, 2009; Jensen, 1996; Ladeira et al., 2009). O Quadro 1 apresenta a categorização do ITS com sua descrição, uso e benefícios

Quadro 1: Categorização do ITS

Sistema	Descrição	Uso e Benefícios
APTS - Sistemas Avançados de Transporte Público (<i>Advanced Public Transportation Systems</i>)	Representam o uso de tecnologias avançadas para melhorar a segurança, eficiência e efetividade dos sistemas de transporte.	Minimização dos tempos de espera, segurança e pagamento da tarifa, informações precisas e atualizadas sobre itinerários e horários.
ATMS - Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego (<i>Advanced Travel Management Systems</i>)	Compreendem o gerenciamento global do tráfego. Tecnologias avançadas aplicadas em sistemas de semáforos, segurança no trânsito e gerenciamento de rotas.	Refere-se ao aproveitamento da infraestrutura e engenharia.
ATIS - Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (<i>Advanced Traveller Information Systems</i>)	Tecnologias avançadas para informar motoristas e demais usuários do sistema sobre a via, condições ambientais e o trânsito.	Sistema diretamente ligado ao usuário do sistema. Empregado para melhorar a eficiência da rede via recomendação direta ou indireta de rotas alternativas.
CVO - Operação de Veículos Comerciais (<i>Commercial Vehicle Operations</i>)	Tecnologias de gerenciamento do transporte de carga para minimizar as interferências com relação às rotas, mantendo um alto nível de segurança	Prever e melhorar tempos de entrega são uns dos objetivos deste sistema aliado à segurança.
AVCS - Sistemas Avançados de Controle Veicular (<i>Advanced Vehicle Control Systems</i>)	Garantem melhoria na segurança viária, permitindo que os veículos auxiliem os motoristas.	Veículos inteligentes com tecnologia que monitoraram as condições de dirigibilidade e adotam medidas necessárias para evitar acidentes.
ETC - Coleta Eletrônica de Pedágio (<i>Electronic Toll Collection</i>)	Utilizam tecnologias avançadas para prover eficientes métodos de cobrança de pedágios	Minimizar tempos perdidos e reduzir congestionamentos em praças de pedágio

Fonte: Silva (2000) adaptada pela autora

Para um sistema de transporte ser eficiente não basta ter somente um bom planejamento, ele deve ser bem operado e permanentemente monitorado. Nessa direção temos o Sistema Avançado de Transporte Público - APTS. Entre as tecnologias utilizadas para o monitoramento e rastreamento encontra-se o *Automated Vehicle Location* – AVL (Ladeira et al., 2009).

2.1 SISTEMA AVANÇADO DE TRANSPORTE PÚBLICO (APTS)

Autores como Saint-Laurent (1997) definem APTS como um sistema que auxilia o gerenciamento de transporte público através da utilização de sistemas de localização automática de veículos (*Automated Vehicle Location* - AVL) (Silva, 2000). O AVL é uma tecnologia complementar que rastreia a localização de um veículo de maneira acurada. Trata-se de um meio de determinar a localização geográfica de um veículo e transmitir essas informações a um ponto onde possam ser processadas e utilizadas da melhor forma (TCRP 24, 1997). O sistema AVL utiliza o *Global Position System* – GPS baseado nos sistemas de localização de veículo (Ladeira et al., 2009).

Os sistemas AVL têm ajudado a promover um serviço de melhor qualidade e performance em relação a pontualidade do serviço prestado. Há múltiplas vantagens na utilização desses sistemas, considerando os três agentes dos transportes: operadores, usuários e órgão gestor. Por parte dos usuários, há a confiabilidade no serviço prestado, pois têm mais clareza e segurança quanto à passagem de seu ônibus. Por parte dos operadores, há maior controle sobre a operação da frota e tripulação, possibilitando a comunicação com a tripulação que, por sua vez, também se sente mais segura. E, por fim, por parte do órgão gestor, a certeza da execução do serviço de acordo com o especificado, bem como a apropriação correta dos custos de operação face à possibilidade de monitoramento do serviço e de insumos componentes na tarifa (Texier e Meyer, 1987; Silva, 2000; Ladeira et al., 2009)

Segundo TCRP (1997) as tecnologias de AVL identificadas são: Antenas; *Wayside AVI*; Posicionamento por base terrestre via rádio; Posicionamento por satélite via rádio; GPS diferencial; Identificador automático por deslocamento (*Dead Reckoning*); e Sistemas híbridos de navegação cujas características, vantagens e desvantagens são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Características, vantagens e desvantagens das tecnologias AVL

AVL	Características	Vantagens	Desvantagens
Antenas	Informações são passadas para uma antena. Aparelho localizado no veículo, para melhor comunicação.	Baixo custo de instalação nos veículos. Sem pontos cegos ou interferência. Acurácia constante.	Necessita de infraestrutura bem equipada. Sem dados fora da infraestrutura implantada.
<i>Wayside AVI</i>	Informações transmitidas por micro-ondas ou ligações terrestres. <i>Transponder</i> envia informações para estrutura receptora, que pode ser conectada a cabos fibra ótica e antenas.	Baixo custo de instalação nos veículos. Sem interferência de áreas cegas. Acurácia constante.	Necessita de infraestrutura bem equipada. Frequência de atualização depende do número de pontos receptores. Pode demandar alto custo de comunicação.
Posicionamento por base terrestre via rádio	Baseado na diferença de tempo na recepção de um sinal. Composto por antena e unidade de localização de veículo.	Baixo custo. Acurácia moderada. Baixo custo de manutenção.	Taxas mensais de serviço. Folhagens, túneis e prédios altos podem prejudicar o sinal.
Posicionamento por satélite via rádio	Três tipos: Satélites circulares, Geoestacionários e <i>Global Position System</i> (GPS).	Custo moderado por veículo. Acurácia moderada. Cobertura global.	Prédios altos bloqueiam o sinal. Folhagens, túneis e prédios podem prejudicar o sinal.
GPS Diferencial	Correção de erros entre sinais obtidos e previstos. Composto por receptor GPS e antena, rádio receptor das correções, estação referencial de diferença.	Custo moderado por veículo. Alta acurácia.	Folhagens, túneis e prédios podem prejudicar ou bloquear o sinal. Correções do diferencial devem ser atualizadas frequentemente.
Identificador Automático por deslocamento (<i>Dead Reckoning</i>)	Mede a distância e direção em relação a um ponto fixo. Algoritmo interpreta a distância a partir do número de voltas das rodas.	Relativamente barato. Sem custo de infraestrutura. Necessário apenas odômetro.	Acurácia diminui com a distância (erros podem ser acumulados). Corrompido por vias irregulares, inclinações acentuadas e interferências magnéticas.
Sistemas híbridos de navegação	O GPS ou <i>Signpost</i> são tidos como tecnologia principal e o <i>Dead Reckoning</i> , secundária.	-	-

Fonte: TCRP, 1997 (apud Ladeira et al., 2009)

2.2 CATEGORIAS DOS SISTEMAS AVANÇADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO -APTS

De forma sumária os objetivos do APTS são: (i) aumentar o controle sobre as viagens; (ii) proporcionar alta qualidade de serviço e flexibilidade; (iii) contribuir para um sistema de transporte integrado; (iv) aprimorar o sistema de informação ao passageiro; (v) aumentar a segurança dos passageiros; e (vi) facilitar o acesso ao serviço multimodal (Schein, 2003).

Segundo Silva (2000), considerando as diferenças quanto às possíveis aplicações dos diferentes sistemas avançados e dos diferentes clientes, os APTS podem ser divididos em três categorias: Sistemas de Ajuda à Operação (SAO), Sistemas de Informação ao Usuário (SIU) e Sistemas Automatizados de Arrecadação Tarifária (SAAT).

2.2.1 Sistema de Ajuda à Operação (SAO)

O SAO permite, de forma sistemática, organizar os dados de operações realizadas na prestação dos serviços, permitindo a geração de uma base de informações e dados para supervisão e fiscalização, além de permitir que parte dessa base de dados possa ser disponibilizada em tempo real através de um sistema de informação ao usuário.

Os sistemas de ajuda à operação são constituídos por equipamentos, sistemas, plataformas e serviços que visam automatizar, racionalizar e otimizar os processos de fiscalização, supervisão, operação, planejamento, suporte, vigilância e gestão de sistema de transporte, e permitem a redução de custos e maior eficiência, transparência na operação e controle dos serviços prestados. É possível também melhorar a produção em termos de desenho de rede, organização da programação, monitoramento das operações e gerenciamento das informações para a central de controle, motoristas e usuários (Schein, 2003).

Segundo Silva (2000), a estrutura básica de um SAO consiste em uma central de operações para controle e armazenamento dos dados, de sistema de comunicação para a coleta e transmissão dos dados e sistemas de localização de veículo (AVL). Além da informação da localização do veículo na via, é possível coletar dados referentes à telemetria do veículo na via, como velocidade, aceleração, tempo parado, número de passageiros por trecho e horário, dentre outros.

As principais funções do SAO são: (i) garantir a comunicação; (ii) adquirir dados de tempo de percurso; (iii) auto regulação; (iv) regulação da linha; (v) regulação da rede; (vi) prioridade nas interseções semaforicas; (vii) informação ao usuário; (viii) elaboração do preço da tarifa; e (ix) suporte na troca de dados.

2.2.2 Sistema de Informação ao Usuário (SIU)

Os SIU constituem-se em uma ferramenta de diálogo entre o operador/gestor e os usuários. Através destes sistemas os usuários podem obter informações que satisfaçam as suas necessidades específicas como tempo de espera na parada, que linha utilizar, tempo de conexão, dentre outras (Schein, 2003).

Os SIU são constituídos por equipamentos, sistemas, plataformas e serviços que visam promover de forma extensiva, rápida, atualizada, objetiva e eficaz a disponibilização de informações, buscando o aumento da conveniência, usabilidade e conforto do usuário na utilização dos serviços através da divulgação de horários, itinerários, tarifas, conexões e informações pertinentes ao sistema, em tempo real ou não, por meio de diversas mídias. Baseados em tecnologias avançadas de comunicação e transmissão dos dados, os sistemas de informação garantem um aumento de qualidade do serviço ofertado aos passageiros (Silva, 2000).

A informação dinâmica, atualizada em tempo real requer uma infraestrutura de dados e comunicação complexa. Os sistemas de informação dinâmicos são implantados em terminais, onde a orientação é importante para o usuário, para agilizar os fluxos que circulam nas plataformas e nos pontos de parada. Os sistemas implantados usam painéis com tecnologia LED para as áreas dos terminais e pontos de parada. A informação veiculada pelos sites de transporte na Internet também têm sido utilizada. Ela contém informações sobre itinerários, horários de partida e os locais dos pontos de conexão e informações sobre os eventos e ocorrências, de modo que os usuários podem obter informações atualizadas sobre a operação, mesmo antes de seu deslocamento (Ladeira et al., 2011).

2.2.3 Sistema de Arrecadação Automática Tarifária (SAAT)

Os sistemas de arrecadação automática tarifária são constituídos de equipamentos, programas aplicativos e procedimentos operacionais projetados, construídos e implantados com a finalidade de controlar a operação e o fluxo de valores em sistemas públicos de

transporte de passageiros. São sistemas sofisticados, que agregam e integram diferentes tecnologias. Dentre as diversas tecnologias que usualmente compõem um SAAT contam-se a dos cartões inteligentes, a da eletrônica digital, a do tratamento de informações e de programação de computadores e a da transmissão digital de dados, seja via cabos elétricos ou óticos, ou ainda via rádio frequência.

Ainda segundo Schein (2003), esta é a área em que estão concentrados os mais recentes avanços tecnológicos em transporte coletivo urbano. Os esforços estão voltados para a implementação de sistemas unificados com *smart cards* que permitam aos usuários utilizá-los no pagamento da tarifa de todos os modos de transporte coletivo urbano, no pagamento de estacionamentos e tarifas de pedágio, bem como em transações financeiras.

3 ARTIGO 1: “SITUAÇÃO ATUAL, FUTURO E DESAFIOS DO ITS NAS CIDADES BRASILEIRAS”

Adaptado do Artigo publicado no XI Rio de Transportes - Congresso de Ensino e Pesquisa de Engenharia de Transportes do Estado do Rio de Janeiro

Maria Cristina Molina Ladeira

Empresa Pública de Transporte e Circulação
Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernando Dutra Michel

Luiz Afonso dos Santos Senna

Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

A urbanização nas cidades brasileiras está em ritmo acelerado com alto grau de adensamento populacional. Os deslocamentos aumentam a cada dia e com isso mais viagens são realizadas pelos diversos meios de transporte, principalmente pelo modo automóvel saturando a infraestrutura. Para minimizar os reflexos negativos desta mobilidade a engenharia de transporte e trânsito tem adotado tecnologias que visam maior inteligência aos sistemas de transporte. Sistema Inteligente de Transporte – ITS envolve a aplicação de modernas tecnologias ligadas à área de tecnologia da informação. Algumas cidades brasileiras têm adotado centros de controle operacionais voltados à gestão de crise e emergências com pouca interligação com a gestão de transporte e tráfego. A capacidade de integrar sistemas é o maior desafio dos ITS. O presente artigo apresenta a situação atual, futuro, desafios dos ITS nas cidades brasileiras bem como a importância de desenvolvimento de uma arquitetura própria de ITS para o Brasil.

ABSTRACT

Urbanization in Brazilian cities is fast-paced with a high degree of population density. The demand for transport increases each day and with it more trips are made by various means of transport, especially by saturating the automobile infrastructure. To minimize the negative impact of this mobility transport engineering and transit passes to adopt technologies, aimed

at a greater intelligence transport systems, i.e., intelligent transport system (its). The ability to integrate systems is the biggest challenge of its. This article presents the current situation, the future challenges of its in Brazilian cities and presents the importance of its architecture Brazil.

Palavras Chave

ITS, Sistema Inteligente de Transporte, ITS Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A cada dia, a demanda por transporte aumenta e com isso mais viagens são realizadas pelos diversos meios de transportes. A urbanização está em ritmo acelerado com alto grau de adensamento populacional. Isto gera uma série de problemas como congestionamentos, acidentes, ineficiências dos sistemas provocadas pelo maior tempo dos deslocamentos, poluição, além de reflexos econômicos. O desafio é tornar a infraestrutura de transporte mais inteligente, eficiente e interligada. Neste contexto os países estão explorando seus sistemas tecnológicos para a resolução dos problemas de tráfego (An, Lee e Shin, 2011). Para minimizar os reflexos negativos desta mobilidade a engenharia de transporte e trânsito tem adotado tecnologias, que visam uma maior inteligência aos sistemas de transporte, denominadas de Sistema Inteligente de Transporte - ITS. Essas modernas tecnologias trazem consigo sistemas ligados às áreas da tecnologia da informação (Hall, 2003; Papageorgiou et al., 2003; Roess et al., 2004).

Os sistemas inteligentes utilizam tecnologia de processamento de informação e comunicação, sensoriamento, navegação e tecnologia de controle entre outros (Ladeira, Michel e Pavanatto, 2009). A partir do uso da tecnologia da área de comunicação e de equipamentos direcionados ao seguimento dos transportes, surgem ITS com alta capacidade de integrar sistemas através de uma arquitetura bem definida. A interoperabilidade engloba os aspectos técnicos, operacionais e organizacionais, e implica em desenvolvimento harmônico e complementar de todo o sistema.

Os ITS devem contribuir com o sistema de transporte através da gestão, supervisão e controle em tempo real dos processos físicos, com o objetivo de qualificar o atendimento aos níveis de serviços desejados pelo passageiro e pela sociedade contribuindo também para a redução do impacto ambiental, racionalização de recursos, alternativa segura e eficiente de transportes e

maior transparência na gestão de transporte público, além de uma circulação segura e eficiente de pessoas, bens e informações (Nakanishi e Bekiaris, 2004).

A aplicação de diferentes tecnologias avançadas nos setores de transportes pode ser categorizada como: (i) Sistemas Avançados de Transporte Público (APTS); Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego (ATMS); (iii) Sistemas Avançados de Informação ao Viajante (ATIS); (iv) Operação de Veículos Comerciais (CVO); (v) Sistemas Avançados de Controle veicular (AVCS); e (vi) Coleta Eletrônica de Pedágio (ETC) (Ladeira, Michel e Pavanatto, 2009).

Segundo ANTP (2012) os sistemas de ITS compreendem os centros de controle multimodal e operações, os controles avançados de sinalização do trânsito, os sistemas de monitoramento e fiscalização remotos (câmaras, sensores, sondas, software), o gerenciamento de estacionamento, o gerenciamento de incidentes de tráfego, respostas de emergência, pagamento eletrônico e informações ao usuário em tempo real.

O uso de técnicas matemáticas e computacionais para a obtenção e o tratamento de informação geográfica vem aumentando gradualmente, principalmente nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Nessas áreas, o geoprocessamento de dados é amplamente utilizado, uma vez que faz parte da tendência de obtenção de uma infraestrutura voltada para a análise de informações sobre o espaço geográfico. Com a utilização das geotecnologias (Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global – GPS, Sistema de Informações Geográficas – SIG) é possível realizar levantamentos, cadastramentos, monitoramentos e mapeamentos de forma cada vez mais precisa.

A utilização do sistema GPS (conforme denominado na literatura) foi consagrada nos anos 80 e, em crescimento acelerado, foi consolidada nos anos 90. A utilização desse sistema como ferramenta de localização e navegação tornou-se uma tecnologia conhecida popularmente. Assim, seu uso se tornou acessível a uma série de pessoas, não só especialistas em geotecnologias. Por causa disso, as áreas de aplicação do sistema GPS são diversas e elas englobam desde o mapeamento de regiões da superfície terrestre, cadastro georeferenciado, monitoramento de deformação dinâmico de grandes estruturas ao monitoramento de linhas de

transporte coletivo e elaboração do planejamento de transportes de uma cidade, em pesquisas de origem e destino (Bernardi e Landim, 2002; Larocca, 2004).

A capacidade de integrar sistemas é o maior desafio dos ITS. O presente artigo apresenta a situação atual, futuro, desafios dos ITS nas cidades brasileiras, bem como as fragilidades, necessidades e características desejáveis de um sistema de ITS.

2 BREVE HISTÓRICO

A partir da década de 1990 o uso de ITS passa a ter maior abrangência a nível mundial. Cronologicamente os registros de ITS datam a partir da década de 1960 nos EUA, considerado como pioneiro quanto à tecnologia de sistemas inteligentes, no controle do tráfego urbano e rodoviário com o objetivo de fornecer aos motoristas informações sobre o tráfego e serviços para reduzir os congestionamentos e aumentar a capacidade viária. Nos anos 1970 países como Austrália registram o uso para as soluções de trânsito e no Japão, país mais avançado em ITS, iniciou seu uso para soluções de transporte (Houghton et al., 2012; Kanninen e Mota, 1996; Silva, 2000; TCRP, 1997). Também possuem um alto grau de desenvolvimento de ITS a Coreia do Sul e Singapura. Os países mais desenvolvidos em ITS têm a figura de uma Agência Nacional de ITS com poder e atribuições bem definidas.

No Brasil a utilização de ITS para a gestão de transporte coletivo por ônibus teve sua aplicação inicial no sentido de monitorar a demanda de passageiros e na arrecadação do sistema. Com a saturação do trânsito medidas de priorização da circulação do transporte coletivo, corredores e faixas exclusivas para ônibus, com vistas a reduzir os tempos de viagem estão sendo implantadas nas cidades brasileiras, como: São Paulo, Curitiba, Rio de Janeiro, Goiânia, Belo Horizonte, Porto Alegre dentre outras. Porém investimento em infraestrutura por si só não é suficiente, é necessário implantar medidas complementares de controle da operação dos ônibus, controle de tráfego e informação ao usuário (An, Lee e Shin, 2011; Jensen, 1996).

Segundo Ladeira, Michel e Senna (2011) o monitoramento do tráfego por câmeras de vídeo e o monitoramento automático de veículos propiciou uma ajuda sensível para a regulação dos sistemas de transporte. As imagens provenientes das câmeras de vídeo são uma nova ferramenta para o gerenciamento de mobilidade. Através de imagens em tempo real decisões

são tomadas perante as diversas situações que surgem na circulação da cidade e ações correspondentes executadas.

O uso da tecnologia ITS no transporte aumenta sua eficiência e segurança. ITS é um conceito com aplicação em todo o mundo, que tem como objetivo integrar os processos de transporte com as tecnologias de comunicação e proporcionar ao usuário final a informação (Vuchic, 2005). A Priorização da circulação dos ônibus através de intervenções físicas acompanhadas de medidas complementares de controle da operação de ônibus, da gestão do nível de serviço, do tráfego e de informações aos usuários são exemplos da combinação de recursos envolvendo ITS. O uso das informações provenientes destes sistemas é determinante nas ações de operação em tempo real. Contudo, a regulação é complexa, pois são inúmeras as informações analisadas para a tomada da decisão (Ladeira et al., 2010 e 2011; TCRP, 1997).

Funções de transporte público sujeitas à para aplicação de ITS: (i) supervisão e controle operacional; (ii) supervisão e coordenação multimodal; (iii) tarifação eletrônica; (iv) informação ao usuário; (v) prevenção e segurança; (vi) supervisão e controle de infraestrutura; (vii) gestão de frotas; (viii) gestão de serviços prestados; (ix) planejamento; (x) programação; e (xi) fiscalização. Quanto ao controle de tráfego as funções sujeitas à aplicação de ITS são: (i) prover um movimento ordenado do tráfego; (ii) aumentar a capacidade da interseção; (iii) reduzir a frequência de acidentes e conseqüentemente aumentar a segurança viária; (iv) interromper o tráfego principal a fim de permitir o fluxo do tráfego secundário; (v) sincronizar semáforos; (vi) gerenciamento das situações de emergências; (vii) coordenar grandes eventos; (viii) outros ligados à segurança do sistema (Bazzan e Klügl, 2007).

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SISTEMAS ITS EXISTENTES NO BRASIL

Atualmente as cidades brasileiras projetam grandes investimentos em ITS de maneira a ampliar a capacidade de sua infraestrutura para atender o crescimento da mobilidade e grandes eventos. Considerando o período de 2007 a 2014, segundo informações do Ministério do Transporte, apontam recursos na ordem de US\$ 25 milhões de dólares de investimentos (investimentos privados, financiamento Federal e contrapartidas Estaduais e Municipais). Os modais contemplados: metrô, veículo leve sobre trilhos - VLT, corredores de ônibus, monotrilho e aeromóvel. Os investimentos de mobilidade beneficiarão de mais de 53 milhões de pessoas através da implantação e ou modernização de mais de 800 km de vias de transporte

urbano; implantação de sete novas linhas de metrô em seis cidades; aquisição de 1.060 veículos entre trens e VLT; implantação e ou modernização de mais de 381 terminais de passageiros e estações.

Dentre os investimentos destacam-se os sistemas de BRT, corredores inteligentes, terminais de integração multimodal, informação ao usuário, centrais de gerenciamento da mobilidade. Os sistemas mais avançados de ITS associados aos BRTs em estágio de implantação e operação parcial são: (i) ITS-BRT - Porto Alegre; (ii) ITS-BRT- Curitiba; (iii) Sistema Inteligente de Transporte do município de Belo Horizonte; (iv) ITS-BRT – Goiânia; (v) ITS-BRT – Rio de Janeiro (BRS); (vi) ITS-BRT – São Paulo.

Segundo Darido e Pena (2012) uma arquitetura de Sistema ITS é o modelo conceitual do sistema com sua descrição formal e sua representação, tudo organizado de tal forma a permitir uma fácil compreensão da sua estrutura, incluindo os componentes do sistema, as propriedades desses componentes visíveis externamente e as relações entre si. As experiências nas cidades com uma população acima de 1.000.000 de habitantes demonstram um maior enfoque em segurança e gestão de tráfego através de imagens e monitoramento manual.

3.1 São Paulo

O Centro de Controle Integrado - CCI de transporte e trânsito do município de São Paulo concentra informações de cinco centrais de Controle de Tráfego em Área – CTA provenientes de 1.200 controladores que coletam on line informações referentes aos fluxos de aproximação nos principais cruzamentos da cidade, além das informações dos agentes de trânsito por rádio ou smartphones e câmaras de vídeo. Painéis de mensagens variadas informam as condições do tráfego. Através das informações dos AVL dos ônibus e utilização da estrutura de banco de dados é gerado um mapa de fluidez dos veículos (tempo de viagem e velocidade) nos principais corredores e avenidas de São Paulo.

O Sistema de Monitoramento do transporte da cidade de São Paulo possui hoje em torno de 14.500 veículos monitorados através dos equipamentos embarcados (AVL), 500 câmeras, 662 PMVs (Painéis de Mensagens Variáveis). Os dados (data e hora, localização (latitude e longitude), velocidade, direção, estado da ignição, botões do terminal de dados) do equipamento embarcado (GPS) são enviados para a central de controle que possui um

software de gestão que processa estas informações e distribui os dados processados para os diversos centros de controle e garagens. Por não haver integração entre os sistemas a gestão do tráfego e do transporte não ocorre de forma automática.

3.2 Rio de Janeiro

O Centro de Operações Rio – COR, inaugurado em dezembro de 2010 foi criado para integrar e tratar com inteligência as informações de trinta órgãos municipais e concessionárias que monitoram, 24 horas por dia, sete dias por semana, o cotidiano da cidade. Estão integradas todas as etapas de um gerenciamento de crise, desde a antecipação, redução e preparação, até a resposta imediata às ocorrências, como chuvas fortes, deslizamentos e acidentes de trânsito. Além das informações em tempo real das concessionárias e órgãos públicos, o Centro de Operações capta imagens de 560 câmeras instaladas por toda a cidade. Todos os dados são interconectados para visualização, monitoramento e análise na Sala de Controle, em um telão de 80 metros quadrados. O processo permite atuar em tempo real na tomada de decisões e solução dos problemas.

O trânsito e o transporte são monitorados no COR. Regulação dos tempos semafóricos e dos painéis de informações variáveis; informação sobre opções de caminho aos motoristas em tempo real são atividades relacionadas ao trânsito. São monitorados por GPS os 9.000 ônibus monitorando sua velocidade, cumprimento do itinerário das linhas, além da aderência à programação e previsão de passagem em pontos fixos de passagem das linhas.

3.3 Fortaleza

O Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR atua no monitoramento de toda a rede semafórica englobando três sistemas: circuito fechado de TV; pelos painéis de mensagem variáveis e o controle semafórico centralizado adaptativo em tempo real. O objetivo do CTAFOR é maximizar a capacidade viária garantindo a fluidez do tráfego e a segurança, funciona das 05h30min às 23h45min diariamente.

O circuito fechado de TV é composto por trinta e cinco câmaras de vídeo que enviam as imagens para a central de controle. São vinte unidades de painéis de mensagens variáveis distribuídos estrategicamente ao longo dos corredores da cidade. O centro processa as

informações sobre a demanda de tráfego de 315 cruzamentos semaforizados. O computador processa as informações e ajusta os tempos do semáforo a cada mudança de estágio.

3.4 Belo Horizonte

A Central de Controle de Tráfego- CCT de Belo Horizonte tem por objetivo garantir a velocidade operacional através equipamentos e ações operacionais, adequada para o sistema de transporte coletivo e melhorar o uso do sistema viário através de um gerenciamento mais eficaz da operação de trânsito, inclusive durante a realização de grandes eventos na cidade. Fazem parte do sistema de monitoramento: câmeras de vídeo monitoramento em circuito fechado; painéis de mensagens variáveis; rede de transmissão de dados; mapa operacional digital gráfico; sistema de comunicação de dados por meio de dispositivos móveis; central semafórica.

O sistema informatizado contempla uma interface gráfica, georeferenciada e mapeamento digital, aliado à implantação de software para gestão de centros de emergência, integrando recursos de atendimento de chamadas, despachos das equipes de campo, interfaces com os dispositivos móveis de comunicação (PDAs), interface com os sistemas de vídeo monitoramento e gerenciamento de planos de contingência.

SitBus é o sistema inteligente de transporte coletivo, em implantação em Belo Horizonte, com ele é possível saber, on-line, a localização exata de cada veículo, possibilitando a interferência em sua operação quando necessário. Entre outras inovações, painéis eletrônicos com informações dentro dos ônibus e nos pontos de embarque e desembarque. Os novos dispositivos possibilitam em tempo real os horários previstos de passagem dos coletivos. Mapa esquemático, frequência e itinerário resumido das linhas disponíveis nos pontos de embarque. Os veículos também contarão com equipamentos para melhorar a segurança, como câmeras de vídeo e pedal de pânico.

3.5 Curitiba

O Centro de Controle Operacional de Curitiba – CCO é um centro de controle operacional integrado de trânsito e transporte que em abril de 2012 deu início à implantação do Sistema Integrado de Mobilidade – SIM. Trata-se controle operacional integrado de trânsito e

transporte O sistema conta com diversos módulos, englobando tecnologias de operação de trânsito e transporte, sistemas de monitoramento em tempo real de vias públicas, sistemas de informação ao usuário do transporte coletivo e orientação de trânsito, automação semafórica, revitalização de ruas e avenidas, bem como de sua sinalização.

O CCO monitora em tempo real as ocorrências nos 2.300 ônibus e nas ruas, formando um núcleo de comando *online* com comunicação direta com motoristas de ônibus e do trânsito em geral. Os reguladores têm, além dos telões de LCD, bancadas individuais com duas telas de computador, o que permite ações simultâneas, como receber e enviar mensagens para os painéis de trânsito nas ruas ou para controladores de semáforos ou motoristas do transporte coletivo, através de computadores de bordo dos ônibus.

Computadores de bordo, GPS e equipamentos acoplados à parte elétrica dos ônibus permitem que operadores e fiscais do transporte saibam em tempo real a situação de todos os ônibus - em que ponto do trajeto ele se encontra, se está no horário, se parou fora do ponto e em quanto tempo chegará à próxima parada. Através de um console, instalado no painel do ônibus, o motorista pode acionar o Centro de Controle e receber orientação do operador em casos de alteração de rota, readequação dos horários e das paradas não previstos, por exemplo. Nos terminais e paradas painéis luminosos informam o tempo previsto para a chegada do próximo ônibus.

O monitoramento do trânsito é feito através de câmaras que captam imagens, além de painéis que orientam os motoristas sobre as condições de tráfego e sugerindo vias alternativas, em casos de congestionamentos. No CCO funciona a Central de Tráfego em Área (CTA), responsável pelo monitoramento e intervenções nos semáforos através de sistema adaptativo que abrem e fecham de acordo com o volume do tráfego.

3.6 Porto Alegre

Porto Alegre dispõe atualmente de várias ferramentas de ITS para o monitoramento e controle de trânsito e transporte gerenciado pela Central de Controle e Monitoramento da Mobilidade – CECOMM. A central tem como objetivo a gestão da mobilidade nas principais vias e rotas de transporte baseada no controle de uma rede sistêmica focada na fluidez do tráfego e fluidez viária. Sistemas como vídeo monitoramento; radio comunicação; controle semafórico

centralizado e sistema de monitoramento de ônibus fazem parte da central. A central monitora 24 horas automaticamente vias e cruzamentos críticos, diagnosticando em tempo real as condições de circulação, identificando acidentes, volume de tráfego e interferências pontuais através de 140 câmaras; 95% dos semáforos interligados à rede semafórica.

O transporte coletivo é monitorado pelo Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente em tempo real – SOMA, é um sistema de rastreamento dos 1703 veículos ao longo do itinerário, aonde se tem a posição/localização em tempo real e informação transmitida a uma central de controle. Sistema baseado em leitura de etiquetas eletrônicas de identificação (transponders) instaladas nos veículos, que identificam a localização dos veículos em função das suas passagens pelos pontos de verificação ao longo do viário, onde estão instaladas antenas de comunicação de curto alcance, acopladas a um modem que transmite a informação (Ladeira, Michel e Pavanatto, 2009).

Desde outubro de 2011, Porto Alegre também conta com o Centro Integrado de Comando – CEIC concentra o controle e o acompanhamento de todos os grandes eventos da cidade, assim como situações de alerta climático. Com mais de 300 câmaras de vídeo monitoramento, vistas em tempo real por 39 telas acompanhadas por funcionários distribuídos em 24 unidades de atendimento. O centro concentra técnicos responsáveis pelos principais serviços prestados à população possibilita integração em situações de prevenção e emergência.

3.7 Goiânia

A Rede Metropolitana de Transporte Coletivo – RMTC de Goiânia criou o serviço chamado Ponto a Ponto a fim de minimizar o problema do trânsito no horário do pico. O sistema monitora, em tempo real, 10 corredores de ônibus e 75 quilômetros de vias da Grande Goiânia. É possível verificar se o trânsito está rápido, moderado ou lento. Os ônibus são monitorados via sistema GPS e enviam informações em tempo real para nossa central de controle. Ao utilizar o serviço o usuário fica sabendo a velocidade média específica de um corredor ou trecho nos sentidos centro-bairro e bairro-centro para ônibus e carros e o tempo estipulado para esse percurso. É possível identificar o melhor trajeto pela cidade. As informações podem ser obtidas através do Twitter, ou via SMS do celular.

3.8 Campinas

A Central Integrada de Monitoramento de Campinas – CIM, inaugurada em julho de 2006, integra cinco órgãos municipais compartilha as informações obtidas pelo sistema de câmeras permitindo uma gestão mais eficiente e inteligente das informações e das ações do pessoal de segurança pública, de atendimento de emergência e de trânsito.

Além de monitorar qualidade no transporte, uso e ocupação ordenada do solo e prevenção a desastres naturais. Possui tecnologia de comunicação IP com câmaras, links de rádio, fibra ótica, sistemas de controle, redes e sistema audiovisual, reunidos em uma central de comunicação. São 375 câmaras que transmitem a imagem à central. A CIM funciona 24 horas por dia e sete dias por semana, o sistema integrado permite a tomada de ações preventivas ou emergenciais. A central está em permanente evolução atualmente centraliza os semáforos e coordena um sistema de som junto às travessias de pedestres.

De modo geral as cidades têm adotado centrais de controle operacionais para gestão de crise, com monitoramento do tráfego e do transporte de forma isolada. Os sistemas não estão interligados necessitando operar de forma isolada estes sistemas demonstrando claramente a fragilidade dos sistemas de ITS existentes. Existem vários processos de medição e supervisão e poucos sistemas de monitoramento com emissão de alerta de anormalidades. Muitos dos equipamentos existentes são especificados a partir de iniciativas isoladas, criando laços de processo sem interconectividade. Os equipamentos não possuem arquitetura aberta e são dependentes de seus fabricantes para ampliação, manutenção e modificações.

4 FRAGILIDADES E NECESSIDADES DOS SISTEMAS DE ITS EXISTENTES

Uma das principais características de centrais de controle de operações é a capacidade de integração das informações e imagens, provenientes dos sistemas que estão interligados. A integração das informações provenientes destes sistemas possibilita a execução do gerenciamento do transporte e tráfego, das anormalidades e emergências dentre outros (AASHTO, 2009).

Os problemas enfrentados pelos órgãos gestores brasileiros no gerenciamento da mobilidade são inúmeros variam desde as questões de segurança, eficiência e confiabilidade. Devemos ainda levar em conta as questões ambientais, pois devemos buscar sistemas sustentáveis. Evidencia-se a falta de uma arquitetura de ITS capaz de interoperar e integrar os sistemas permitindo que os componentes principais se comuniquem uns com os outros e trabalhem juntos. As principais fragilidades encontradas e as necessidades dos projetos que envolvem ITS estão representadas no Quadro 3.

Quadro 3: Fragilidades dos sistemas atuais

Deficiências	Necessidades
Falta Arquitetura ITS	Dados confiáveis
Produtos e Software fechados	Manter dados Atualizados
Não atendem necessidades	Automatizar os dados de entrada
Custo elevado	Interface amigável
Sem interoperabilidade	Interoperabilidade
Falta de atualização software e hardware	Fácil manutenção/substituição
Entrada de dados manuais	Sistema Integrador
Cadastros isolados	Integração de cadastros
Relatórios defasados	Relatórios em diversos níveis
Falta de informação	Sistema de Alerta de anormalidades
Falta sistema de ajuda à decisão	Históricos
Projetos independentes	Cobertura 100% do sistema
Falta escalabilidade	Plano de contingência
Sistemas superpostos	Relatórios em tempo integral

5 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS EM UM SISTEMA DE ITS

A arquitetura de um sistema ITS é um quadro global, que mostra os principais componentes e suas interconexões. Na arquitetura de ITS é importante destacar a identificação e descrição das interfaces entre os seus principais componentes. Estas interfaces permitem que os componentes principais do sistema possam em geral se comunicar uns com os outros e trabalhar ao mesmo tempo juntos. Deve identificar os sistemas, sua aplicação e desempenho esperado; os locais onde estes sistemas atuam; o fluxo das informações e dados e sua conexão (Yokota, Weiland, 2004).

A arquitetura de ITS deve cumprir aspectos técnicos, além das questões organizacionais, legais e comerciais relacionadas, pode ser criadas em níveis nacional, estadual ou municipal, ou relacionar-se com setores ou serviços específicos. O Quadro 4 abaixo destaca os objetivos e as características de um sistema de ITS bem projetado.

Quadro 4: Objetivos e características de um Sistema de ITS

Objetivos	Característica
Abordagem	Metódica e bem controlada
Compatibilidade	Funcionalidades e interfaces entre componentes com especificações claras e coerentes
Expansividade	Significa se um sistema que suporte atualização, acréscimo de funções e tarefas sem que se tenha um alto custo de investimento adicional.
Interoperabilidade	Sistemas diferentes que possam trabalhar juntos sem que haja interferência entre eles
Integração	Harmonizar e estabelecer interconexões entre múltiplos sistemas
Padronização	Padrões que possibilitam um funcionamento coerente entre os diferentes modelos de dados, interfaces e funções.

Fonte: (Yokota, Weiland, 2004).

6 RECOMENDAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE ITS

Uma arquitetura de ITS garante um mercado aberto para os serviços e equipamentos; padrão entre os componentes; permite realizar economia de escala na produção e distribuição

reduzindo os preços dos serviços e produtos; garante a coerência da informação disponibilizada para o usuário final; promove o crescimento do investimento em ITS, pois a compatibilidade está garantida; assegura a interoperabilidade dos componentes, mesmo de diferentes marcas; permite um nível adequado de independência tecnológica além de permitir novas tecnologias; e por fim fornece uma visão e entendimento claro do sistema evitando desta forma situações conflitivas. O futuro do ITS está ligado diretamente ao nível de transformações que o setor da tecnologia da informação estará sujeito nos próximos anos (ANTP, 2012).

7 CONCLUSÕES

As aplicações de ITS têm-se demonstrado válidas e fundamentais para apoiar a gestão e a operação dos serviços de transporte. Para proporcionar o máximo de benefício, estas aplicações devem ser compatíveis, ou seja, devem se basear num marco estratégico que é proporcionado por uma arquitetura de ITS. Uma arquitetura de ITS deve cumprir aspectos técnicos, bem como questões administrativas e comerciais relacionadas.

Um dos maiores desafios para o Brasil na atualidade é a normatização do ITS. A utilização de ITS, através de uso de Sistemas Avançados de Transporte Público, tanto na Ajuda à Operação quanto na Informação ao Usuário é estratégico na gestão do Transporte. Os resultados observados a partir do seu uso são encorajadores, pois possibilitam melhores velocidades operacionais, recuperação e fidelização do passageiro e confiabilidade. O futuro do ITS está ligado à evolução da tecnologia da informação.

A importância da existência de uma Arquitetura de ITS Brasil consiste em equacionar e capacitar as cidades sob três aspectos fundamentais: (i) do ponto de vista econômico, está diretamente relacionada em reduzir a dependência comercial de fornecedores de equipamentos ITS, graças à intercambialidade e interoperabilidade, representando o fim das reservas de mercado hoje existentes; (ii) do ponto de vista da independência tecnológica, surge à possibilidade do desenvolvimento de um padrão nacional; e (iii) do ponto de vista de transporte, abre-se à possibilidade da implantação gradativa de soluções avançadas no setor, como por exemplo, na área de controle de tráfego urbano, quando uma cidade poderá investir em controladores que operem em rede para, posteriormente, adquirir uma central de controle de tráfego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AN, S., LEE, B.H.; SHIN, D. R.. **A Survey of Intelligent Transportation Systems**. Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Bali, Indonesia, 2011.

AASHTO, ITE, NEMA. **National Transportation Communications for ITS Protocol – The NTCIP Guide**. Washington, 2009.

ANPT. **Sistemas Inteligentes de Transportes**. Série Cadernos Técnicos, Volume 8, ANTP, 2012.

BAZZAN, A. L. C., KLÜGL, F.. **Sistemas Inteligentes de Transporte e Tráfego: uma Abordagem de Tecnologia da Informação**. In: Jornadas de Atualização em Informática, 2007, Rio de Janeiro. Anais das Jornadas de Atualização em Informática, v. 1. p. 2296-2337, 2007.

CASAL, A. L. T., ARAÚJO, R. R.. **Aplicação do Método AHP para a Tomada de Decisão da Mudança Tecnológica do Sistema de Monitoramento do Transporte Coletivo de Porto Alegre**. ANPET, 2011.

DARIDO, G. B. E PENA, I. G. B.. **Planejamento em sistemas de transportes inteligentes (ITS) perspectivas das experiências internacionais**. Série de cadernos Técnicos, Volume 8, ANTP, 2012.

HALL, R. W.. **Handbook of Transportation Science**. Kluwer Academic Pub, 2nd edition, 2003

HOUGHTON, J., REINERS, J., LIM, C.. **Intelligent transport, How cities can improve mobility**. IBM, 2012.

JENSEN, C.. ITS in Austrália (on line), Disponível na Internet via WWW.URL: <http://www.squirrel.com.au/qdot/australia.html>. Arquivo gerado em 5 de fevereiro de 1996 e capturado em 15 de abril de 1997.

KANNINEN, B. J. S., MOTA, E. V.. **O Desdobramento da Qualidade: modelos para serviços e para manufatura**. Porto Alegre; PPGEP, EE/UFRGS, Caderno Técnico n.5, 1996.

YOKOTA, T.; WEILAND, R. J.. **ITS Technical Note for Developing Countries**. July 22, 2004, Worldbank, 2004.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e PAVANATTO, S. A.. **Monitoramento da operação de transporte público: o caso de Porto Alegre**. ANPET XXIII, Vitoria, Espírito Santo, Brasil, 2009.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D., SENNA, L. A. S.. **Sistema de Ajuda à Regulação de Linhas de Transporte Coletivo por ônibus-Overview**. ANPET XXIV, Salvador, Bahia, Brasil, 2010.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D., SENNA, L. A. S.. **Public transport monitoring and control: the case of Porto Alegre, Brasil**. ICTIS, International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, China, 2011.

LADEIRA, M. C. M.; ARIOTTI, P.. **Faixa de ultrapassagem no contra fluxo em corredor de ônibus: Experiência de Porto Alegre**. ANPET XV, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.

NAKANISHI, Y. J., BEKIARIS, E.. **Economics Impact of Intelligent Transportation Systems: Innovations and case Studies**. Research in Transportation Economics, V. 8, Oxford, United Kindgdom, 2004.

PAPAGEORGIU, M., DIAKAKI, C., DINOPOULOU, V., KOTSIALOS, A., WAN, Y., Review of road traffic control strategies, Proceedings of the IEEE, 2003.

ROESS, R. P., PRASSAS, E. S., MCSHANE, W. R.. Traffic Engineering. Prentice Hall, 2004.

SILVA, D. M.. **Sistemas Inteligentes de Transporte Público por Ônibus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TCRP SYNTHESIS 24. **AVL Systems for Bus Transit: A Synthesis of Transit Practice**. Transportation Research Board National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C., 1997.

VUCHIC, V. R.. **Urban Transit: Operations, Planning and Economics**. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2005.

4 ARTIGO 2: “ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA OPERAÇÃO DE LINHAS DE ÔNIBUS”

Adaptado do Artigo publicado na XXVII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes

Maria Cristina Molina Ladeira

Empresa Pública de Transporte e Circulação
Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernando Dutra Michel

Luiz Afonso dos Santos Senna

Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

No transporte público, a confiabilidade é uma medida importante da qualidade do serviço que precisa de atenção e melhoria contínua. O principal desafio para um sistema de ônibus urbanos é manter o *headway* constante entre ônibus sucessivos. Isso leva à questão das estratégias de regulação das linhas. Estas estratégias visam aumentar a confiabilidade dos serviços prestados. O surgimento de tecnologias como a localização automática de veículos (AVL) e sistemas de posicionamento global (GPS) facilitou a concepção de sistema de controle em tempo real aumentando substancialmente a eficiência operacional, além de reduzir o tempo de espera do passageiro, bem como os custos operacionais e os atrasos. O presente artigo apresenta uma revisão bibliográfica das estratégias de controle da operação de linhas de ônibus e as abordagens disponíveis na literatura para resolução de problemas de regulação.

ABSTRACT

In public transport, the reliability is an important measure of the quality of service that needs attention and continuous improvement. The main challenge for a system of urban buses is to maintain headway constant between successive buses. This leads to the question of strategies for adjustment of the lines. These strategies are aimed at increasing the reliability of the services provided. The emergence of technologies such as automatic vehicle location (AVL) and global positioning systems (GPS) has facilitated the design of control system in real time

substantially increasing operational efficiency, and reduce the waiting time of the passenger, as well as operating costs and delays. This article presents a literature review of control strategies for operation of bus lines and approaches available in the literature to solve problems.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais indicadores de transporte é o índice de cumprimento de viagem, que expressa o cumprimento da programação horária e a aderência da mesma ao longo do itinerário, ou seja, desde a partida dos terminais e sua passagem nos pontos de parada de acordo com o *headway* previsto. Caso haja problema na manutenção do *headway* planejado é necessária a realização de manobras de regulação.

O controle operacional on-line permite o monitoramento das ocorrências e dos desvios de programação face aos horários programados, a detecção de anormalidades, além de auxiliar na correção ou reestabelecimento do serviço. O controle operacional permite a identificação dos pontos críticos e áreas problemáticas das linhas, onde as programações deixam de ser cumpridas ocasionando vazios ou comboios de veículos. A questão principal é como eliminar os problemas, encontrar soluções e tratá-las. O ciclo do tratamento do problema passa por diagnóstico, proposições de soluções e avaliações dos resultados.

Ações no sentido de restabelecer o cumprimento da tabela horária ou dos intervalos entre as viagens são imprescindíveis (Ladeira et al., 2009). Neste contexto, essas estratégias de controle são consideradas ações de regular a linha. O objetivo principal do controle da operação é otimizar o desempenho do sistema buscando cumprir a programação quando há alguma perturbação ou interrupção do serviço (Wilson et al., 1992). As soluções podem ser tratadas por modelos matemáticos ou heurísticos.

O presente artigo apresenta uma revisão bibliográfica das estratégias de controle da operação de linhas de ônibus e as abordagens disponíveis na literatura para resolução de problemas de regulação.

2 PROBLEMAS DE REGULAÇÃO

O não atingimento de um padrão preestabelecido ocorre devido à existência de barreiras, ou seja, elementos que limitam ou bloqueiam a obtenção dos resultados nos processos. As barreiras podem ser vistas como problemas com que as empresas se deparam diariamente na busca do cumprimento da programação horária. “Problema” é o resultado indesejado de um processo que pode ser encarado como uma consequência ou um efeito não esperado.

Existem pelo menos dois tipos de problemas: (i) problemas eventuais (surge de repente num processo considerado normal; são de fácil identificação); (ii) problemas sistêmicos (aqueles onde os efeitos negativos do processo, que eram considerados normais, passam a ser tratados como problemas). As causas podem ser divididas em (i) causas especiais que são relacionadas com os problemas eventuais, pois aparecem de uma hora para outra, de repente, numa situação considerada até aquele momento normal; (ii) causas comuns, relacionadas com problemas estruturais, e para resolvê-las é necessário em geral uma ação gerencial. As ferramentas como as matrizes de decisão, diagramas de Pareto e os diagramas com análise de causa e efeito (diagrama espinha de peixe) são recomendáveis para a priorização das barreiras e de suas causas.

A Figura 2 apresenta graficamente os problemas eventuais e sistêmicos indicando também causas comuns e especiais.

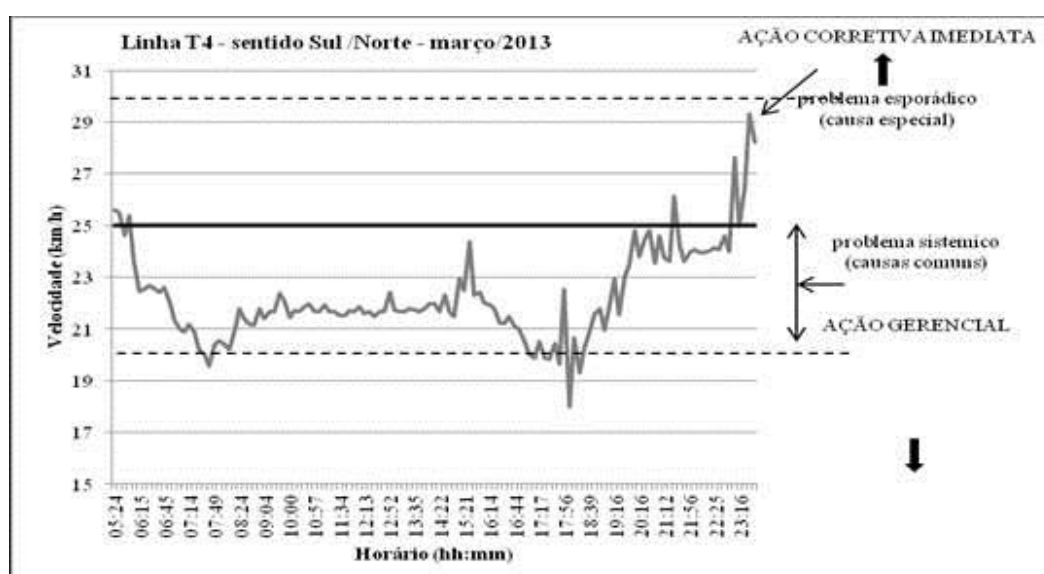


Figura 2: Problemas Esporádicos X Problemas Sistêmicos

São exemplos de métodos para resolver problemas: (i) tentativa e erro; (ii) tentar um problema mais simples; (iii) pensar na solução de um problema semelhante ou análogo; (iv) desenhar uma tabela ou diagrama; (v) procurar um modelo; (vi) estudar casos especiais; (vii) escrever uma equação ou operação; (viii) estimular e tentar a possível solução; (ix) trabalhar o problema de trás para diante; (x) fazer um desenho. Alguns autores chamam esses meios de Heurísticas (Gonçalves, 2006). Além disso, alguns problemas de regulação de linhas podem ser modelados a partir de modelos matemáticos.

Para Cortés et al. (2010) a maioria dos modelos de controle de estratégias em tempo real encontrada na literatura é baseada em heurística, em virtude da complexidade matemática das formulações e da falta de um controle dinâmico. As estratégias de controle flexíveis, em tempo real ou não, têm sido foco dos estudos na tentativa de redução dos efeitos dos distúrbios dos serviços.

2.1 Métodos para a resolução dos problemas da regulação de linhas

Dentre as abordagens as mais utilizadas para a resolução dos problemas são: (i) métodos exatos (aproximação interna e externa; métodos de corte; Branch and Bound; otimização de intervalos); (ii) métodos heurísticos (busca local); (iii) meta-heurísticas (algoritmos genéticos; otimização de colônia de formigas; busca tabu; Simulated Annealing); (iv) métodos estocásticos (método de Monte-Carlo; Stochastic Tunneling; métodos de continuação). A utilização de cada uma destas abordagens está diretamente relacionada ao problema a ser tratado. É comum encontrarmos a combinação de abordagens para a resolução de um determinado problema (Ransolin e Chih, 2001).

2.1.1 Heurísticas

Heurísticas são regras, sugestões, guias ou técnicas que podem ser úteis em fazer progresso na direção da solução do problema. Raciocínio Heurístico é o raciocinar não com um fim rígido, mas com um final razoável e provisório cujo propósito é descobrir a solução do problema atual. É um procedimento simplificador que, em face de questões difíceis envolve a substituição destas por outras de resolução mais fácil a fim de encontrar respostas viáveis, ainda que imperfeitas (Gonçalves, 2006).

Dentre os vários tipos de heurísticas as que podem ser aplicadas em situações de regulação de transporte são: (i) Heurísticas de Julgamento, processos de julgamentos ou previsões parciais baseados em similaridade e enquadramento, (ii) Heurística de Disponibilidade; processo de julgar a frequência de dados segundo a facilidade com que similaridades vêm à mente, dada à limitada capacidade de manter concentração/atenção e empreender considerável esforço mental ao mesmo tempo; (iii) Heurística de Avaliabilidade; processo no qual as tomadas de decisão são feitas e mudam conforme o quadro dado (Gonçalves, 2006).

2.1.2 *Algoritmo genético*

Algoritmo genético é uma técnica de busca aleatória utilizada na ciência da computação para achar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca. São implementados como uma simulação de computador em que uma população de representações abstratas de solução é selecionada em busca de soluções melhores. Esse algoritmo é uma subclasse dos algoritmos evolutivos. A evolução geralmente se inicia a partir de um conjunto de soluções criado aleatoriamente e é realizada por meio de gerações. A cada geração, a adaptação de cada solução na população é avaliada, alguns indivíduos são selecionados para a próxima geração, e recombinados ou mutados para formar uma nova população. A nova população então é utilizada como entrada para a próxima iteração do algoritmo (Mitchell, 1996; Tang et al., 1996; Goldberg, 1989; Haupt e Haupt, 2004).

Os algoritmos genéticos diferem dos métodos tradicionais de busca e otimização, principalmente em quatro aspectos: (i) trabalham com uma codificação do conjunto de parâmetros e não com os próprios parâmetros; (ii) trabalham com uma população e não com um único ponto; (iii) utilizam informações de custo e conhecimento auxiliar; (iv) utilizam regras de transição probabilísticas e não determinísticas.

Algoritmos Genéticos são muito eficientes para busca de soluções ótimas, ou aproximadamente ótimas em uma grande variedade de problemas, pois não impõem muitas das limitações encontradas nos métodos de busca tradicionais.

Os autores Chang e Chung (2005) e Nguyen-Duc e Descotes-Genon (2007) propõem um algoritmo genético para realizar a regulação de linhas recalculando a tabela a cada perturbação do sistema. Os autores têm como objetivo encontrar uma nova tabela horária para as linhas após a detecção de uma perturbação em um dado momento para minimizar o tempo

de espera de passageiros nas estações. O custo computacional de uma solução com essas características tende a ser elevado, pois a cada perturbação o controlador recalcula uma nova tabela horária por completo, sendo que a maior parte desse cálculo, muito provavelmente, será descartada na ocorrência de uma nova perturbação (Mendes, 2009).

2.1.3 *Redes neurais*

Rede Neural Artificial (RNA) é uma das técnicas de tratamento de dados mais recentes e tem despertado grande interesse tanto de pesquisadores da área de tecnologia quanto da área de negócios (Ladeira et al., 2011). Pode ser definida como um método de solucionar problemas de inteligência artificial, constituída de um sistema de circuitos que simulam o cérebro humano, inclusive seu comportamento.

São modelos matemáticos computacionais inspirados no funcionamento das células neuronais, isto é, na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência (a rede aprende, corrige erros e faz descobertas com a alimentação de dados) (Ladeira e Ariotti, 2011). Os estudiosos da RNA alegam que podem modelar e prever a demanda de viagens tão bem quanto que os Modelos Logit Multinomiais. Assim sendo pode ser uma alternativa aos modelos de escolha discreta (Hensher e Ton, 2000). É um modelo mais direto, pois não necessita especificar um relacionamento matemático entre as variáveis de entrada e de saída (Costa, 2001; Akamine, 2005).

2.2 **Estratégias de regulação de linhas**

A regularidade/confiabilidade de transporte pode ser definida pela dependência em termos de tempo (de espera e de viagem), ocupação, qualidade do veículo, segurança, conforto e informação, atrasos de tráfego; acidentes e condições do clima (Ceder, 2007). Abkowitz et al. (1978) destaca a regularidade na operação de uma linha como a não variabilidade dos atributos que influenciam a decisão dos passageiros e dos operadores. Esses atributos variam no tempo (hora do dia, dia da semana, estação) e no espaço.

O efeito mais danoso num sistema de transporte é a formação de comboio de veículos que é produzido por dois fatores principais: a variabilidade no tempo de viagem entre as paradas e as variações na demanda de passageiros (Ceder, 2007). Estes dois fatores conduzem a variação do *headway* e o conseqüente a variabilidade de tempo de espera. Há um

desequilíbrio na operação dos veículos tanto em termos de tempo de espera como de carregamento refletindo diretamente na qualidade do serviço e na operação.

O objetivo principal do controle da operação é otimizar o desempenho do sistema possibilitando o retorno do padrão de operação pré-estabelecido quando há alguma perturbação ou interrupção do serviço (Wilson et al., 1992).

Há basicamente três mecanismos para resolver os problemas de regularidade/confiabilidade: (i) melhoria do planejamento e da programação da tabela horária; (ii) implementação de medidas de priorização para os veículos de transporte por ônibus; e (iii) melhoria do sistema de controle da operação. As principais estratégias de controle em tempo real podem ser: retenção do ônibus na estação ou terminal; pular uma estação; inserção de um veículo reserva; mudança da velocidade; ultrapassar; aguardar; limitar o número de embarques em um determinado veículo; não parar em determinada parada; veículo expresso; um veículo embarca e o outro não quando operando em comboio (Ceder, 2007).

Segundo Delgado et al. (2011) pesquisas anteriores sobre estratégias de controle têm como foco principal a manutenção da regularidade através da retenção do ônibus nas paradas se uma determinada condição for satisfeita, o que pode ser muito eficaz, mas tem o efeito secundário de reduzir a velocidade operacional (Sun e Hickman, 2008; Eberlein, 1995). No entanto, uma abordagem alternativa para alcançar *headways* mais regulares consiste em limitar o número de embarques de passageiros em um ônibus atrasado. Isso é especialmente atraente se a linha opera com um *headway* pequeno.

O Quadro 5, apresenta uma revisão bibliográfica segundo Ceder (2007) de trabalhos referentes às estratégias de regulação e aos métodos aplicados para melhorar a pontualidade e confiabilidade dos sistemas de transporte.

Os métodos analíticos necessitam informações menos detalhadas sobre os componentes da rede, no entanto, eles geralmente dependem de muitas suposições. Por outro lado os métodos que utilizam simulação propiciam resultados mais realísticos, porém a entrada de dados deve ser mais detalhada.

Quadro 5: Marco Referencial Teórico

Estratégia	Método	Características	Fonte	
Retenção/ Retenção tempo real	em	É calculado um índice de regularidade baseado na variação do Hw	Lesley (1975)	
		Calibrou a expressão do desvio padrão do Hw em função do número de pontos. Função polinomial de segundo grau que significa que existe um número ótimo de pontos e que o aumento dos pontos independentes reduz a regularidade	Seneviratne (1990)	
		Consiste em sub modelos que simulam o desempenho em vários estágios da viagem.	Liu e Wirasingle (2001)	
		O controle é mais efetivo quando feito após o ponto de maior carregamento e mais próximo do meio da rota. O controle no terminal e outro no meio da linha é a solução ótima.	Fu e Yang (2002)	
		Comparam a programação planejada com a executada em tempo real. Discutem a dificuldade de usar modelos de simulação devido à complexidade das tarefas computacionais. (tempo real)	Hallowell e Harker (1998)	
		O tempo de embarque nas paradas e a correlação entre os veículos são desconsiderados. Considera a chegada dos passageiros na parada por uma distribuição Poisson e o atraso dos veículos de acordo com Fokker-Planck	Newell (1977)	
		Estratégia de segurar em um único ponto é quase tão efetiva quanto à de segurar em todas as paradas. Recomenda que seja logo após a interrupção. (tempo real)	O'Dell e Wilson (1999)	
		Simulação e Analítico	Um ponto único de controle localizado antes do ponto de maior carregamento da linha	Abkowitz et al. (1986)
		Programação dinâmica	Um veículo isolado com demanda e paradas fixas	Wirasingle e Liu (1995)
		Dispatching/ tempo real	em	O autor afirma que algum percentual das viagens programadas sempre parte com alguns minutos de atraso, independentemente da duração do tempo de folga antes da partida programada.
Sugerem que a regulação seja feita no terminal onde partem várias linhas e a partida das viagens seja feita de acordo com a chegada de cada carro em vez de aguardar a programação (tempo real)	Furth e Nash (1985)			
Concluem que não é necessário um sistema de localização de veículo para toda a rede para a manobra de regulação em tempo real. Pode ser usado em um número limitado de pontos (tempo real)	Li et al. (1993)			
Simulação	Ferramenta de tomada de decisão para a programação em tempo real. A entrada para o modelo é a informação em tempo real sobre os desvios horários programados ou de HW regulares ao longo de uma rota; a saída é um conjunto de partidas recomendadas (tempo real)			Adamski e Turnau (1998)

Estratégia	Método	Características	Fonte
Retenção/ <i>dispatching</i>	Analítico	Serviu de referência para discussões futuras sobre controle da programação em um ponto do itinerário	Osuma e Newell (1972)
	Simulação	Os resultados mostram que a tecnologia ITS é mais vantajosa quando há muitas conexões; a diferença é quase zero quando o HW é grande.	Dessouky et al. (2003)
Retenção, pular parada/ em tempo real	Analítico	A combinação de estratégias é mais efetiva que a adoção de uma única, embora a de “holding” seja ligeiramente melhor. Dependem do hw da linha e independem da demanda de passageiros ao longo do itinerário (tempo real)	Eberlein et al. (1999)
	Simulação	Modelo determina quais os veículos devem atrasar e quais devem pular paradas	Eberlein et al. (1998)
	Combinação de estratégias	Melhor resultado é obtido quando são combinadas as duas estratégias	Shen e Wilson (2001)
Retenção, pular parada, prioridade semafórica <i>dispatching</i>	Simulação	Examinou todas as estratégias de regulação e conclui que a priorização de veículos e a redução da incerteza da largada são as mais promissoras.	Koffman (1978)
Estrutura de rede	Simulação	Comparam rede radial com rede de grade. Apesar dos passageiros serem obrigados a fazer o transbordo em redes de grade a incerteza do tempo de viagem é menor e a confiabilidade é maior no serviço do que nas redes radiais. Os autores concluem que uma concentração de transferências nos nós da rede radial tem um efeito mais perturbador da pontualidade do que nas transferências, que ocorrem em redes de grade.	Turnquist e Bowman (1980)
Programação por zona	Programação dinâmica	Um zoneamento de atendimento mesmo que simples pode obter uma melhora significativa na regularidade e na redução da frota	Jordan e Turnquist (1979)

Fonte: Ceder, 2007 (Adaptado)

2.3 Abordagem mais moderna adotada de retenção de veículos nas paradas

As estratégias de controle de retenção dos veículos podem ser agrupadas em duas categorias: reter o veículo para coincidir com horários programados ou a regulação por *headway*. A ação de controlar a programação predefinida é normalmente usada para linhas de baixa demanda e longos *headways*, (Ceder, 2001; Furth e Muller, 2007, 2009; Zhao et al., 2006).

Por outro lado, os sistemas de transporte com alta demanda e pequenos *headways* (em geral menos do que 10 min), são normalmente operados sem horários predefinidos (Barnett, 1974;

Turnquist e Blume, 1980; Fu e Yang, 2002) neste caso a estratégia é pela regulação do *headway*.

Segundo Zolfaghari et al. (2004) estratégias de controle em tempo real são projetadas para melhorar o sistema e para solucionar problemas específicos em que eles ocorrem. Estratégias de retenção são utilizadas para retardar o movimento do ônibus deliberadamente quando um veículo está à frente da programação. Pode reduzir significativamente a variância do *headway* e o tempo médio de espera dos passageiros. Apesar dessas vantagens, as estratégias de retenção também podem aumentar o tempo de espera dos passageiros e o tempo de viagem do veículo.

A estratégia de pular paradas reduz o tempo de viagem do veículo. Isso reduz o tempo de espera para os passageiros a bordo de um veículo, e aqueles em pontos a jusante. No entanto, isso pode aumentar o tempo de espera para os passageiros nas paragens ignoradas, e aqueles que querem desembarcar em um determinado ponto.

Estratégia de curto giro (Short-turning) envolve retorno de um veículo antes que ele atinja a rota final. Essa estratégia geralmente é adotada quando a variância *headway* ou o tempo de espera dos passageiros no sentido oposto devem ser reduzidos. Estratégia de curto giro reduz tempo de espera de passageiros no sentido oposto, porém à custa do aumento do tempo de espera dos passageiros a bordo, pois devem descer e embarcar no veículo subsequente.

Estratégias de controle em tempo real entre estações inclui a utilização de sinais de trânsito. Mecanismos de prioridade semafórica visam reduzir os atrasos dos veículos em cruzamentos sinalizados. Este mecanismo altera a fase de um sinal para o verde ou prolonga a duração da fase de cor verde quando um veículo se aproxima de um cruzamento.

A estratégia de inclusão de veículo reserva e viagem expressa (*deadheading*) consiste na partida de um veículo expresso que normalmente sem passageiros de um ponto de despacho, para uma parada designada. Esta estratégia pode reduzir o tempo de espera dos passageiros nas paradas para além daquelas que saltadas além de minimizar o avanço da irregularidade no sistema. No entanto, *deadheading* tem um custo (tempo de espera adicional) para os passageiros que não foram servidos pelo veículo. Embora a adição de um veículo reserva para

um serviço possa reduzir o tempo de espera dos passageiros e evitar irregularidade do *headway* no sistema, ele pode infligir custos adicionais para os órgãos de trânsito.

A aplicação de modernas tecnologias de controle, monitoramento e gestão do transporte são uma realidade, bem como a utilização de soluções de vanguarda para a gestão e controle de tráfego. Os sistemas inteligentes utilizam tecnologia de processamento de informação e comunicação, sensoriamento, navegação e tecnologia de controle entre outros. Sistemas tecnologicamente avançados de monitoramento e controle centralizado e integrado de gestão e operação de transporte coletivo por ônibus representam uma ação eficiente e eficaz para a melhoria das condições de oferta, fluidez e segurança (TCRP, 1997). Os sistemas de localização automática de veículos, (AVL – *Automatic Vehicle Location*) objetivam a localização em tempo real do veículo, rastreando todo o percurso do itinerário, calculando sua posição, tratando-se as informações em uma central de controle (Silva, 2000). O AVL é uma tecnologia complementar que rastreia a localização de um veículo de maneira acurada. Trata-se de um meio de determinar a localização geográfica de um veículo e transmitir essas informações a um ponto onde possam ser processadas e utilizadas da melhor forma (TCRP, 1997).

O aparecimento de novas tecnologias de informação e comunicação, tais como sistemas de GPS e AVL tornaram possível o desenvolvimento de sistemas mais complexos de controle de retenção. A ação de controle desses modelos são os tempos de retenção para cada veículo, de modo a minimizar o tempo de espera total dos passageiros em todos os pontos, ou uma combinação deste fator e o atraso no veículo de passageiros, devido à retenção. O Quadro 6 apresenta trabalhos referentes à estratégia de retenção de veículos e suas características (Delgado et al., 2011).

Quadro 6: Trabalhos mais recentes de estratégia de retenção de veículos

Chegada do passageiro e tempo entre paradas	Ultrapassagem	Capacidade do veículo	Ponto de Controle	Frota	Metodo de solução	Autor
Determinístico	Proibido	Considerado	Único	Vários	Metaheurístico	Zolfaghari <i>et al.</i> (2004)
			Vários	Vários	Otimização convencional	Puong e Wilson (2008)

Chegada do passageiro e tempo entre paradas	Ultrapassagem	Capacidade do veículo	Ponto de Controle	Frota	Metodo de solução	Autor
			Vários	Vários	Heurístico	Eberlein <i>et al.</i> (2001)
		Ignorado		Um	Otimização convencional	Ding e Chien (2001)
			Único	Vários	Heurístico	Sun e Hickman (2008)
Estocástico	Proibido	Ignorado	Varios	Um	Heurístico	Zhao <i>et al.</i> (2003)
	Permitido	Ignorado	Único	Um	Otimização convencional	Hickman (2001)

Fonte: Delgado et al., 2011 (Adaptado)

Daganzo (2009) e Daganzo e Pilachowski (2011) propõem um esquema de controle adaptativo com o objetivo de fornecer *headways* mais regulares, mantendo a velocidade comercial mais alta quanto possível, considerando os efeitos estocásticos em tempos de viagem do veículo, tempos de paradas e demanda de passageiro.

Em Daganzo (2009) o controle é feito em um ponto específico da rota onde o ônibus é retido baseado em informações em tempo real com base na passagem do ônibus anterior. O método proposto é eficaz para pequenas perturbações. Para superar esse problema, Daganzo e Pilachowski (2011) ajustam continuamente a velocidade de cruzeiro dos veículos de forma a manter o espaçamento entre os mesmos, mostrando-se eficaz na prevenção de comboio. Bartholdi e Eisenstein (2012) propõem não considerar a manutenção de um predeterminado *headway*, e sim daquele advindo do sistema espontaneamente (o *headway* neste caso é dinâmico, ou seja, variável) e através da retenção em um único ponto. Essas três abordagens demonstram-se ineficientes quando os veículos atingem suas capacidades.

Estratégias para aumentar a velocidade operacional são propostas em Fu et al. (2003) e Sun e Hickman (2005) que propõem pular uma parada, ou seja, não realiza embarque e desembarque. Neste caso, o próximo ônibus para em todas as paradas. No entanto, nenhum deles considera as restrições de capacidade dos veículos.

Cortes et al. (2010) propõem uma combinação de retenção com a operação de pular parada baseada em modelo híbrido de controle preditivo. Eles consideram a demanda imprevisível e

um horizonte de curto prazo em que visam minimizar o tempo de espera e incluir regularidade do *headway* na sua função objetivo. A retenção é implementada ao longo de um conjunto discreto de valores possíveis.

Um controle eficiente da prestação de serviço possibilita um menor tempo de resposta às anormalidades e melhoria do serviço prestado. Maior velocidade e eficiência operacional, melhor distribuição de passageiros por carro, redução nos tempos de espera, refletem positivamente junto ao usuário, contribuindo também para reduções de congestionamentos e melhoria da mobilidade.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão bibliográfica observa-se que na grande maioria, os modelos e as experiências referem-se à operação de regulação sem aplicação no mundo real, ou apenas, considerando uma única linha, poucos pontos de controle, um corredor simples e não uma rede de transporte. Para uma situação limitada é possível identificar as causas e as medidas a serem adotadas, pois as restrições externas são controláveis. Quando se trata no caso prático de uma rede é muito difícil a regulação, pois há trechos sem corredor exclusivo, cruzamentos com prioridades semaforicas diversas, volumes de embarque e desembarque desequilibrados, enfim características operacionais heterogêneas. Muito tem se que avançar nos modelos e experiências, precisa-se entender e identificar onde ocorrem as perturbações do *headway*. Buscar este ponto através de sistemas de alertas pode ajudar a prevenir a deformação.

Muitos órgãos públicos, que fazem o monitoramento em tempo real, acabam utilizando pessoas treinadas para tentar definir estratégias de controle em linhas através dos *output* (gráficos, mapas sinóticos, relatórios) advindos dos sistemas de monitoramento em tempo real. Em função da complexidade discutida anteriormente e a incapacidade de ter uma visão plena de todo o sistema, estas ações são muitas vezes insuficientes para regular as linhas.

Por fim, apesar de já existir o monitoramento em tempo real que indica de maneira dinâmica o comportamento do veículo, quanto a atrasos, falhas e operações indevidas é evidente a necessidade de um sistema integrado que possa dar apoio à regulação das linhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABKOWITZ, M. D.. **Transit Service Reliability**. Cambridge, MA: USDOT Transportation Systems Center and Multisystems, Inc., 1978.

ABKOWITZ, M.; A. EIGER E I. ENGELSTEIN. **Optimal control of headway variation on transit routes**. Journal of Advanced Transportation, 20, 73-88, 1986.

ADAMSKI, A. E A. TURNAU. **Simulation support tool for real-time dispatching control in public transport**. Transportation Research, 32A, 73-87, 1998.

AKAMINE, A.. **Explorando Alternativas para Construção de Modelos Neurais de Interação Espacial**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

ARAÚJO, R. R.. **Uma abordagem de resolução integrada para os problemas de roteirização e carregamento de veículos**. Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

ARENALES, M. et al.. **Pesquisa Operacional**. Elsevier, São Paulo, 2007.

BARNETT, A.. **On controlling randomness in transit operations**. Transportation Science 8 (2), 102–116, 1974.

BARTHOLDI III, J.J.; EISENSTEIN, D.D.. **A self-coordinating bus route to resist bus bunching**. Transportation Research Part B 46 (4), 481-491, 2012.

CANTARELLA, G. E S. DE LUCA. **Multilayer feed forward networks for transportation mode choice analysis: An analysis and a comparison with random utility models**. Transportation Research Part C 13, p. 121–155, 2005.

CAREY, M.. **Optimizing scheduled times, allowing for behavioral response**. Transportation Research, 32B, 329-342,1998.

CEDER, A.. **Bus timetables with even passenger loads as opposed to even headways**. Transportation Research. Record 1760, 3–9, 2001.

CEDER, A.. **Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice**. Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 640 p., 2007.

CELIKOGU, H. E H. CIGIZOGLU. **Modelling public transport trips by radial basis function neural networks**. Mathematical and Computer Modelling 45, p. 480–489, 2007.

CHANG, S. C. E Y. C. CHUNG. **From timetabling to train regulation - a new train operation model**. Information and Software Technology 47, 2005.

CORTÉS, C.E.; SAÉZ, D., MILLA, F., NUÑEZ, RIQUELME, A. E.. **Hybrid predictive control for real time optimization of public transport system's M. operations based on evolutionary multi-objective optimization**. Transportation Research Part C 18 (5), 757-769, 2010.

COSTA, G.. **Uma Avaliação do Consumo de Energia com Transportes em Cidades do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001.

DAGANZO, C. F.. **A headway-based approach to eliminate bus bunching: systematic analysis and comparisons**. Transportation Research Part B 43 (10), 913–921, 2009.

DAGANZO, C.F. E J. PILACHOWSKI. **Reducing bunching with bus-to-bus cooperation**. Transportation Research Part B 45 (1), 267–277, 2011.

DELGADO, F.; J.C. MUNOZ; GIESEN, R.; CIPRIANO, A.. **Real-time control of buses in a transit corridor based on vehicle holding and boarding limits**. Transportation Research Record 2090, 59-67, 2009.

DELGADO, F.; J.C. MUNOZ E R. GIESEN. **How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?.** Pontificia Universidad Catolica del Chile, Transportation Research Part B 46 (2012) 1202-1217, 2011.

DING, Y. E S. CHIEN. **Improving transit service quality and headway regularity with real-time control**. Transportation Research Record 1760, 161–170, 2001.

DESSOUKY, M.; R. HALL; L. ZHANG E A. SINGH. **Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal**. Transportation Research, 37A, 145-164, 2003.

EBERLEIN, X. J.. **Real Time Control Strategies in Transit Operations: Models and Analysis**. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1995.

EBERLEIN, X. J.; N.H.M. WILSON; C. BARNHART E D. BERNSTEIN. **The Real-Time Deadheading Problem in Transit Operations Control**. Transportation research (Part B), Vol 32, N.o. 2, 1995.

EBERLEIN, X.; N. H. M. WILSON E D. H. BERSTEIN. **Modeling real-time control strategies in public transport operations**. In **Computer-aided Transit Scheduling**. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 471 (N. H. M. Wilson, ed.), pp. 325-346, Springer-Verlag, 1999.

EBERLEIN, X.-J.; N.H.M. WILSON E D. BERNSTEIN. **The holding problem with real-time information available**. Transportation Science 35 (1), 1–18, 2001.

FU, L. E X. YANG. **Design and implementation of bus-holding control strategies with real-time information**. Transportation Research Record 1791, 6–12, 2002.

FU, L.; Q. LIU E P. CALAMAI. **Real-time optimization model for dynamic scheduling of transit operations**. Transportation Research Record 1857, 48–55, 2003.

FURTH, P. G. E A. B. NASH. **Vehicle pooling in transit operations**. Journal of Transportation Engineering, 111(3), 268-279, 1985.

FURTH, P. E T. MULLER. **Service reliability and optimal running time schedules**. Transportation Research Record 2034, 55–61, 2007.

FURTH, P. E T. MULLER. **Optimality conditions for schedules with timepoint holding**. Public Transport 1 (2), 87–102, 2009.

GONÇALVES, J. L. **O Raciocínio heurístico e a resolução de problemas**. Revista Unijales, Edição 1, Nº 1, Ano I ISSN 1980-8925 (versão eletrônica) <http://www.reuni.pro.br>, 2006.

GOLDBERG, D. E.. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1989.

HALLOWELL, S.F. E P.T. HARKER. **Predicting On-time performance in scheduled rail-road operations: Methodology and application to train scheduling**. Transportation Research, 32A, 279-295, 1998.

HAUPT, R. L. E S. E. HAUPT. **Practical genetic algorithms**. 2nd edition, Wiley-Interscience Publication, 2004.

HICKMAN, M.. **An analytic stochastic model for the transit vehicle holding problem.** Transportation Science 35 (3), 215–237, 2001.

HENSHER, D. E T. TON. **A comparison of the predictive potential of artificial neural networks and nested logit models for commuter mode choice.** Transportation Research Part E 36, p. 155-172, 2000.

JORDAN, W.C. E M. A. TURQINST. **Zone scheduling of bus routes to improve service reliability.** Transportation Science, 13, 242-268, 1979.

KOFFMAN, D.. **A simulation study of alternative real-time bus headway control strategies.** Transportation Research Record, 663, 41-46, 1978.

LADEIRA, M. C. M.; F. D. MICHEL E S. A. PAVANATTO. **Monitoramento da operação de transporte público: o caso de Porto Alegre.** ANPET XXIII, Vitória, ES, Brasil, 2009.

LADEIRA, M. C. M.; ARIOTTI, P.. **Faixa de ultrapassagem no contra fluxo em corredor de ônibus: Experiência de Porto Alegre.** ANPET XV, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.

LADEIRA, M. C. M.; F.D. MICHEL E L.A.S SENNA. **Public transport monitoring and control: the case of Porto Alegre, Brasil.** ICTIS, International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, China, 2011.

LESLEY, L. J. S.. **The role of the timetable in maintaining bus service reliability.** In Proceedings of Operating Public Transport Symposium, University of Newcastle upon Tyne, 1975.

LI, Y.; J. M. ROUSSEAU E M. GENDREAU. **Real-time dispatching public transit operations with and without bus location information.** Computer-aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 430, 296-308, 1993.

LIU, G. E S. C. WIRASINGHE. **A simulation model of reliable schedule designs for a fixed transit route.** Journal of Advanced Transportation, 35, 145-174, 2001.

MENDES, W.S.. **Regulação de trens em sistemas metroviários.** Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP, 2009.

MITCHELL, M.. **An Introduction to Genetic Algorithms.** First MIT Press paperback, 1996.

MUNOZ, J.C; R. GIESEN, F. DELGADO; A. CIPRIANO; C. CORTÉS; D. SÁEZ E F. VALENCIA. **Comparison of control strategies for real-time optimization of public transport systems**. In: Proceedings of the Triennial Symposium on Transportation Analysis (TRISTAN) VII, Tromso, Norway, 2010.

NEWELL, G. F.. **Dispatching policies for a transportation route**. Transportation Science, 5,91-105,1971.

NGUYEN-DUC, K. E B. DESCOTES-GENON. **Rescheduling in the Urban Transportation Networks**. Computational Engineering in Systems Applications, Volume: 1, Pages 953-959, 2007.

O'DELL, S. W. E N. H. M. WILSON. **Optimal real-time control strategies for rail transit operations during disruptions**. In Computer-aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 471 (N. H. M. Wilson, ed.), Springer-Verlag, 1999.

OSUNA, E. E. E G. F. NEWELL. **Control strategies for an idealized public transportation system**. Transportation Science, 6, 57-72, 1972.

PUONG, A. E N.H.M. WILSON. **A train holding model for urban rail transit**. In: Hickman, M., Mirchandani, P., Voss, S. (Eds.), Computer-Aided Systems, 2008.

RANSOLIN, M. E W.Y. CHIN. **Otimizando a Operação de Transporte Urbano com Modelos Matemáticos de Pesquisa Operacional**, ITS.WPLEX, 2001.

SAINT-LAURENT, B.. **Information Systems for Public Management**. In NWAGBOSO, C. O. (Ed). Advanced Vehicle and Infrastructure Systems; Computer Application, Control and Automation. England: John Wiley & Sons Ltd., Cap. 15, p 342-369, 1997.

SENEVIRATNE, P.N.. **Analysis of on-time performance of bus services using simulation**. Journal of Transportation Engineering, 116, 517-531, 1990.

SHEN, S. E N. H. M. WILSON. **An optimal integrated real-time disruption control model for rail transit systems**. In Computer-aided Scheduling of Public Transport. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 505 (S. Voss, and J. R. Daduna, eds), Springer-Verlag, 2001.

SILVA, D. M.. **Sistemas Inteligentes de Transporte Público por Ônibus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SUN, A. e HICKMAN, M.. **The real-time stop-skipping problem.** Journal of Intelligent Transportation Systems 9 (2), 91-109, 2005.

SUN, A. e HICKMAN, M.. **The holding problem at multiple holding stations.** In: Hickman, M., Mirchandani, P., Voss, S. (Eds.), Computer-Aided Systems, 2008.

TANG, K. S.; K. F. MAN; S. KWONG E Q. HE. **Genetic Algorithms and their Applications.** IEEE Signal Processing Magazine, 1996.

TURNQUIST, M. E S. BLUME. **Evaluating potential effectiveness of headway control strategies for transit systems.** Transportation Research Record 746, 25, 1980.

TURNQUIST, M. A. E L. A. BOWMAN. **The effects of network structure on reliability of transit service.** Transportation Research, 14B, 79-86, 1980.

TCRP SYNTHESIS 24. **AVL Systems for Bus Transit: A Synthesis of Transit Practice.** Transportation research Board National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C, 1997.

ZHAO, J.; S. BUKKAPATNAM E M. DESSOUKY. **Distributed architecture for real-time coordination of bus holding in transit networks.** IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 4 (1), 43–51, 2003.

ZHAO, J.; M. DESSOUKY E S. BUKKAPATNAM. **Optimal slack time for schedule-based transit operations.** Transportation Science 40 (4), 529–539, 2006.

ZOLFAGHARI, S.; N. AZIZI E M. JABER. **A model for holding strategy in public transit systems with real time information.** International Journal of Transport Management 2 (2), 99–110, 2004.

WILSON, N.; R. A. MACCHI, R. E. FELLOWS E A. A. DECKOFF. **Improving service on the MBTA Green Line through better operations control.** Transportation Research Record 1361, 10-15, 1992.

WIRASINGHE, S. C. E G. LIU. **Determination of the number and locations of time points in transit schedule design.** In Passenger Transportation (M. Gendreau and G. Laporte, eds), Baltzer Science, 1995.

5 ARTIGO 3: “ESTRATÉGIA DE REGULAÇÃO DE LINHAS EM TEMPO REAL: O CASO DE PORTO ALEGRE”

Adaptado do Artigo publicado no XVIII Congresso Panamericano de Ingeniería de Transito Transporte y Logística

Maria Cristina Molina Ladeira

Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Empresa Pública de Transporte e Circulação

Fernando Dutra Michel

Luiz Afonso dos Santos Senna

Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O presente artigo analisa os modelos de resoluções de problemas de regulação de linhas de transporte por ônibus, abordagens e as estratégias disponíveis na literatura através de uma revisão bibliográfica. Identifica os principais problemas e os métodos de resolução. Além disso, apresenta um Estudo de Caso de aplicação real em uma linha em operação na Cidade de Porto Alegre, Brasil. Por fim, apresenta as principais conclusões, como melhoria no nível de serviço da linha, bem como sugere recomendações para estudos futuros.

1 **INTRODUÇÃO**

A mobilidade dos usuários do transporte público está diretamente associada ao desempenho dos sistemas que utilizam. A oferta de uma rede com uma boa cobertura espacial e bem estruturada apresenta-se como um sistema eficiente e atrativo. Entretanto, para que isto ocorra, é necessário que haja um controle efetivo da prestação deste serviço e uma gestão operacional em tempo real. O desempenho do sistema está diretamente relacionado ao atendimento que o mesmo proporciona às expectativas dos usuários quando estes optam pelo

seu uso. A falta de regularidade/confiabilidade do serviço pode ser considerada como uns dos principais fatores de estagnação da demanda ou sua perda para outros modos de transporte.

Uma estratégia que vem sendo adotada para a melhoria desta situação é o gerenciamento da mobilidade, o qual consiste no gerenciamento da demanda por viagens cujo fundamento básico é a priorização do transporte público em relação ao tráfego geral. A priorização é realizada através de intervenções viárias e pelo uso de *Intelligent Transportation System* – ITS, permitindo desta forma a implementação de estratégias de regulação de linhas de transporte público a fim de evitar a formação de comboios e o espaçamento excessivo entre veículos, fatores que afetam diretamente a operação.

É importante a implantação de sistemas tecnologicamente avançados de monitoramento e controle centralizado com uma visão integrada de gestão e operação do transporte coletivo. Isso se configura como uma ação bastante efetiva para a melhoria das condições de oferta, fluidez e segurança nos deslocamentos. Diante dessa realidade, o controle em tempo real através do uso de ITS vem auxiliar e subsidiar ações de planejamento, monitoramento e operação.

O presente artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre modelos de resoluções de problemas de regulação de linhas de transporte por ônibus, abordagens e as estratégias disponíveis na literatura. Além disso, apresenta a preparação do projeto piloto de aplicação real de uma metodologia de regulação operacional do headway em uma linha em operação na Cidade de Porto Alegre, Brasil. Ou seja, aplicação de manobras de regulação com o objetivo de manter o headway médio definido para a linha na faixa horária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (ESTRATÉGIAS DE REGULAÇÃO)

Regulação é o processo de adequação em tempo real das tabelas horárias nas condições reais de operação (Laichour, 2002; Zidi, 2007; Ladeira et al., 2010). Ela é realizada por operadores chamados reguladores, que adotam medidas de regulação em caso de perturbação. É impossível encontrar manualmente a solução ótima, pois as possibilidades aumentam exponencialmente com o número de veículos envolvidos ou com o número de paradas (Borne et al., 2003).

O processo de regulação envolve o subsistema de funcionamento da linha e o de regulação. O primeiro refere-se à operação propriamente dita e é composto por um conjunto de variáveis de decisão como veículos, carregamento e número de passageiros por parada. O subsistema de regulação analisa as diferenças entre os objetivos de qualidade do serviço e a realidade aplicando ações corretivas possíveis de serem executadas considerando as restrições ligadas à operação.

Segundo Ezzedine et al. (2008) um sistema de regulação é composto pelo Sistema de Ajuda à Regulação, Sistema de Ajuda à Decisão e Sistema de Ajuda à Informação. O Sistema de Ajuda à Regulação - SAR deve propor ao regulador um ambiente de supervisão para seguir o movimento dos veículos e dos passageiros das linhas; ajudar na caracterização das perturbações e auxiliar na definição de soluções que permitam minimizar os efeitos das perturbações (Bouomrane et al., 2005). Os trabalhos levados dentro do domínio do Sistema de Ajuda à Decisão - SAD, na regulação de transporte urbano, se interessam principalmente no desenvolvimento de algoritmos de regulação automáticos ou semiautomáticos.

O modelo funcional do SAR é composto por cinco fases cuja descrição é apresentado no Quadro 7 (Ladeira et al., 2010).

Quadro 7: Descrição das fases do Modelo Funcional do Sistema de Ajuda à Regulação

Fases	Descrição	Ação
Obtenção das Perturbações	Tarefa de reconhecimento da perturbação, detectada pela análise das informações do monitoramento; por chamadas de rádio ou telefone recebidas; experiência do regulador.	É acionado um alarme.
Análise das perturbações	Para cada anormalidade o SAR complementa as informações através da avaliação da natureza da perturbação. São identificados a linha, o tipo e o horário do início da perturbação, número de passageiros, natureza da perturbação, existência de correspondência. São avaliadas as condições existentes.	Uma classificação das perturbações é proposta a fim de informar sobre sua prioridade de tratamento das perturbações.
Construção da solução	Três métodos são propostos ao regulador para a escolha da solução. Manual: o regulador é o único	A partir da lista de possíveis soluções,

Fases	Descrição	Ação
	responsável da sua tomada de decisão. Semi-automático: escolhe uma entre as lógicas de regulação. Automático: escolhe entre uma das soluções propostas automaticamente pelo sistema.	o regulador determina a ação a ser adotada.
Avaliação da Solução	Para avaliar a solução o regulador se apoia em indicadores elaborados pelo SAR: (i) essenciais – sem esses indicadores o regulador não pode ter uma ideia precisa sobre a qualidade da solução proposta. (ii) importantes - eles fornecem dados complementares sobre a consequência da solução proposta ou solução corrente; e (iii) acessórios - não influenciam a decisão do regulador.	Após a avaliação das alternativas possíveis, é escolhida a solução.
Implementação da Solução	Consiste na implementação da solução escolhida. Os resultados são monitorados e ajustados. Caso o resultado não seja satisfatório uma nova análise é necessária. Se, positivo, a operação retorna ao status de normal.	Os dados são armazenados na base de dados

Alguns autores como Sidi et al. (2004, 2008) e Zidi (2007) propõem três critérios de regulação de forma a minimizar os tempos de espera dos passageiros: regularidade, correspondência e pontualidade. Além disso, classificam as manobras de regulação de acordo com a perturbação e a localização da mesma. Nesse caso, as ações de regulação podem ser tomadas separadamente nos terminais e ao longo do itinerário ou em ambos simultaneamente.

São manobras em terminal: (i) substituição - consiste em utilizar um veículo disponível em substituição de outro inicialmente previsto e que ficou indisponível; (ii) permuta – trata-se de uma troca da partida entre os veículos existentes em terminal; (iii) deriva - o regulador pode escolher em avançar ou recuar uma ou várias partidas sem suprimir ou inserir outra; (iv) exclusão de uma partida - esta consiste em suprimir uma partida da tabela horária; (v) inclusão de partida - adicionar uma partida na tabela horária; e (vi) retomada - esta ação visa espaçar os horários de partida dos veículos em um terminal seguida de uma supressão ou inclusão de partida (Ladeira et al., 2010).

A regulação em linha conta com: (i) modificação dos tempos de percursos adotados; (ii) a espera num ponto de parada de ônibus; (iii) transbordo; (iv) ultrapassagem em linha; (v) a troca de motorista e veículo; (vi) desvio de itinerário; (vii) somente desembarque; (viii) expresso (Ladeira et al., 2010). As manobras que podem ser tomadas em terminal ou em linha são: (i) troca de missão para encurtar a viagem (meia volta); (ii) a troca de missão para alongar a viagem; e (iii) inclusão de um veículo reserva (Ladeira et al., 2010).

Vários autores propõem a utilização de sistemas inteligentes na área de transportes. Para Cortés et al. (2010) a maioria dos modelos de controle de estratégias em tempo real encontrados na literatura é baseada em heurística, em virtude da complexidade matemática das formulações e da falta de um controle dinâmico. As estratégias de controle flexíveis, em tempo real ou não, tem sido foco dos estudos na tentativa de redução dos efeitos dos distúrbios dos serviços.

Os modelos desenvolvidos por Soulhi (2000) e Chihai (2002) utilizam a teoria de conjuntos nebulosos (fuzzy) para a regulação de perturbações em vários locais da rede ao mesmo tempo e entre as estações respectivamente. Os modelos sugerem estratégias ao regulador. Laichour (2002) adota uma abordagem multi-agentes e propõe regular a correspondência utilizando um número limitado de ações do regulador. Fayech (2006) adota uma abordagem multi-agentes integrando um algoritmo genético. Estes trabalhos abordam a resolução dos problemas próprios da regulação sem levar em consideração sua integração dentro de um ambiente interativo necessário ao regulador (Bouamrane, 2005).

As estratégias de controle de retenção dos veículos podem ser agrupadas em duas categorias: reter o veículo para coincidir com horários programados ou a regulação por *Headway*. A ação de controlar a programação predefinida é normalmente usada para linhas de baixa demanda e longos *headways*. Sistemas com alta demanda e pequenos *headways*, são normalmente regulados pelo *headway*.

Segundo Delgado et al. (2011) pesquisas anteriores sobre estratégias de controle têm como foco principal a manutenção da regularidade através da retenção do ônibus nas paradas, se uma determinada condição for satisfeita, o que pode ser muito eficaz, mas tem o efeito secundário de reduzir a velocidade operacional (Sun e Hickman, 2008; Eberlein, 1995). No

entanto, uma abordagem alternativa para alcançar *headways* mais regulares consiste em limitar o número de embarques de passageiros em um ônibus atrasado.

A aplicação de modernas tecnologias de controle, monitoramento e gestão de transporte são uma realidade nos países em desenvolvimento. O aparecimento de novas tecnologias de informação e comunicação, como sistemas de GPS e AVL tornou possível o desenvolvimento de sistemas mais complexos de controle da operação.

Uma nova abordagem é proposta por Bartholdi e Eisenstein (2011) que abandona a regulação pelo *headway* pré-definido ou pelas partidas programadas e propõe a auto regulação através do *headway* que emerge da operação espontaneamente.

A partir da revisão bibliográfica observa-se que na grande maioria, os modelos e as experiências referem-se à operação de regulação através de simulação, ou apenas, considerando uma única linha, poucos pontos de controle, um corredor de ônibus simples e não uma rede de transporte. Para uma situação limitada é possível identificar as causas e as medidas a serem adotadas, pois as restrições externas são controláveis. Quando se trata no caso prático de uma rede é muito difícil a sua regulação, devido às características operacionais heterogêneas.

3 PANORAMA DOS SISTEMAS DE AVL IMPLANTADOS NO BRASIL

De uma frota nacional de 522.401 ônibus, o número de veículos urbanos rastreados a partir de sistemas AVL (*Automatic Vehicle Location*) corresponde a aproximadamente 10 % da frota no Brasil. Na Região Sudeste, onde 50,2% da frota circulam, tem uma cobertura de 22,20% dos veículos. Nas demais regiões, o índice de cobertura AVL relacionado ao número absoluto da frota cai para 8,95%. A maior difusão dos sistemas de monitoramento por sistema AVL está nas capitais (Barcelos e Michel, 2013).

Ainda segundo Barcelos e Michel (2013), as empresas desenvolvedoras com participação no mercado de AVL no país, dividem-se em:

- desenvolvedores de projetos e sistemas de tecnologia de informação;

- empresas provedoras de soluções para segurança eletrônica e rastreamento veicular para frotas particulares, transporte de carga e valores;
- empresas oriundas de unidades de negócio vinculadas às próprias empresas de transporte de passageiros, transformando-se em braço tecnológico das mesma/s;
- fabricantes e provedores de soluções em sistemas de bilhetagem eletrônica, que acabaram por ampliar sua atuação, a partir do desenvolvimento de soluções em AVL, muitas vezes integradas além da bilhetagem, com os demais ITS.

Quanto aos requisitos tecnológicos, as empresas desenvolvedoras se equivalem, aplicando os mesmos conceitos e topologias de comunicação. O diferencial está no pacote de serviços e a capacidade de customização de software e domínio tecnológico de hardware embarcado, onde quase todas as empresas se posicionam como integradores de hardware, otimizando seus esforços em desenvolvimento de software.

Um dos maiores desafios para o Brasil na atualidade é a normatização do ITS. A utilização de ITS, através de uso de Sistemas Avançados de Transporte Público, tanto na Ajuda à Operação quanto na Informação ao Usuário é estratégico na gestão do Transporte. Os resultados observados a partir do seu uso são encorajadores, pois possibilitam melhores velocidades operacionais, recuperação e fidelização do passageiro e confiabilidade. O futuro do ITS está ligado à evolução da tecnologia da informação (Ladeira et al., 2013).

4 O SISTEMA DE TRANSPORTE POR ÔNIBUS EM PORTO ALEGRE

Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil conta com uma população de 1.409.351 habitantes (IBGE jul/11) e possui uma frota de 718.789 veículos (DETRAN jan/12). A Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC foi criada pela Lei Municipal no 12.373/99, com o objetivo de regulamentar, especificar, medir e fiscalizar a prestação dos serviços de transporte de passageiros; conceder e extinguir concessões; garantir o equilíbrio dos serviços; fiscalizar as atividades relacionadas com o trânsito e os transportes do Município de Porto Alegre. A EPTC atua no planejamento e regulação do sistema de

transporte público do município, onde operam, atualmente, 1.701 ônibus, 403 lotações, 618 veículos de transporte escolar, 3.917 táxis convencionais (EPTC, 2012).

O sistema de transporte por ônibus em Porto Alegre é operado por uma empresa pública, a Companhia Carris e por três Consórcios Operacionais Privados, distribuídos geograficamente na cidade, constituídos por doze empresas. Na zona sul opera o Sistema Transportador Sul – STS, na zona leste a União da Bacia Urbana Sudeste Leste - UNIBUS, e na zona norte opera o Consórcio Operacional Zona Norte - CONORTE. Os consórcios privados operam linhas radiais e alimentadoras do sistema. A Companhia Carris opera as linhas transversais e algumas radiais. O sistema transporta diariamente 1.090.370 de passageiros em 25.000 viagens, em um conjunto de 400 linhas. A tarifa possui preço único de R\$ 2,80 com direito a uma integração totalmente gratuita dentro de um intervalo de 30min a partir do desembarque, (EPTC, 2012).

Porto Alegre conta com o SOMA (Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente), um sistema de rastreamento dos veículos ao longo do itinerário, com transmissão da informação da localização em tempo real a uma central de controle. Sistema baseado na leitura de “etiquetas eletrônicas” (transponders) instaladas nos veículos, que identificam a localização dos mesmos em função das suas passagens pelos pontos de verificação ao longo das vias, onde estão instaladas antenas de comunicação de curto alcance, acopladas a um modem que transmite a informação. As antenas têm comunicação com um computador central através de linha telefônica, para transmissão dos dados armazenados. As etiquetas têm informações fixas (identificação do ônibus – prefixo – empresa) (Ladeira et al., 2011). Além do sistema público de AVI – Identificação Automática de Veículo o SOMA, cada consórcio adota um sistema de rastreamento e monitoramento próprio considerando suas necessidades individuais como telemetria; alocação de tripulação, dentre outros.

5 PROJETO PILOTO

5.1 Escolha do Consórcio

A escolha do Consórcio STS baseou-se no seu alto desempenho operacional e pelo investimento em ITS (*Intelligent Transportation System*). É o consórcio de maior participação no mercado da cidade de Porto Alegre e historicamente apresenta o maior Índice de Cumprimento de Viagem - ICV, alternando esta posição apenas alguns meses com a Cia Carris. A Figura 3 apresenta o gráfico da tendência do ICV do STS com relação à média do sistema de Porto Alegre. Inclusive no acompanhamento mensal de avaliação dos indicadores do SOMA verifica-se que a operação do STS eleva a média do sistema. A tendência de queda o ICV deve-se principalmente ao início das obras estruturais nos corredores de transporte e de infraestrutura como viadutos, trincheiras e duplicação de vias e ciclovias.

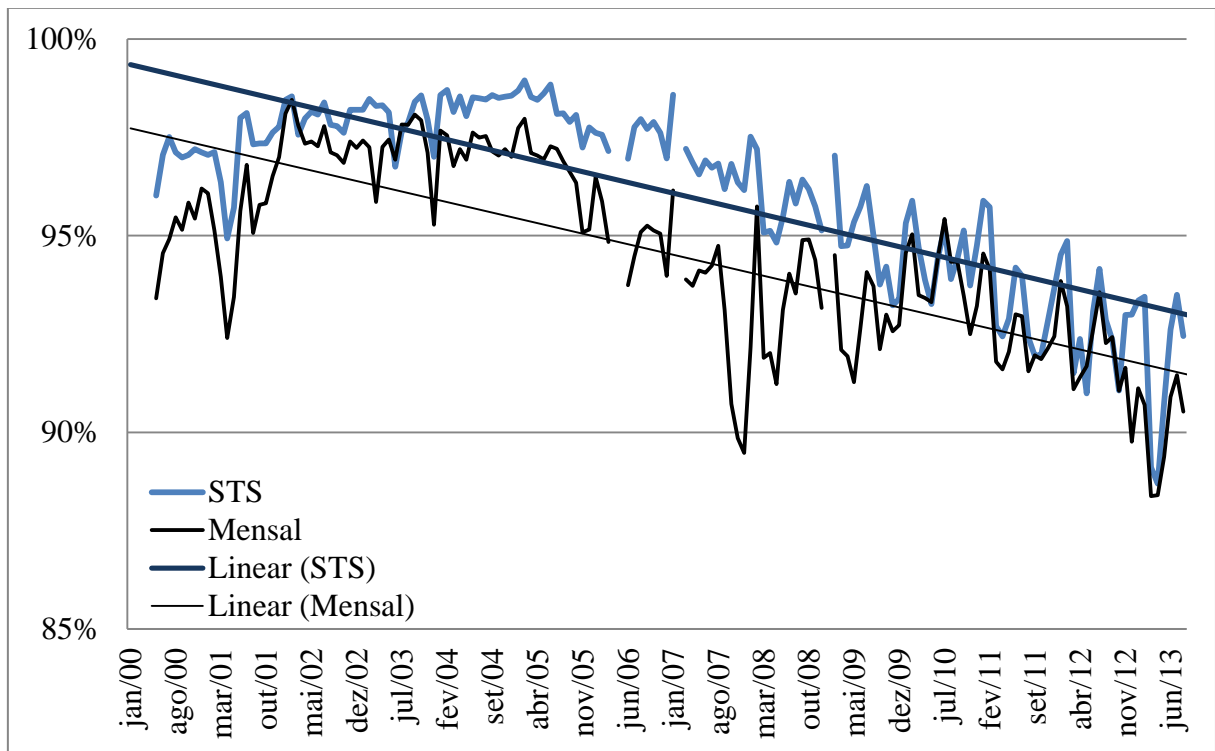


Figura 3: Evolução do ICV do Sistema e do STS

O uso de ITS pelo consórcio STS iniciou em 2009 a partir da escolha da tecnologia, do software e do hardware a serem utilizados, realizado através de benchmarking em cidades

como Lisboa, Xangai, Zen Zun, Pequim, Fortaleza e Goiânia. Como resultado adotou um computador de bordo equipado com *Global Road Position* - GPS e chip de operadora de telefonia móvel habilitado com plano de dados utilizando tecnologia de Serviço de Radio de Pacote Geral – GPRS. Observa-se que toda a frota do STS tem instalado o sistema (Bittencourt, 2012).

O processo do *Automatic Vehicle Location* – AVL inicia pela localização do veículo através da triangulação de satélites, localizando o GPS instalado no ônibus. Passa pela transmissão das coordenadas de localização do veículo, via GPRS, para a empresa responsável pelo software do ITS que realiza a manipulação dos dados. Encaminha a informação organizada para sua disponibilização tanto para o Sistema de Apoio à Operação, aos cuidados dos operadores do serviço no Centro de Controle e Operação – CCO, quanto para os Sistemas de Informação ao Usuário, para apreciação dos usuários do transporte público, via web, paradas inteligentes ou tecnologia móvel para ter acesso à informação. Todo esse ciclo de informações ocorre a cada dez segundos, de modo a se obter a informação em tempo real, com atualizações constantes, (Bittencourt, 2012).

5.2 Escolha da Linha

O Consórcio STS opera 158 linhas do sistema, apresenta uma frota total de 503 veículos sendo 244 dotados de elevadores para pessoas com deficiência física e 101 veículos com ar condicionado. Realiza em média 185.250 viagens mensalmente e uma rodagem média mensal de 3.028.226. Diariamente percorre 116.863km e realiza 7.1621 viagens (EPTC, 2012).

A escolha da Linha 262 - Jardim Vila Nova - deu-se em função de suas características operacionais. Trata-se de uma linha média, radial e com terminal no bairro e no centro. Possui uma extensão total de 30,05km e um headway operacional entre 5 a 10 minutos, possibilitando manobras de regulação eficazes. Além disso, no período sofria pouca interferência das obras em execução na cidade. Durante o mês de setembro de 2013 registrou 96,67% de ICV. É uma linha de atendimento de eixo e com bom fator de renovação, a Figura 4, apresenta o itinerário da linha.



Figura 4: Itinerário da linha 262

Fonte: www.poatransporte.com.br

A Figura 5 apresenta a matriz de embarque e desembarque expandida para o pico da manhã sentido bairro-centro das 06h00min às 09h00min, resultante da pesquisa de embarque, desembarque e o Fator de Renovação – FR, realizada em Setembro 2013. A primeira parte da matriz apresenta a distribuição dos 1220 passageiros por parada de cada segmento da linha. A segunda, a percentualização dos embarques e desembarques e o índice de ocupação e desembarque acumulado. Observa-se que a ocupação máxima se dá na Avenida Teresópolis com índice de 59% e no eixo de aproximação do centro na Avenida Azenha a linha apresenta 28% de ocupação. Em termos de desembarque observa-se no eixo da Avenida Cavallhada um índice de desembarque de 9% e no eixo de aproximação do terminal centro desembarcam 28% dos passageiros total transportado.

262 - JARDIM V. NOVA																
BAIRRO-CENTRO MATRIZ DE EMBARQUE E DESEMBARQUE EXPANDIDA PARA O PICO DA MANHÃ 6:00 a 9:00H																
		R VENTOS DO SUL	AV ROMEU SAMARANI FERREIRA	R ATILIO SUPERTTI	AV VICENTE MONTEGGIA	AV OTTO NIEMEYER	AV CAVALHADA	AV NONOAI	AV TERESÓPOLIS	TRAV. VIAMÃO-CEL. NEVES	AV DR CARLOS BARBOSA	AV AZENHA-J. PESSOA	AV SENADOR SALGADO FILHO	Total		
	EID	1	4	5	13	22	25	30	36	41	45	49	56	Total		
R VENTOS DO SUL	1	0	0	21	25	6	24	23	17	20	16	112	39	303		
AV ROMEU SAMARANI FERREIRA	4		0	1	5	0	2	4	5	1	4	15	8	46		
R ATILIO SUPERTTI	5			11	30	8	39	15	15	6	7	56	27	214		
AV VICENTE MONTEGGIA	13				3	6	36	18	8	8	6	63	36	185		
AV OTTO NIEMEYER	22					0	7	1	3	1	1	9	12	35		
AV CAVALHADA	25						0	14	5	3	3	31	15	71		
AV NONOAI	30							1	9	6	5	55	62	139		
AV TERESÓPOLIS	36								0	7	6	35	44	93		
TRAV. VIAMÃO-CEL. NEVES	41									1	1	12	8	22		
AV DR CARLOS BARBOSA	45										0	15	12	26		
AV AZENHA-J. PESSOA	49											13	73	85		
AV SENADOR SALGADO FILHO	56												0	0		
Total	0	0	0	33	63	21	109	76	63	55	51	414	336	1220		
															Trecho crítico	
	EID	1	4	5	13	22	25	30	36	41	45	49	56	Total Embarque	Desembarque	Ocupação
R VENTOS DO SUL	1	0%	0%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	2%	1%	9%	3%	25%	0%	25%
AV ROMEU SAMARANI FERREIRA	4		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	4%	0%	29%
R ATILIO SUPERTTI	5			1%	2%	1%	3%	1%	1%	1%	1%	5%	2%	18%	3%	44%
AV VICENTE MONTEGGIA	13				0%	1%	3%	1%	1%	1%	1%	5%	3%	15%	5%	54%
AV OTTO NIEMEYER	22					0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	3%	2%	55%
AV CAVALHADA	25						0%	1%	0%	0%	0%	3%	1%	6%	9%	52%
AV NONOAI	30							0%	1%	1%	0%	4%	5%	11%	6%	57%
AV TERESÓPOLIS	36								0%	1%	1%	3%	4%	8%	5%	59%
TRAV. VIAMÃO-CEL. NEVES	41									0%	0%	1%	1%	2%	4%	56%
AV DR CARLOS BARBOSA	45										0%	1%	1%	2%	4%	54%
AV AZENHA-J. PESSOA	49											1%	6%	7%	34%	28%
AV SENADOR SALGADO FILHO	56												0%	0%	28%	0%
Total	0%	0%	0%	3%	5%	2%	9%	6%	5%	4%	4%	34%	28%	100%	100%	0%

Figura 5: Matriz de Embarque e Desembarque Expandida, Pico da Manhã 06h00min às 09h00min B/C

5.2.1 *Levantamento da Situação Atual (Cenário 0) e Diagnóstico da Linha*

A partir da escolha da Linha 262 foi feito o diagnóstico da situação atual considerado como Cenário 0 (zero) os dados do mês de Setembro de 2013 como referência. Foram levantados os seguintes dados: (i) extensão; (ii) itinerário; (iii) tabela horária; (iv) *headway*; (v) demanda de passageiros (por tipo de dia e por viagem); (vi) tempo de viagem; (vii) velocidade; (viii) ICV; (ix) reclamações, (x) pesquisa de Embarque/ Desembarque; e (i) ocupação.

5.3 **Preparação do Projeto Piloto**

Para a implantação e acompanhamento do projeto piloto foi elaborado cronograma de reuniões periódicas semanais com o operador e o desenvolvedor do Software. Dentre os assuntos tratados salienta-se a montagem de grupo de trabalho de acompanhamento por parte do consórcio bem como treinamento para a tripulação, assim como: (i) estabelecimento das premissas do piloto; (ii) definição dos horários das manobras (em princípio no pico); (iii) definição das manobras de regulação a serem aplicadas; e (iv) resultados esperados.

Quanto aos resultados esperados destacam-se:

- i. implementar manobras de regulação em uma linha em operação em tempo real;
- ii. verificar as dificuldades e necessidades para a regulação;
- iii. verificar quais as dificuldades encontradas;
- iv. melhoria da distribuição de carregamento;
- v. melhor atendimento ao usuário;
- vi. melhor regularidade;
- vii. diminuir a formação de comboio e espaçamento entre viagens;
- viii. melhorar o ICV; e
- ix. redução do número de reclamação.

Importante destacar que o projeto piloto não conta com um Sistema de Apoio à Decisão Automático, pois o sistema atual só tem o sistema de informação. Outra facilidade a disposição do sistema de monitoramento SAFEBUS da DEEP RED é a comunicação entre veículos, onde é possível saber qual a distância/tempo entre os veículos em operação na linha. A realização de uma campanha de divulgação e informação aos usuários da linha sobre o Projeto Piloto é de extrema importância afim de que os passageiros entendam as manobras de regulação a serem executadas.

5.3.1 Verificação da consistência da comunicação dos carros

Para um sistema que trabalha em tempo real, a localização, a comunicação e o tempo de transmissão são elementos fundamentais para a operação, pois isso interfere diretamente na ação de regulação, bem como, na informação ao usuário em tempo real. Segundo Bittencourt (2012), um dos problemas do monitoramento em tempo real é a comunicação, onde há uma perda de 12% dos dados por perda de sinal ou de transmissão de dados. Neste contexto, o STS utiliza dois chips de celular para a comunicação.

A fim de testar a qualidade e a confiabilidade do sistema de comunicação o consórcio testou o sinal telefônico nos dias 04 e 05 de novembro ao longo da jornada em 07 (sete) ônibus. O teste consistiu no envio de mensagens pelo controlador, tendo pessoal com rádio no carro para confirmar recebimento e leitura. Foram enviadas 284 mensagens cujas quais 270 chegaram, representando 4,9% de falha de comunicação. Também foi medido o tempo de atraso na entrega das mensagens que registrou um tempo máximo de 49s e em média 01s. Já nos tempos medidos de atraso na leitura por parte dos motoristas a média registrada foi de 3min e 13s. Destaca-se ainda que eventos meteorológicos interferem nos tempos de comunicação e perda de informação e localização, pois ocasionam interferências nos sinais de GPS.

Também baseado na experiência operacional diária do consórcio observa-se uma média de 3 minutos de tempo de resposta do motorista às mensagens enviadas durante a operação. Este tempo deve ser melhorado com o treinamento, pois neste caso o motorista toma consciência da importância de retorno das mensagens. A proposta neste caso é calibrar o envio e recebimento de mensagens identificando qual a melhor forma de alertar o motorista que chegou uma mensagem: um sinal sonoro ou um LED. Ambas são passíveis de discussão face

ao possível desconforto e interferência na dirigibilidade. Neste aspecto deve-se destacar a interface homem - máquina, assunto que merece uma dedicação de estudo.

5.4 Software de Monitoramento e Gerenciamento

O software de monitoramento e gerenciamento do Consórcio STS chama-se SAFEBUS cuja empresa fornecedora é DEEP RED. O software utiliza o ambiente *web* e se dá por duas interfaces gráficas diferentes. A interface de Monitoramento Analítico é apresentada através de dois módulos que permitem a visualização dos ônibus no mapa. Ainda, permite o envio de mensagens, recebimento de alertas de pânico e outras informações. Por meio do módulo histórico é possível consultar dados da frota, baseados em um momento passado, de acordo com a escolha do prefixo do carro, do horário inicial do acompanhamento e do intervalo de tempo entre cada informação. Já o módulo *online* é utilizado para o acompanhamento em tempo real de determinado veículo ou ainda linha. Pode-se acompanhar mais de uma linha simultaneamente, obtendo em tempo real o número de veículos em operação, Figura 6. O Monitorador Analítico tem por objetivo principal visualizar o andamento de determinada linha, ou linhas, dentro da malha viária do Município (Bittencourt, 2012).

Por sua vez, a interface Monitorador Sintético, sintetiza as informações monitoradas. Nesse módulo, são filtrados até 80 veículos, em um número de linhas variável para alcançar esse número, com a finalidade de serem acompanhados linearmente, Figura 7. No Monitorador Sintético verifica-se de maneira eficaz o *headway* entre dois veículos operando na mesma linha, tempos e distâncias dos veículos na sua aproximação às paradas registradas para a linha em operação no momento, sendo assim a interface mais indicada para o acompanhamento da tabela horária (Bittencourt, 2012).

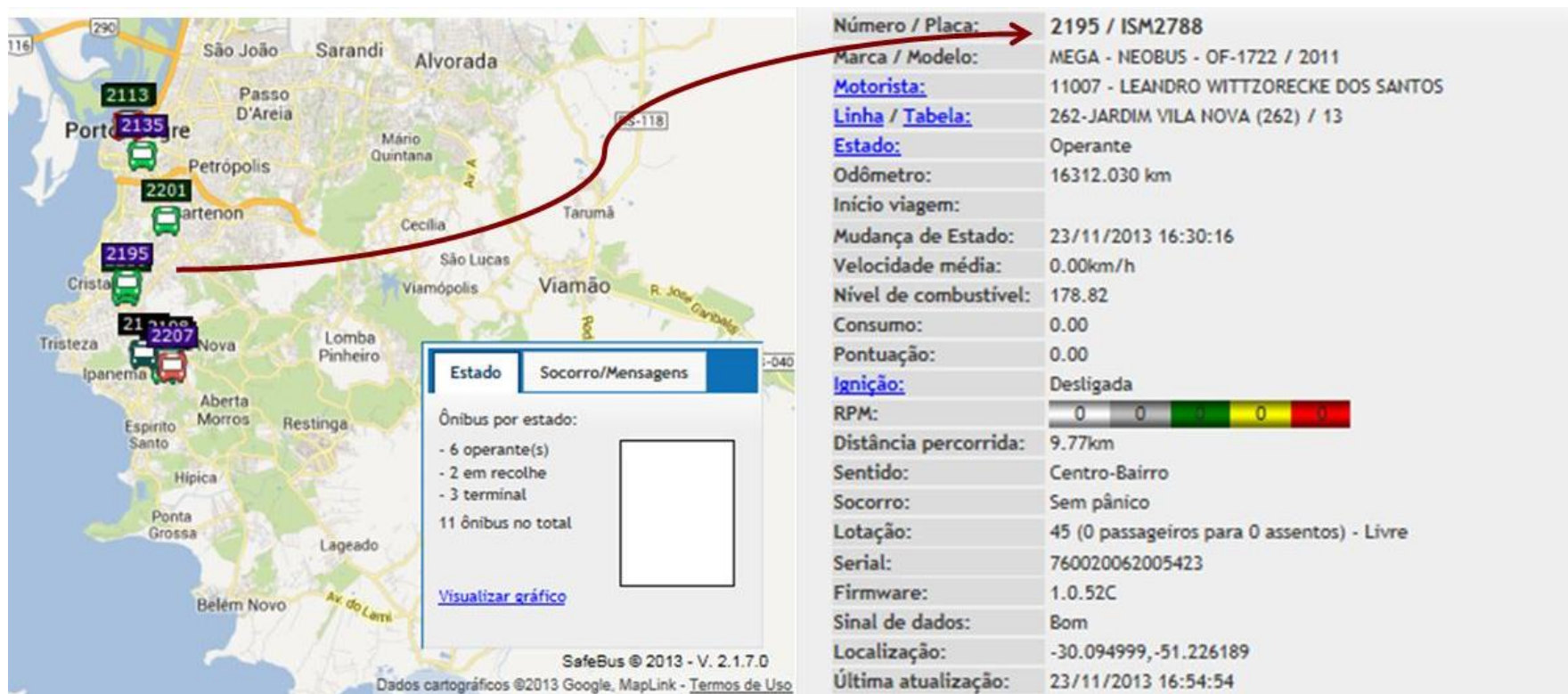


Figura 6: Interface Monitorador Analítico Linha 262 – Consulta dia 23/11/2013

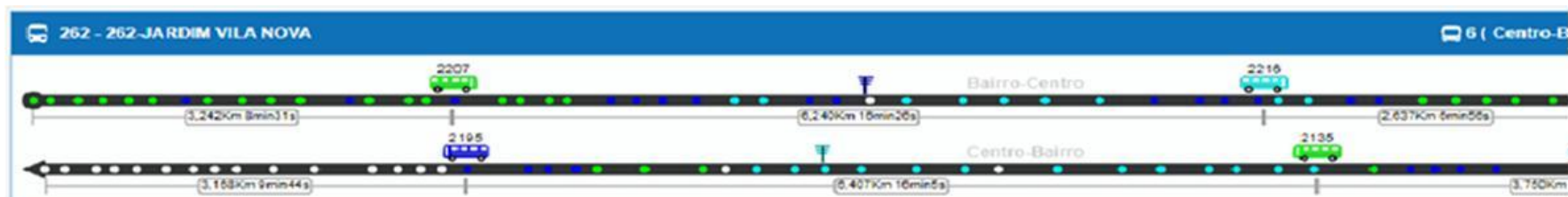


Figura 7: Interface Monitorador Sintético Linha 262 – Consulta dia 23/11/2013

A decisão e implementação de manobras de regulação precisam agilidade e visualização da operação em tempo real. A partir desta necessidade, o fornecedor da tecnologia e software desenvolveu a ferramenta gráfica de visualização do gráfico de marcha on line em tempo real, demonstrando ser um instrumento de gestão da operação importantíssima, pois há visualização de todos os carros de todas as linhas por período. Além disso, podem ser visualizados pontos de estrangulamento e atraso da linha ao longo de seu itinerário e por faixa horária.

A ferramenta apresenta no eixo das abscissas o tempo e, nas ordenadas, a distância. A inclinação representa a velocidade dos veículos. A partir da visualização do gráfico é possível verificar os pontos de formação de comboios, grande espaçamento entre viagens (vale) e os pontos de estrangulamento da linha. Além disso, é possível identificar claramente o local onde a linha perde velocidade e, conseqüentemente, tempo de viagem. É possível identificar o local de entrada de veículo extra ou ainda um desvio de itinerário para que se possa regular o *headway*. A Figura 8 e a Figura 9 apresentam o gráfico de marcha da linha piloto dos picos da manhã e tarde, antes das manobras de regulação. No sentido bairro centro, no pico da manhã verificam-se dois pontos de atrasos, no quilômetro 2,5 e no 5,0, já no pico da tarde além da constatação de ônibus trafegando juntos verifica-se que no 10km ocorre ponto de atrasos.

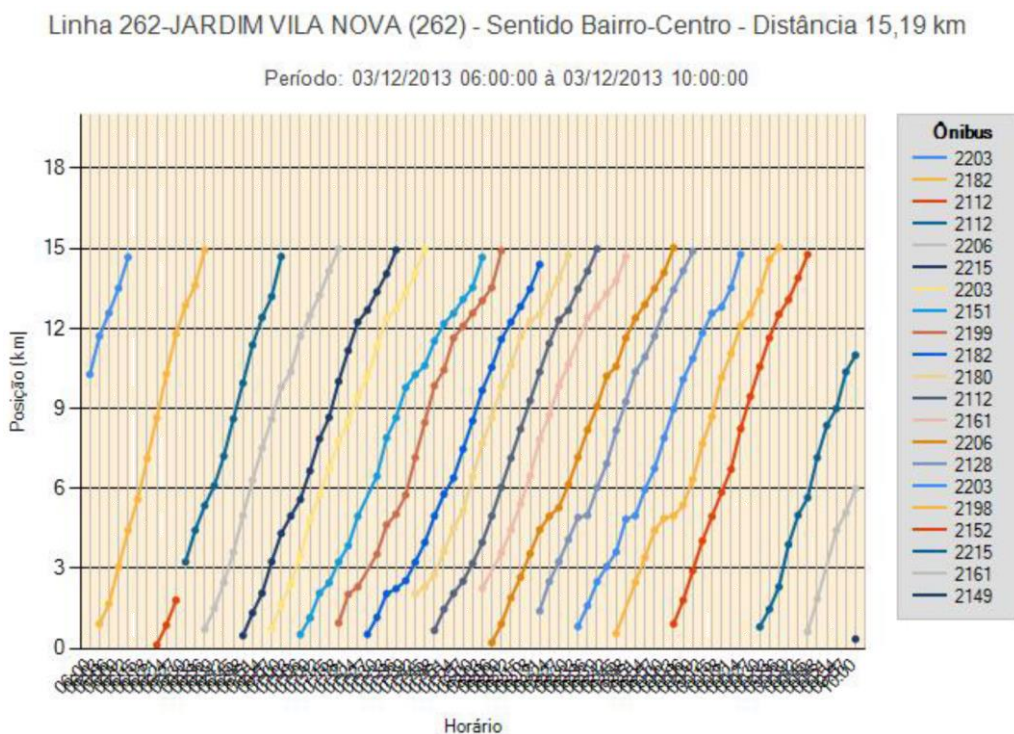


Figura 8: Gráfico de Marcha em tempo real, Pico Manhã

Linha 262-JARDIM VILA NOVA (262) - Sentido Centro-Bairro - Distância 14,86 km

Período: 02/12/2013 16:00:00 à 02/12/2013 20:00:00

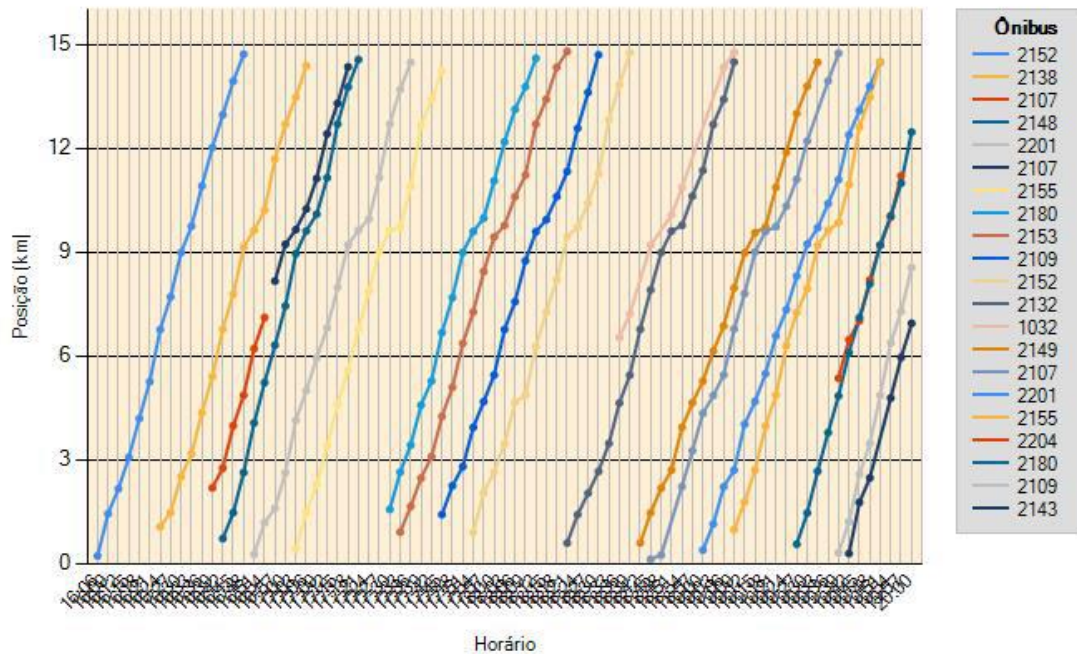


Figura 9: Gráfico de Marcha em tempo real, Pico Tarde

5.5 Premissas do Modelo de Regulação Operacional do Projeto Piloto

O modelo de regulação operacional considera as seguintes premissas:

- i. liberdade operacional do consorcio;
- ii. permitida ultrapassagem;
- iii. não considera capacidade dos veículos;
- iv. frota homogênea;
- v. não há restrição no número de embarque;
- vi. não considera a capacidade dos veículos;
- vii. vários pontos de controle;
- viii. local das manobras: nos terminais, ao longo da linha e em ambos; e

- ix. utilização do módulo de comunicação entre veículos.

5.6 Manobras de Regulação Operacional

As manobras de regulação operacional em tempo real são projetadas para otimizar o desempenho do sistema de transporte como a regularização do headway de acordo com o planejado para a linha, melhoria do índice de cumprimento de viagem, melhor distribuição dos passageiros, redução de reclamações e para solucionar problemas específicos que ocorrem na operação. A escolha do tipo de manobra depende da natureza da perturbação e dos objetivos da regulação. É necessário ter uma visão global da linha e dos recursos disponíveis (frota, tripulação); tratar imediatamente as informações disponíveis; fazer uma análise de espaço versus tempo das perturbações; e projetar o efeito da ação de regulação tomada considerando a linha como um todo. Por exemplo, no caso da utilização da manobra de retenção esta consiste em reter o veículo para coincidir com horários programados ou manter o *headway* regular.

O modelo de regulação proposto para a Linha 262 contempla as seguintes manobras:

- i. retenção (*holding*): consiste no atraso do movimento do ônibus deliberadamente quando um veículo está à frente da programação, ou quando o espaçamento entre veículos está fora do padrão;
- ii. pular parada (*stop skipping*): consiste em não parar em todas as paradas da linha;
- iii. curto giro (*short-turning*) que consiste na ação de retornar o veículo antes do ponto final da linha;
- iv. viagem expressa (*deadheading*): consiste na ação de inclusão de um veículo expresso direto ao um determinado ponto da linha. Este veículo normalmente parte vazio a partir de um ponto de despacho, para uma parada designada;
- v. veículo reserva: consiste na inserção de um veículo extra na linha quando há interrupções inesperadas no sistema, como por exemplo, acidente, pane do veículo;
- vi. ultrapassar veículo: consiste em ultrapassar o veículo que está à frente

- vii. modificação de tempo de percurso: consiste em aumentar ou diminuir a velocidade ao longo do itinerário ou entre etapas da linha
- viii. somente desembarque: consiste em não parar nas paradas para a operação de embarque, mas somente para desembarcar. Esta operação em geral é feita somente em parte da rota.
- ix. deriva (*dispatching*): o regulador pode escolher em avançar ou recuar uma ou várias partidas sem suprimir ou inserir outra;
- x. exclusão ou inclusão de uma partida: consiste em suprimir ou inserir uma partida da tabela horária;
- xi. retomada: consiste em espaçar os horários de partida dos veículos em um terminal seguida de uma supressão ou inclusão de partida. Esta manobra de regulação permite equilibrar os intervalos entre as saídas dos veículos para evitar uma lacuna.
- xii. transbordo de um carro para outro: consiste em transferir de um carro para outro os passageiros ao longo do itinerário, em geral ocorre quando há quebra do veículo.

5.7 Primeiros Resultados

Antes da aplicação do módulo completo de regulação, foi testada a facilidade colocada à disposição do sistema de monitoramento SAFEBUS, que é a comunicação entre veículos. Neste caso, o motorista visualiza no computador de bordo, junto ao painel de controle, a marcação da distância/tempo do veículo que está atrás e do veículo que está a sua frente. Com esta informação, os condutores tem uma meta a cumprir que é manter-se no *headway* definido da linha para aquele período da operação.

Por meio desta ferramenta e de algumas manobras orientadas pelo regulador da linha, como retenção de veículo, pular parada e aumentar ou diminuir a velocidade, a operação já apresentou melhoras significativas no nível de serviço conforme se observa na Figura 10. Um indicador de controle oriundo do sistema de monitoramento é o *headway* médio de operação para um determinado período, cujo qual é usado para avaliar o serviço.

O detalhe da Figura 10 demonstra que a aplicação de manobras de regulação operacional, com o objetivo de manter o *headway* médio definido para a linha em determinado horário, é eficaz, pois há uma melhor distribuição do *headway*, velocidades muito semelhantes entre os veículos da linha, além da eliminação de comboios e de grandes espaçamentos entre os veículos. No período compreendido das 07 horas às 08 horas o *headway* projetado de 10 minutos foi reestabelecido em quase todo o percurso da linha pelos veículos.

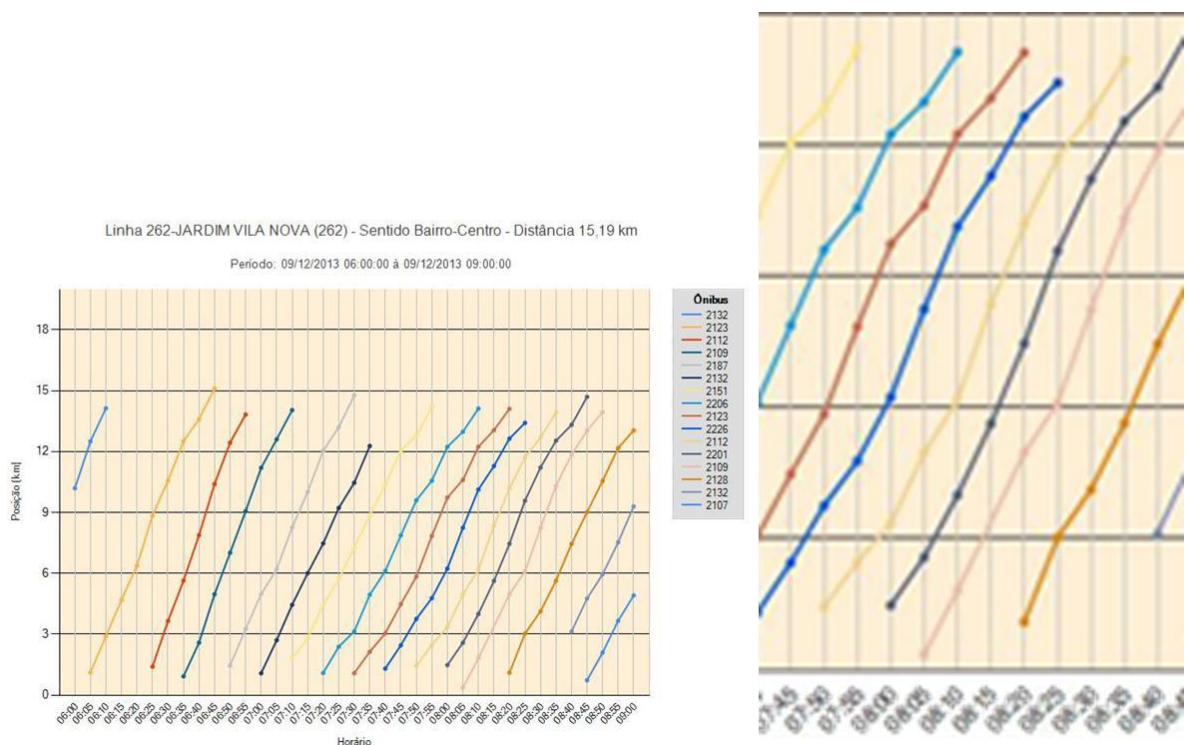


Figura 10: Gráfico de Marcha após treinamento

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito tem se que avançar nos modelos e experiências, precisa-se entender e identificar onde ocorrem as perturbações do *headway*, e buscar este ponto através de sistemas de alertas que possam ajudar a prevenir a deformação. Na sequência deste artigo será implementado o módulo completo de regulação na linha piloto, com a medição dos resultados de cada manobra para fins de comparativo dos resultados. E, a partir de então, expandir a regulação para o conjunto de linhas da rede do Consórcio.

Outra constatação possível de se destacar é que muitos órgãos públicos, que fazem o monitoramento em tempo real, acabam utilizando pessoas treinadas para tentar definir estratégias de controle em linhas através dos *output* (gráficos, mapas sinóticos, relatórios) advindos dos sistemas de monitoramento em tempo real. Em função da complexidade discutida anteriormente e a incapacidade de ter uma visão plena de todo o sistema estas ações são muitas vezes insuficientes para regular as linhas. Por fim, apesar de já existir o monitoramento em tempo real que indica de maneira dinâmica o comportamento do veículo quanto a atrasos, falhas e operações indevidas, é evidente a necessidade de um sistema integrado que possa dar apoio à regulação das linhas.

O que se nota no estágio atual de softwares de monitoramento é a previsão de passagem baseada na série histórica, considerando seus desvios e médias, Entretanto, isso se refere somente à previsão de passagem de um veículo em determinado ponto. O desafio é fazer uma projeção para o futuro, onde baseado no dado atual e na sua tendência a projetar seu tempo de deslocamento, e aí sim poder fazer uma ação preventiva contra a formação de comboio e / ou espaçamento; ou ainda ajuste de *headway* desde o momento atual, se antecipando aos desvios do *headway*. Este é o desafio que trará uma antecipação na ação e na estratégia de regulação a ser adotada.

REFERÊNCIAS

BARTHOLDI III, J.J.; EISENSTEIN, D.D.. **A self-coordinating bus route to resist bus bunching**. *Transportation Research Part B* 46 (4), 481-491, 2012.

BITTENCOURT, G. R.. **Sistemas Avançados de Transporte Público: Análise das Tecnologias Empregadas na Cidade de Porto Alegre**. Trabalho de Diplomação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do Título de Engenheiro Civil, 2012.

BARCELOS e MICHEL, F.D.. **Panorama dos sistemas de AVL implantados no Brasil**, 2013.

BOUAMRANE, K., BONTE, T., SEVAUX, M. and TAHON, C.. **SART: um système d'aide à la décision pour la régulation d'un Réseau de transport bimodal**. Proceedings of the workshop Méthodologies et Heuristiques pour l'Optimisation des Systèmes Industriels, MHOSI 2005, Hammamet, Tunisie, Avril, 2005.

BORNE, P., FAYECH, B., HAMMADI, S., MAOUCHE, S.. **Decision Support System for Urban Transportation Networks**. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics – Part C: Applications and Reviews, Vol. 33, NO 1, February, 2003.

CHIHAI, B. F.. **Approche floue pour la régulation multimodale dans les réseaux de transports urbains en mode perturbé**. Thèse de doctorat, Université de Lille, Décembre, 2002.

CORTÉS, C.E.; SAÉZ, D., MILLA, F., NUÑEZ, RIQUELME, A. E.. **Hybrid predictive control for real time optimization of public transport system's M. operations based on evolutionary multi-objective optimization**. Transportation Research Part C 18 (5), 757-769, 2010.

DELGADO, F., MUNOZ, J.C., GIESEN, R.; CIPRIANO, A.. **Real-time control of buses in a transit corridor based on vehicle holding and boarding limits**. Transportation Research Record 2090, 59-67, 2009.

DELGADO, F., MUNOZ, J.C. e GIESEN, R.. **How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?** Pontificia Universidad Catolica de Chile, Transportation Research Part B 46 (2012) 1202-1217, 2011.

EBERLEIN, X. J.. **Real Time Control Strategies in Transit Operations: Models and Analysis**. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1995.

EBERLEIN, X.J., WILSON, N.H.M., BARNHART, C. e BERNSTEIN, D.. **The Real-Time Deadheading Problem in Transit Operations Control**. TRB, Vol 32, N.o. 2, 1998.

EBERLEIN, X., WILSON, N. H. M. e BERSTEIN, D. H.. **Modeling real-time control strategies in public transport operations**. In Computer-aided Transit Scheduling. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 471 (N. H. M. Wilson, ed.), pp. 325-346, Springer-Verlag, 1999.

EBERLEIN, X., WILSON, N. H. M. e BERSTEIN, D. H.. **The holding problem with real-time information available**. Transportation Science 35 (1), 1–18, 2001.

EZZEDINE, H., BONTE, T., KOLSKI, C., TAHON, C.. Int J. Computers, Communications & Control. ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844, Vol. III No. 3, 2008.

FAYECH, B.. **Régulation des réseaux de transport multimodal: systèmes multi-agent et algorithmes évolutionnistes**. Thèse de doctorat, Université de Lille, 2003.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e PAVANATTO, S. A.. **Monitoramento da operação de transporte público: o caso de Porto Alegre**. ANPET XXIII, Vitória, Espírito Santo, Brasil, 2009.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Sistema de Ajuda à regulação de linhas de transporte coletivo por ônibus – overview**, ANPET XXIV Salvador, Bahia, Brasil, 2010.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Public transport monitoring and control: the case of Porto Alegre, Brasil**. ICTIS, International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, China, 2011.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Estratégias de controle da operação de linhas de ônibus**. ANPET XXVII, Belém, Pará, Brasil, 2013.

LAICHOURE, H.. **Modélisation multi-agent et aide à la décision: application à la régulation des correspondances dans les réseaux de transport urbain**. Thèse de doctorat, Université de Lille, décembre, 2002.

SUN, A. e HICKMAN, M.. **The real-time stop-skipping problem**. Journal of Intelligent Transportation Systems 9 (2), 91–109, 2005.

SUN, A. e HICKMAN, M.. **The holding problem at multiple holding stations**. In: Hickman, M., Mirchandani, P., Voss, S. (Eds.), Computer-Aided Systems, 2008.

SIDI, M. M. O., HAMMADI, S.; HAYAT, S. and BORNE, P.. **Urban Transport Network Regulation and Evaluation: A Fuzzy Evolutionary Approach**. IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 38 N0.2, March, 2008.

SIDI, M. M. O.; HAMMADI, S.; BORNE, P. and HAYAT, S.. **Towards an interactive and effective regulation for urban transport networks**. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004.

SOULHI, A.. **Contribution de l'intelligence artificielle à l'aide à la décision dans la gestion des systèmes de transport urbain collectif**. Thèse de doctorat, Université de Lille 1, 2000.

ZIDI, S.. **SARR: System d'aide a la regulation et la reconfiguration des reseaux de transport multimodal**. Université des Sciences et Technologies de Lille, 2007 Thèse de Salah Zidi, 2007.

6 ARTIGO 4: “ESTRATÉGIA DE CONTROLE DO HEADWAY EM TEMPO REAL: ESTUDO DE CASO”

Adaptado do Artigo publicado na XXVIII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes

Maria Cristina Molina Ladeira

Empresa Pública de Transporte e Circulação
Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernando Dutra Michel

Luiz Afonso dos Santos Senna

Laboratório de Sistemas de Transportes - Lastran
Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Antônio Augusto Dornelles Lovatto

Consórcio Sistema Transportador Sul

RESUMO

A utilização de novas tecnologias, como GPS e AVL, tornou possível o desenvolvimento de modelos mais complexos de controles operacionais e implantação de estratégias de regulação de linhas em tempo real. Regulação é o processo de adequação em tempo real das tabelas horárias nas condições reais de operação. Ela é realizada por um ou vários operadores chamados reguladores, que adotam medidas de regulação em caso de perturbação. O presente artigo apresenta um estudo de caso de aplicação de estratégia de controle do *headway* em linhas de ônibus em tempo real. A metodologia é proposta para minimizar os efeitos das anormalidades durante a operação e se caracteriza pela utilização de um sistema de monitoramento do tipo AVL, com uma análise e uma solução construída manualmente pelo regulador.

ABSTRACT

The use of new technologies such as GPS and AVL made possible the development of more complex models of operational controls and implementation of strategies for regulating lines in real time. Regulation is the process of adapting real-time timetables in real operating conditions. It is performed by one or more operators called regulators, adopting regulatory

measures in case of disruption. This article presents a case study application of control bus operating in real-time strategy. The methodology is proposed to minimize the effects of disruptions during operation and is characterized by the use of a type AVL tracking system with an analysis and a manually solution constructed by the regulator.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da mobilidade das pessoas é um desafio para a sociedade, o que leva a uma preocupação constante em busca de soluções adequadas. Maiores níveis de pontualidade e regularidade proporcionam maior satisfação aos usuários bem como podem recuperar a demanda e atrair novos usuários. O benefício social advindo do sistema de monitoramento e controle é a redução das perdas relacionadas com o tempo de deslocamento e de espera nas paradas.

O planejamento da operação da rede de transporte é realizado antecipadamente, e se baseia em previsões das condições de circulação, dos tempos de viagens e da demanda. Assim, é difícil de seguir a tabela horária extraída desse processo em decorrência do aparecimento de fenômenos complexos e aleatórios que afetam o tráfego na rede. A fim de evitar que a qualidade de serviço se deteriore, as perturbações provocadas por tais fenômenos devem ser tratadas rapidamente, através de um processo de regulação.

A regulação é o processo de adequação em tempo real das tabelas horárias nas condições reais de operação. Ela é realizada por um ou vários operadores chamados reguladores, que adotam medidas de regulação em caso de perturbação. A ação de regulação age somente sobre os horários de passagem dos veículos. Contudo, no caso de perturbações mais complexas e difíceis de controlar, a regulação não pode propor nenhuma decisão de regulação, mas ela pode refazer um planejamento total ou parcial da rede em tempo real.

O processo de regulação envolve o subsistema de funcionamento da linha e o de regulação. O primeiro refere-se à operação propriamente dita e é composto por um conjunto de variáveis e decisão como veículos, carregamento e número de passageiros por parada. O subsistema de regulação analisa as diferenças entre os objetivos da qualidade do serviço e a realidade aplicando ações corretivas possíveis considerando as restrições ligadas à operação.

A utilização de *Intelligent Transportation System* - ITS, através de uso de Sistemas Avançados de Transporte Público, tanto na ajuda à operação quanto na informação ao usuário e é estratégico na gestão de transporte. Os resultados observados a partir do seu uso são encorajadores, pois possibilitam melhores velocidades operacionais, recuperação e fidelização do passageiro. Além disso, reduções em gastos de manutenção, consumo de combustível, acidentalidade, reclamações, emissão de CO₂, dentre outras.

A capacidade de geração de informações mais acuradas e em tempo real advindas do uso da tecnologia propicia a identificação mais precisa da posição relativa da frota, permitindo o controle e a regulação do *headway*. O ITS possibilita a troca de mensagens entre os motoristas e os centros de controles operacionais, funcionalidade imprescindível para a regulação da operação em tempo real.

Os sistemas de monitoramento que tratam as informações advindas do *Global Positioning Systems* (GPS) são chamados de Localização Automática de Veículo (AVL - *Automatic Vehicle Location*). Posteriormente ao nascimento dos sistemas AVL, muitos trabalhos foram desenvolvidos para o controle e a regulação das linhas de ônibus. Estes assumem que conhecem a localização, em tempo real, de todos os veículos em uma linha. Contudo, vários trabalhos utilizam modelos de simulação para testar os métodos de regulação propostos.

Este artigo tem como objetivo propor uma metodologia de regulação manual do *headway* e aplicá-la em um caso real. Além disso, caracteriza-se pela utilização de um sistema de monitoramento tipo AVL com análise e solução construída manualmente pelo operador.

O presente artigo está estruturado em cinco seções. A primeira seção trata da introdução do tema através de uma contextualização da utilização de *Intelligent Transportation System* - ITS na gestão do transporte. A segunda exhibe um referencial teórico sobre regulação. A terceira descreve a metodologia proposta para o estudo de caso, cujo objetivo é ajudar na tomada de decisão a fim de minimizar os efeitos das anomalias apresentadas na operação de uma linha. A quarta seção apresenta o estudo de caso, aplicação, ferramentas e avaliação dos resultados. E, finalmente, na quinta seção são apresentadas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo autores como Laichour (2002), Zidi (2007), Ladeira et al. (2010 e 2014), o objetivo da regulação é identificar as causas das anormalidades durante a operação, pois provocam desvios no *headway*. É importante encontrar o ponto de início da anormalidade para agir antecipadamente a fim de evitar o progresso da instabilidade do *headway*. Desvios de *headway* frequentes e sistemáticos geram efeitos danosos à operação da linha, tais como: formação de comboios, atrasos, superlotação, aumento do tempo de permanência na parada, diminuição da confiabilidade da programação, perda de conexão com outras linhas, dentre outros.

Segundo Matias et al. (2012), a partir de dados históricos é possível uma análise das deformações do *headway*, onde ele identifica a existência de padrões relevantes nos eventos de formação de comboios. Os padrões identificados são alertas que indicam uma causa sistemática da formação dos mesmos e, esta informação, deve ser usada para melhorar a programação e a antecipação de ações na operação das linhas. Conclui também que o objetivo não é eliminar esses eventos, mas sim mitigá-los.

Ceder (2007) aponta as seguintes manobras de regulação em tempo real para minimizar as deformações do *headway*: (i) retenção (*holding*): atrasar um ônibus quando este está à frente da programação, ou quando o espaçamento entre veículos está fora do padrão; (ii) pular parada (*stop skipping*): não parar em todas as paradas da linha; (iii) giro curto (*short-turning*) retornar o veículo antes do ponto final da linha; (iv) viagem expressa (*deadheading*): inclusão de um veículo expresso direto ao um determinado ponto da linha; (v) veículo reserva: consiste na inserção de um veículo extra na linha quando há interrupções inesperadas; (vi) ultrapassar veículo; (vii) modificação de tempo de percurso: aumentar ou diminuir a velocidade ao longo do itinerário ou entre etapas da linha; (viii) desembarque: parar nas paradas somente para desembarque; (ix) deriva (*dispatching*): avançar ou recuar uma ou varias partidas sem suprimir ou inserir outra; (x) exclusão ou inclusão de uma partida; (xi) retomada: espaçar os horários de partida dos veículos em um terminal seguida de uma supressão ou inclusão equilibrando os intervalos entre as saídas dos veículos para evitar uma lacuna; (xii) transbordo: transferência de passageiros para outro veículo.

As deformações do *headway* e as manobras de regulação são tratadas a partir do monitoramento das linhas que atualmente é realizado por meio de sistemas que utilizam como base o *Global Positioning Systems* (GPS) de cada veículo em operação na sua linha. Os sistemas monitoramento que tratam as informações advindas do GPS são chamados de Localização Automática de Veículo (AVL - *Automatic Vehicle Location*).

Segundo Bartholdi e Eisensein (2012) há um marco tecnológico que divide os trabalhos de controle e regulação dos *headways* antes e depois do AVL. Após o AVL, os modelos assumem o conhecimento preciso e em tempo real da localização de todos os veículos em uma linha, de suas velocidades, da comunicação entre veículos (Daganzo e Pilachowski, 2011), do número de passageiros que chegam às paradas (Eberlein et al., 2001), e a comunicação entre os ônibus e as paradas como é o caso de Zhao et al. (2003). Antes do AVL eram usados dados históricos da operação sem possibilidade de monitoramentos precisos em tempo real.

SAFEBUS (2014) é um software de monitoramento e gerenciamento de frotas. Trata-se de um sistema integrado de ITS, AVL e telemetria. Através de um computador de bordo, conectado à rede GPRS, os dados são enviados para uma central de operações que processa as informações. O sistema compreende o acompanhamento *online* da localização do veículo, cumprimento de horário, alteração de itinerário, horários previstos e realizados, *headway* entre carros, pontos de parada e controle, tempo de baliza, passagem por pontos de referência, indicadores operacionais, estado do veículo (em operação, em atraso, adiantado, em pane mecânica, entre outros).

O sistema disponibiliza via web duas interfaces gráficas diferentes. Afora o monitoramento propriamente dito, permite o envio e recebimento de mensagens pelo condutor, alertas de pânico, e outras informações cadastrais tanto do veículo quanto da infraestrutura da linha. Além disso, apresenta automaticamente o *headway* e distâncias entre dois veículos consecutivos que são dados essenciais para a ação de regulação (Bittencourt, 2012).

Para o tratamento de anomalias encontradas na operação da linha, há três maneiras para a construção da solução: manual onde o regulador é o único responsável da tomada de decisão; semi-automático onde o regulador interage com algoritmos (por exemplo, ele pode escolher

uma lógica de regulação); e o automático onde a solução é proposta automaticamente pelo sistema.

Os métodos usados para tratar o problema de regulação utilizam varias abordagens como, por exemplo: a teoria de conjuntos nebulosos (fuzzy) (Soulhi, 2000 e Chihai, 2002); abordagem multi-agentes (Laichour, 2002; Bauomrane et al., 2005); multi-agentes integrando um algoritmo genético (Fayech, 2006); simulação (Rubiano, 2012) entre outros. Mais informações referentes aos métodos de resolução são apresentadas em Ladeira et al. (2014).

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para o estudo de caso, com o objetivo de ajudar na tomada de decisão para minimizar os efeitos das anomalias apresentadas na operação de uma linha, se caracteriza pela utilização de um sistema de monitoramento e a construção de uma solução manualmente. Neste caso, o regulador (operador) tem a responsabilidade de monitorar a linha para identificar anomalias, analisá-las e propor soluções, sem apoio de módulo automático. Igualmente, o monitoramento da linha, pelo regulador, deverá ser feito num ambiente isolado das rotinas operacionais da empresa prestadora do serviço, visto que a atenção do mesmo na identificação de alertas e na busca de uma solução é complexa e necessita de foco para a tomada de decisão.

A metodologia proposta está dividida em cinco fases. A primeira é identificar, a partir do sistema de monitoramento *online*, as anomalias na operação da linha. A segunda é analisar a natureza das anomalias por meio de dados *online* do monitoramento, históricos da operação da linha, dados de fluxo na rede viária, entre outras informações disponíveis. A terceira é a análise de soluções utilizando-se de uma lista, previamente desenvolvida, que contém as soluções possíveis a serem adotadas. Já a quarta fase, o regulador escolhe a solução a ser adotada. E, finalmente na quinta fase, implanta a solução escolhida por meio de mensagens e/ou alertas enviados à tripulação e à fiscalização, bem como avalia os resultados. A Figura 11 apresenta a metodologia manual proposta para a regulação operacional.

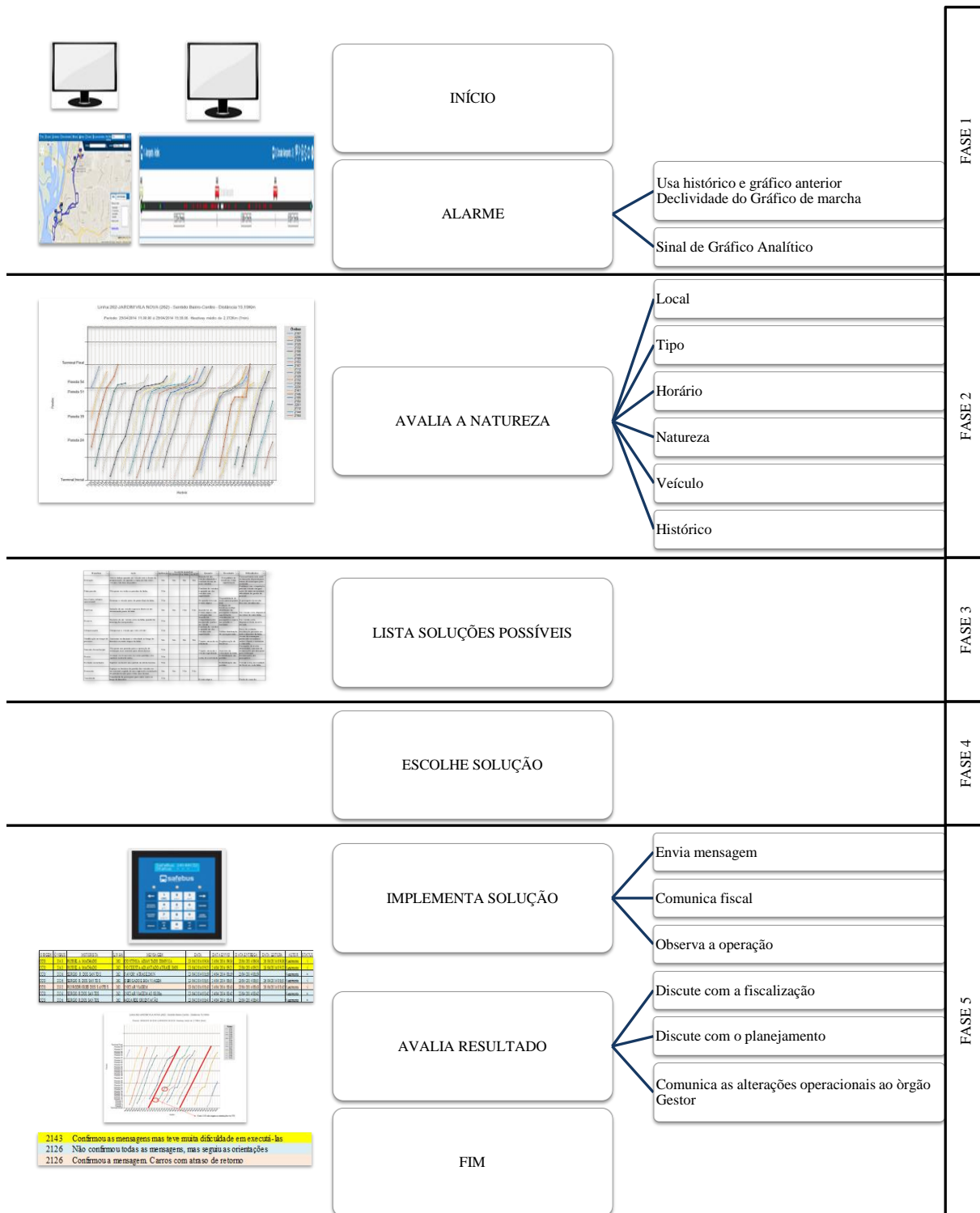


Figura 11: Metodologia manual proposta para a regulação operacional

Os resultados esperados da aplicação da metodologia proposta são: (i) identificação das manobras de regulação possíveis de serem aplicadas na linha em tempo real; (ii) verificação das dificuldades e necessidades para a regulação; (iii) equalização da distribuição do carregamento da linha; (iv) melhoria no atendimento ao usuário; (v) diminuição da formação de comboios e vazios entre viagens; (vi) aumento do Índice de Cumprimento de Viagens - ICV; e (vii) redução do número de reclamações.

4 ESTUDO DE CASO

A metodologia proposta foi aplicada em abril e maio de 2014 em uma linha Piloto, a Linha 262 – Jardim Vila Nova, que possui uma extensão de 30,05km; opera com uma frota de 10 veículos e capacidade média de 87 passageiros; transporta 9.046 passageiros/dia; tempo de ciclo de 92min; velocidade operacional média de 20 km/h; fator de renovação variando entre 1,1 a 1,42 e taxa de ocupação de 78%; intervalo de saída de 10 min, Figura 12.



Figura 12: Características operacionais da Linha 262 Jardim Vila Nova

O ambiente para a aplicação da metodologia proposta de regulação manual foi instalado dentro do Centro de Controle de Operação - CCO, do Consórcio STS, o qual já utiliza software de monitoramento chamado SAFEBUS. O CCO possui seis estações de trabalho e funciona diariamente das 05h00min às 24h00min em dois turnos de trabalho. Cada estação é comandada por um regulador que monitora simultaneamente em torno de 80 veículos. A estação é composta por dois monitores os quais apresentam visualmente os módulos analítico e sintético do SAFEBUS. O regulador é o responsável pela decisão de qual manobra é a necessária e a implementa através de seu sistema de comunicação com os motoristas através de mensagens via computador de bordo e à fiscalização da empresa.

Considerando que a ação de regulação necessita de agilidade, visão global da linha em tempo real e tratamento das informações de forma imediata, foi necessário o desenvolvimento de uma nova ferramenta de visualização no módulo do monitor sintético. A solução encontrada foi utilizar uma análise de espaço versus tempo o “gráfico de marcha da linha” em tempo real.

O gráfico de marcha apresenta no eixo das abscissas o tempo e nas ordenadas os pontos de paradas. Além disso, a inclinação do traçado de cada veículo no gráfico representa a velocidade, Figura 13. A partir do gráfico é possível verificar os pontos de formação de comboios, de espaçamento, de estrangulamento da linha onde se identifica, claramente, o local onde há perda de velocidade e conseqüentemente aumento do tempo de viagem, conforme Figura 14.

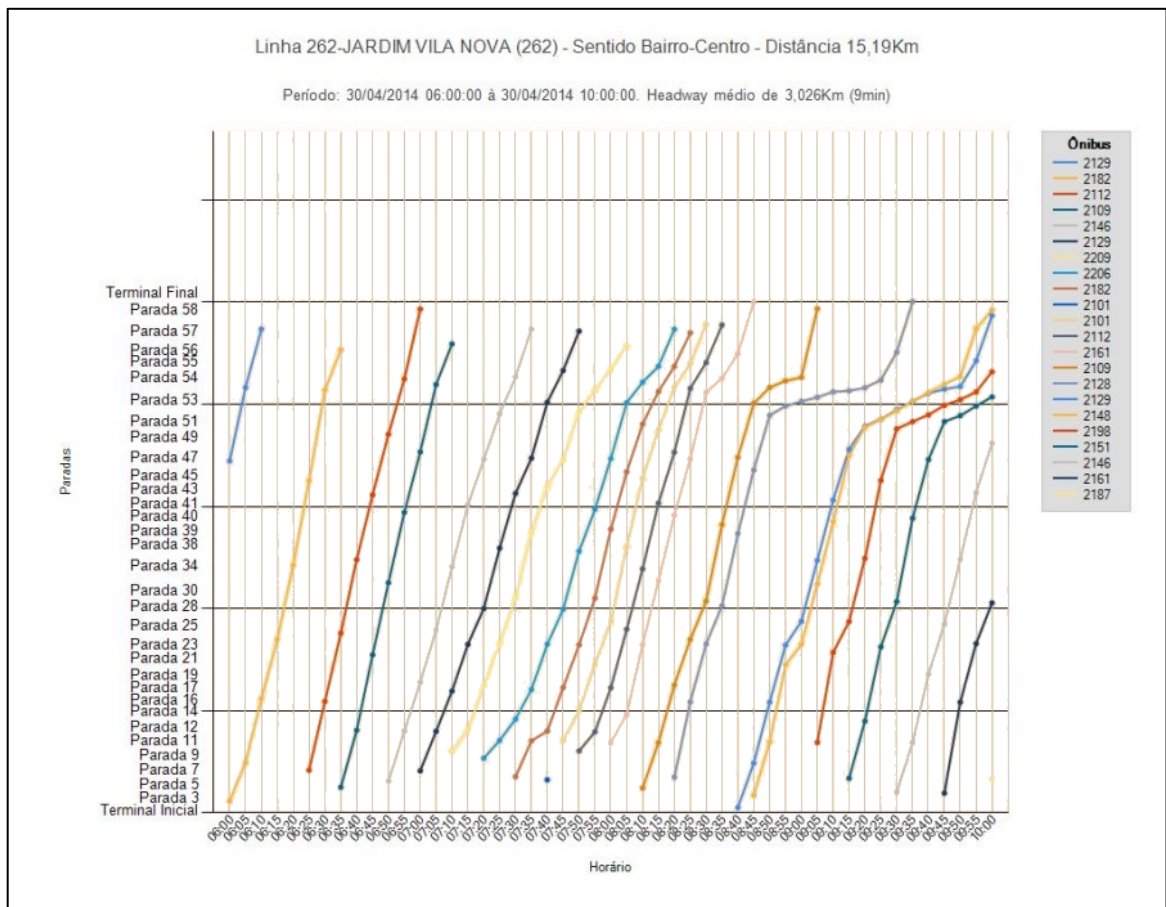


Figura 13: Gráfico de Marcha em tempo real

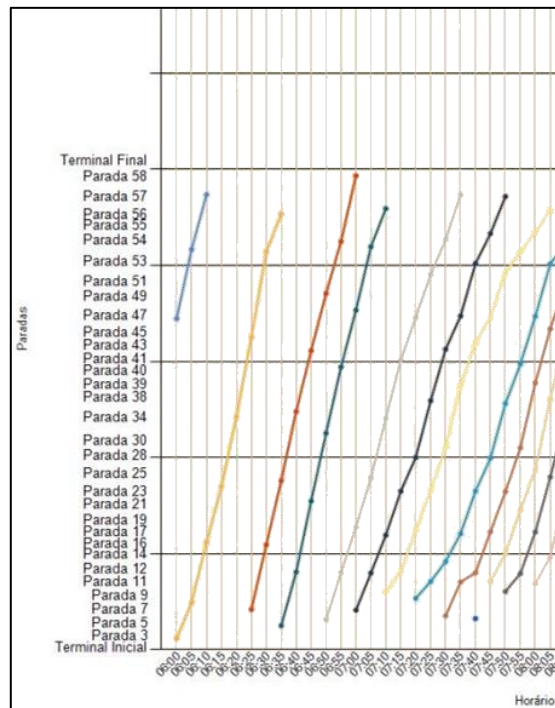


Figura 14: Detalhe do gráfico de marcha da linha em tempo real

Foi necessário também o treinamento do uso *online* do sistema de monitoramento vis à vis das estratégias de regulação principalmente dos motoristas, dos reguladores propriamente dito, bem como dos fiscais de trechos.

As manobras de regulação, aplicadas para este estudo de caso, consideram as seguintes premissas: (i) todas as manobras são assistidas; (ii) desconsideraram a capacidade dos veículos; (iii); sem restrição no número de embarque de passageiros; (iv) local das manobras: nos terminais, ao longo da linha e em ambos; e (vi) utilização do módulo de comunicação entre CCO e motorista.

Para o estudo de caso foram utilizadas as manobras de retenção, expressa, modificação do tempo de percurso e retomada (conforme definido no capítulo 2). O Quadro 8 apresenta o mapa de decisão das manobras de regulação aplicáveis.

Quadro 8: Mapa de decisão das manobras de regulação

Manobra	Ação	Local da manobra			Quando	Resultado	Dificuldades
		Terminal	Em linha	Ambos			
Retenção	Atrasar ônibus quando um veículo está à frente da programação ou quando o espaçamento entre veículos está fora do padrão;	Sim	Sim	Sim	Quando há um veículo adiantado e comboio de um ou mais veículos	Reequilíbrio do <i>headway</i> , evitar superlotação	Terminal bairro sem sinal; reclamação do passageiro; leitura da mensagem pelo motorista
Expressa	Inclusão de um veículo expresso direto ao um determinado ponto da linha	Sim	Não	Não	Quando há um evento atípico e de carregamento	Redução do <i>headway</i> , melhor distribuição do passageiro evitando superlotação	Ter veículo extra disponível ou retirar de outra linha
Modificação no tempo de percurso	Aumentar ou diminuir a velocidade ao longo do itinerário ou entre etapas da linha	Sim	Sim	Sim	Viagem atrasada ou adiantada	Regularização do <i>headway</i>	Aceite da mensagem, porém não executa a ordem

Manobra	Ação	Local da manobra			Quando	Resultado	Dificuldades
		Terminal	Em linha	Ambos			
Retomada	Espaçar os horários de partida em um terminal após uma supressão ou inclusão de veículos	Sim	Não	Não	Após a interrupção do serviço	Redistribuição do headway, evitar desatendimento e superlotação	Terminal bairro sem sinal; leitura da mensagem pelo motorista

Em função da não implantação do sistema de informação em tempo real nas paradas da linha, não foram aplicadas as manobras de pular parada, giro curto e ultrapassagem.

Mesmo que o sistema tenha os horários programados das saídas dos veículos, o regulador tem que confrontar os horários de partida (planejado) com as mensagens do sistema (realizado). A principal atividade do operador é monitorar visualmente, na sua estação de trabalho, o desenrolar da operação e, sempre que necessário, entrar em contato com os fiscais do trecho. Desta forma, identifica e analisa as anomalias, decide qual a manobra mais adequada e a implementa. Simultaneamente, o regulador envia mensagens aos motoristas como: iniciar viagem; atrasar; adiantar; aguardar; afastar-se do carro da frente. Após os períodos de pico, o regulador consolida as informações em relatório, identifica os pontos críticos, as principais anormalidades encontradas e, caso necessário, gera uma ocorrência de comportamento do motorista, e/ou uma proposta à área de planejamento operacional, e/ou um aviso para a área de manutenção.

Para fins de avaliação das anomalias e das manobras de regulação aplicadas, o regulador analisa os gráficos de marcha que apresentam o comportamento da operação dos veículos na linha. Essa ferramenta é de fácil visualização dos possíveis comboios ou espaçamentos, bem como, a distribuição do *headway* entre os veículos. Na sequência são apresentados os gráficos de marcha de três dias típicos da operação, os dias 28, 29 e 30 de abril de 2014, segunda, terça e quarta respectivamente.

Observa-se que no dia 28/04/2014, as perturbações iniciaram às 07h15min na parada 23 apresentando pontos de lentidão onde os veículos chegam a ficar parados quase 10 minutos, Figura. Na parte da tarde a operação é mais homogeneia, Figura 16. No dia 29/04/2014, as

perturbações ocorreram a partir da Parada 51, Figura 17. No detalhe do ponto crítico é possível identificar uma onda de atraso e às 13h45min há três ônibus trafegando em comboio. Por fim, o gráfico do dia 30/04/2014 demonstra que os problemas começam após as 08h10min sendo que às 08h40min houve a formação de comboio, Figura 18. Na parte da tarde observam-se comboios às 17h05min e 17h45min, e logo após um vazio de 40 minutos, Figura 19. A partir da análise individual de cada gráfico, o regulador tem elementos para agir e implementar as manobras de regulação do *headway*.

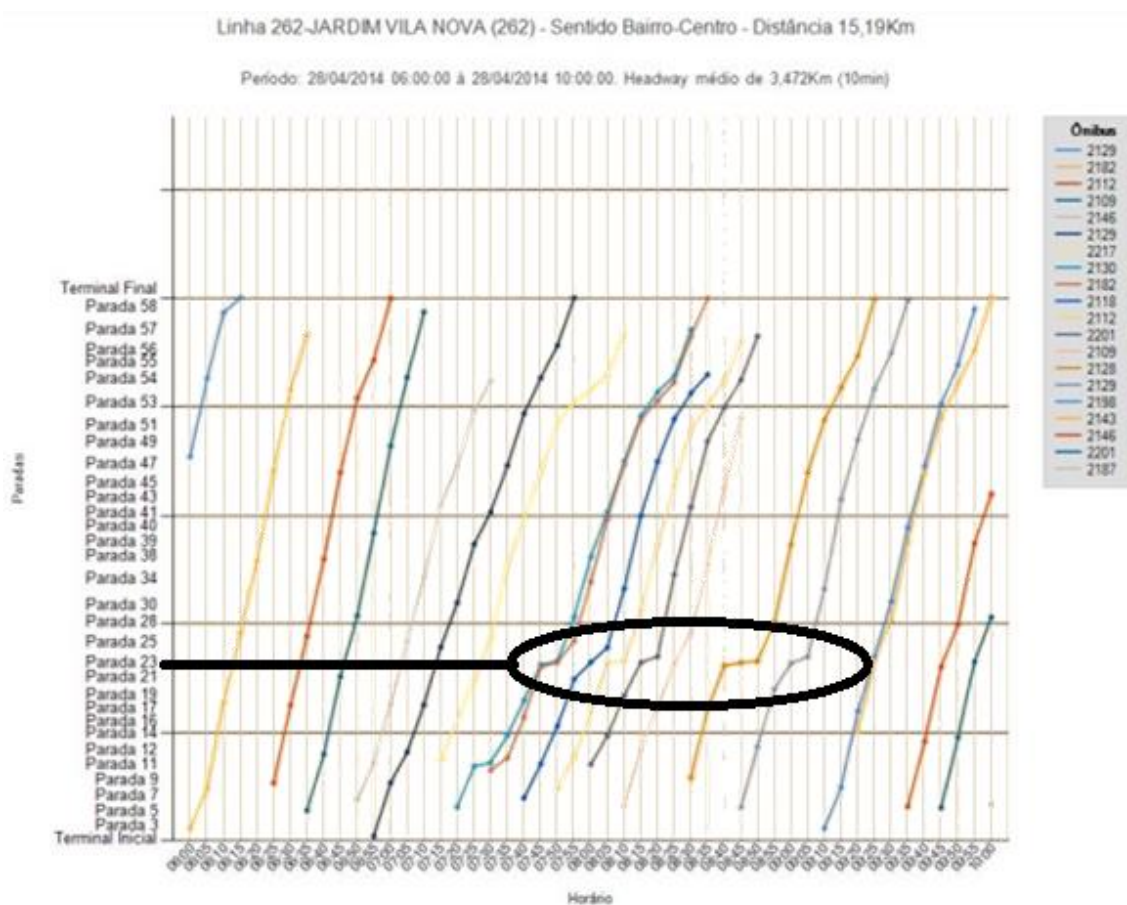


Figura 15: Dia 28/04/2014, Pico Manhã B-C, das 06:00 às 10:00

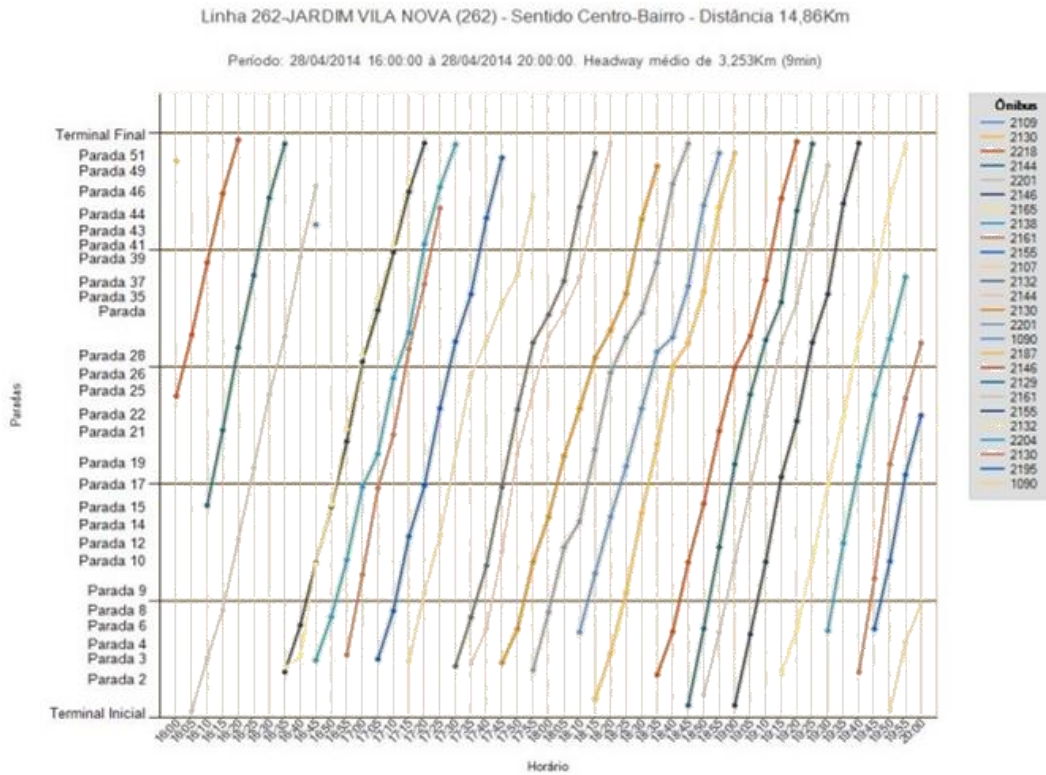


Figura 16: Dia 28/04/2014, Pico Tarde, C-B, das 16:00 às 20:00

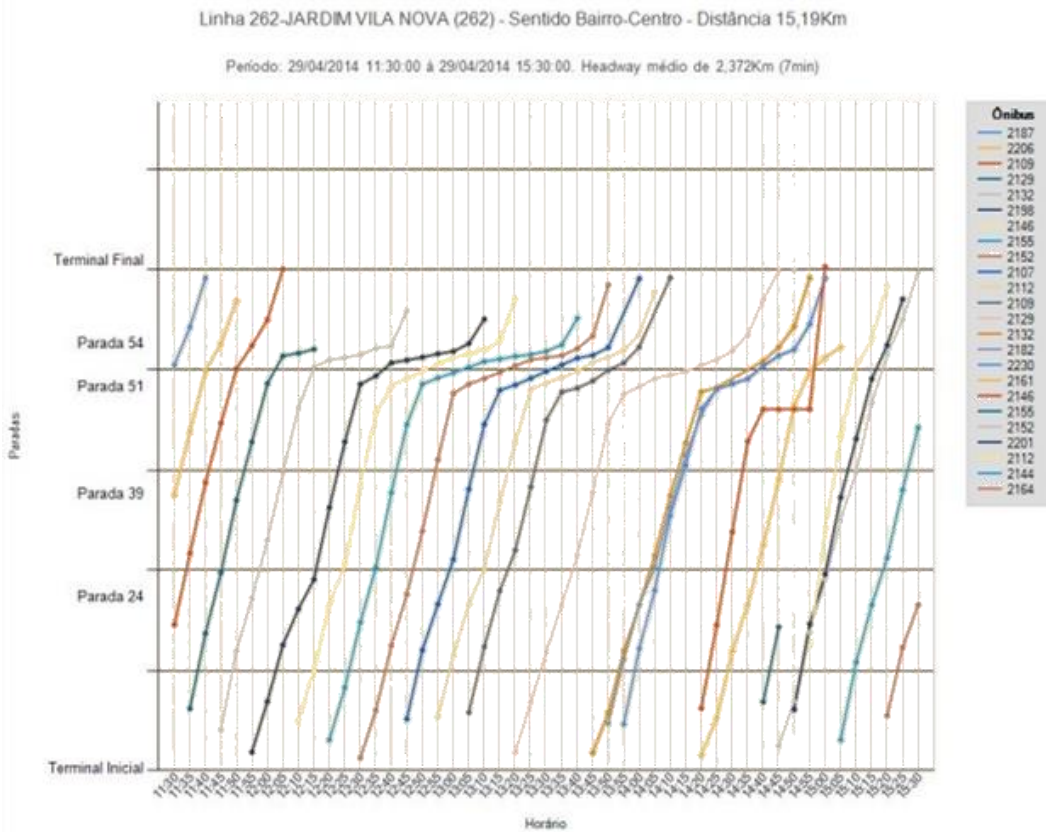


Figura 17: Dia 29/04/2014, B-C, das 11:30 às 15:30

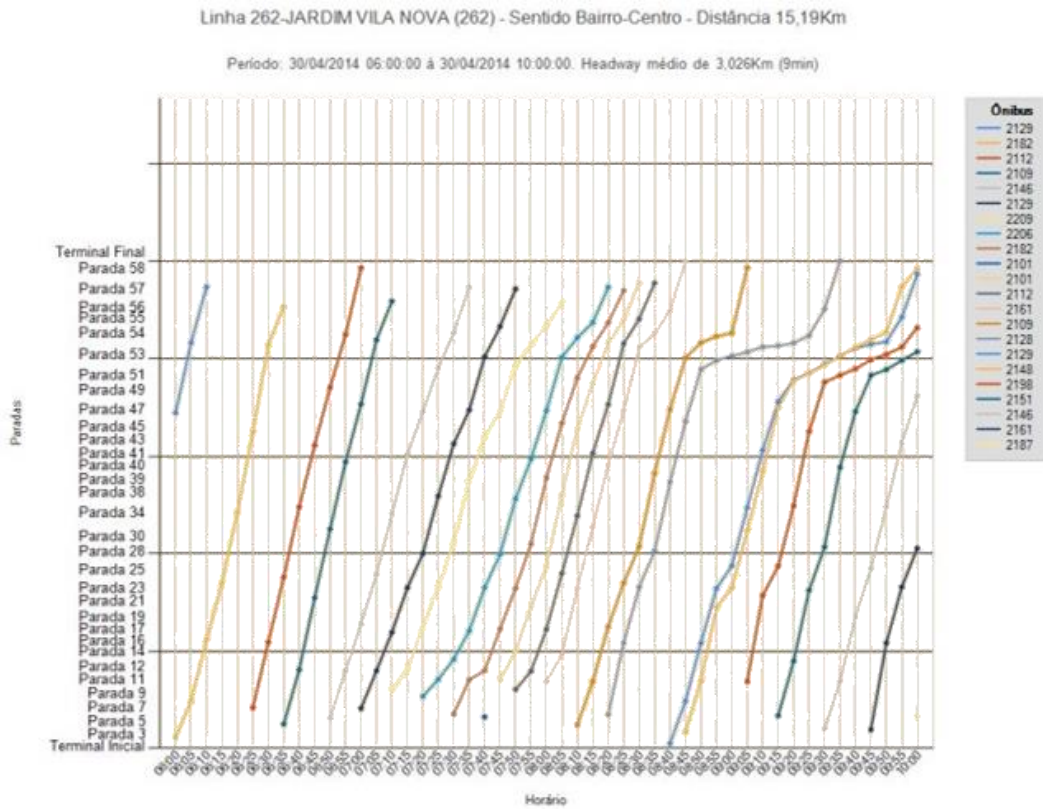


Figura 18: Dia 30/04/2014, Pico Manhã B-C, das 06:00 às 10:00

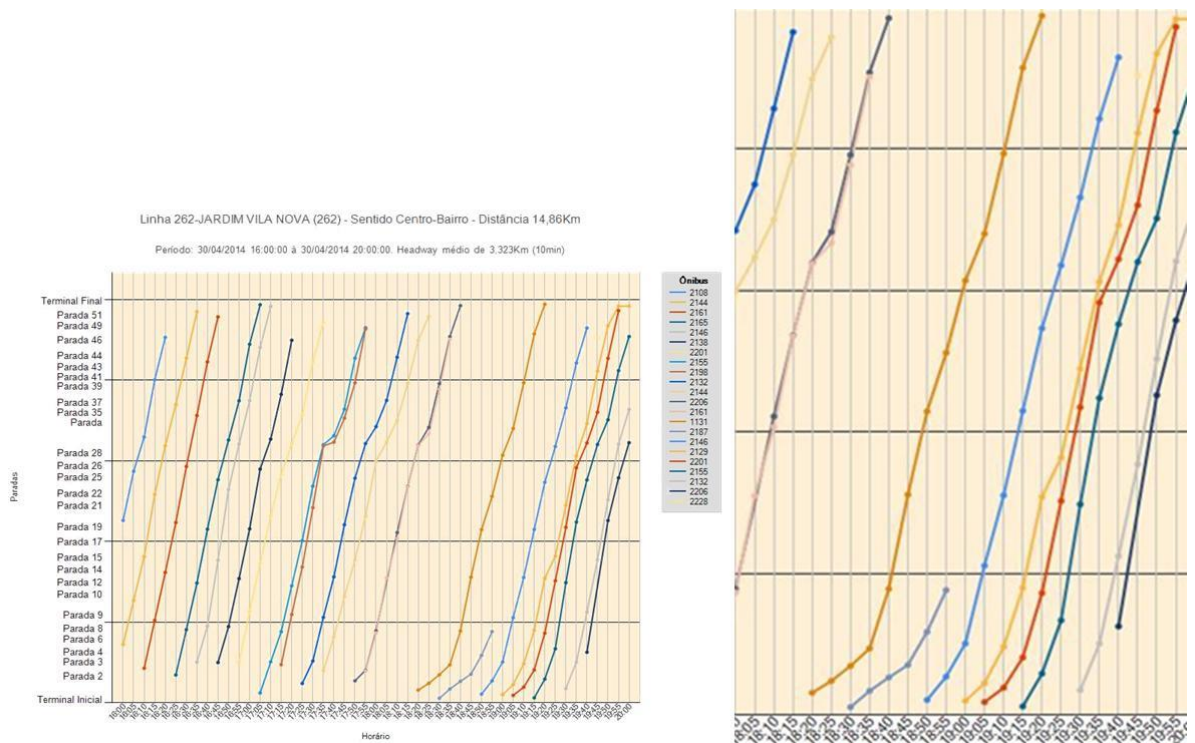


Figura 19: Dia 30/04/2014, B-C, das 16:00 às 20:00

A partir da análise sistemática dos gráficos de marcha, o regulador identificou três pontos críticos da linha no sentido bairro-centro e um no sentido centro-bairro, todos em cruzamentos de grande volume veicular. Como apoio utilizou a planilha “acompanhamento diário dos pontos críticos na operação”, cujo resumo mensal é apresentado na Tabela 1, a seguir. Chama a atenção na tabela o fato de que, no Ponto D, sentido centro-bairro, no horário de pico da tarde, no mês de maio, houve em média oito anomalias por dia.

Tabela 1: Média diária mensal de anomalias dos pontos críticos na operação da linha

Sentido		Bairro - Centro			Centro - Bairro
Faixa Pico		Das 06h00min às 09h30min			Das 17h00min às 20h00min
Ponto Crítico	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D	
Março	1,7	2,3	2,5		
Abril	1,8	2,4	2,6	4,5	
Maió	1,3	1,5	1,9	8,1	

Em alguns casos, o regulador identificou que a anomalia (distúrbio do *headway*) era decorrente da própria tripulação. Neste caso, as mensagens enviadas não foram lidas pelo motorista ou, eram lidas, porém este não as obedecia. A substituição da tripulação apresentou resultados positivos, retornando a curva do gráfico de marcha a sua normalidade, conforme a Figura 20.

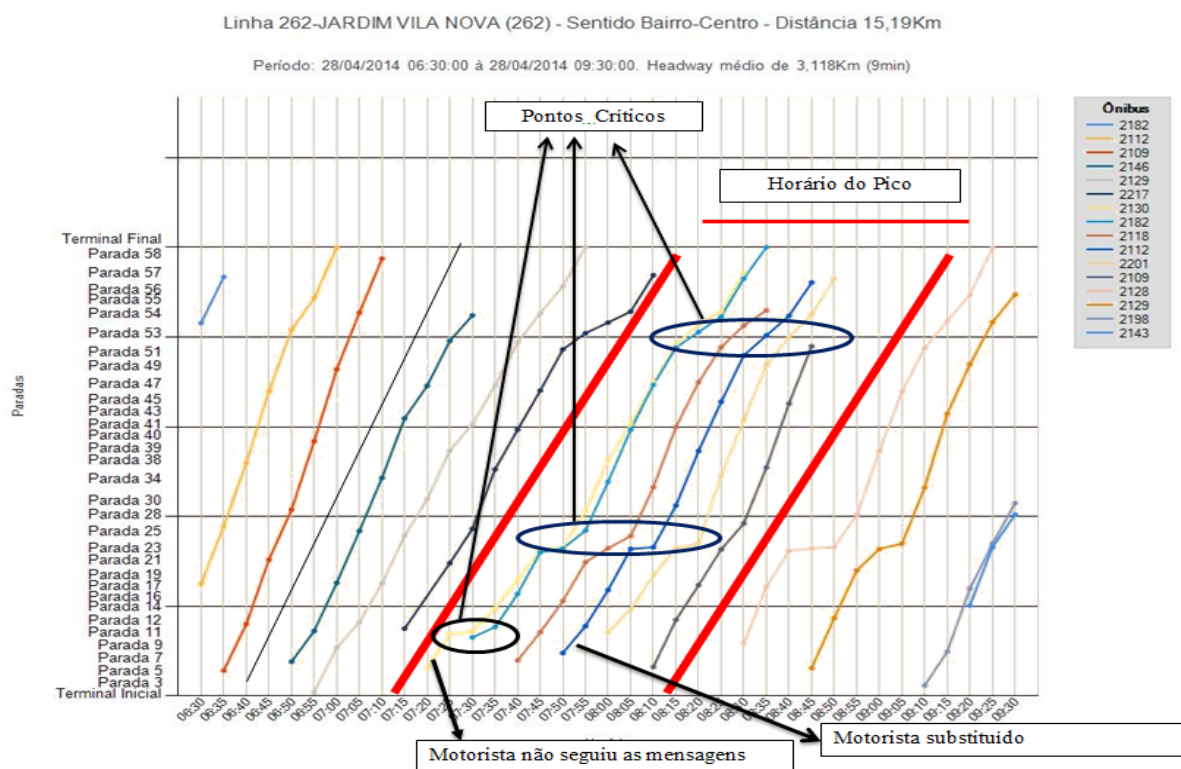


Figura 20: Gráfico de Marcha da Operação

Outro problema identificado foi que, embora a mensagem tenha sido lida pelo motorista, o mesmo não consegue executar a manobras proposta pelo regulador. Esse fato pode ser explicado em função do elevado fluxo de tráfego no local da anomalia e, o mesmo não ter sido considerado pelo regulador.

O cruzamento do gráfico de marcha com relatórios de passageiros por viagem, no caso de comboio, confirma o conceito de que há uma superlotação nos primeiros veículos do comboio e uma baixa ocupação nos veículos subsequentes, prejudicando assim o nível de serviço da linha.

Certas perturbações exógenas à operação da linha, como acidentes, manifestações, e interferem diretamente no desempenho da mesma, pois, embora aplicada a manobra de regulação, a anormalidade não foi revertida. É importante manter um controle das perturbações do sistema para que se possa fazer uma análise justa e adequada de outras manobras para minimizar esse tipo de perturbação.

O treinamento da tripulação e do regulador foi importante para o sucesso da regulação operacional da linha. Além disso, a introdução do método manual de regulação da linha provocou uma mudança de atitude dos motoristas e do pessoal da operação, elevando a pontualidade e a regularidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da transmissão dos dados compromete a implantação de um sistema de informação ao usuário, pois afeta a credibilidade do sistema de regulação. No estudo de caso, observou-se uma perda de transmissão de dados na ordem de 10%. Assim, manobras que necessariamente o usuário deve ser informado não puderam ser implantadas.

As informações advindas do sistema servem de *input* para o regulador elaborar planos para o reestabelecimento da normalidade da operação. Deve existir um conjunto claro de procedimentos a serem seguidos quando uma anomalia é identificada. Além disso, fica evidente que as manobras de regulação devem ser implementadas antes do evento (comboios, espaçamentos, entre outras) acontecer, pois a variação dos atrasos tende a aumentar para os veículos que vem atrás. .

A questão principal é saber se existem soluções para os problemas de regularidade do serviço, e em caso positivo, se são exequíveis em tempo real. Em linhas com headways muito pequenos é difícil a regulação face ao impedimento físico frente a uma anormalidade significativa.

Há necessidade de uma evolução na aplicação dos modelos de regulação em casos reais. É imperativo entender e identificar onde ocorrem as perturbações do *headway*, buscar esse ponto através de sistemas de alertas que possam ajudar a prevenir a deformação (antever a anomalia). As causas crônicas e conhecidas devem ser minimizadas pelo planejamento e por medidas operacionais, não ficando no encargo do sistema de regulação.

Apesar do monitoramento em tempo real, que indica de maneira dinâmica o comportamento do veículo quanto a atrasos, falhas e operações indevidas é necessário um sistema integrado que possa dar apoio à regulação das linhas de forma automática. Contudo, a relação entre o

sistema e o motorista nunca pode ser desconsiderada, visto que, uma solução ótima, na prática pode ser de difícil implantação.

O que se nota, na maioria dos sistemas de monitoramento, é a previsão de passagem de um veículo, num ponto qualquer, considerando uma serie histórica de dados. O desafio é fazer uma projeção dos *headways* entre os veículos para desenvolver uma estratégia de regulação a ser adotada com antecipação e não esperar a anomalia chegar.

Agradecimentos

Os autores são profundamente agradecidos a Adriano Rodenbusch da Empresa SAFEBUS e à equipe do Consórcio Sistema Transportador Sul de Passageiros – STS que contribuíram para a aplicação e aprimoramento da metodologia de regulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTHOLDI III, J.J.; EISENSTEIN, D.D.. **A self-coordinating bus route to resist bus bunching**. *Transportation Research Part B* 46 (4), 481-491, 2012.

BITTENCOURT, G. R.. **Sistemas Avançados de Transporte Público: Análise das Tecnologias Empregadas na Cidade de Porto Alegre**. Trabalho de Diplomação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do Título de Engenheiro Civil, 2012.

BOUAMRANE, K., BONTE, T., SEVAUX, M. AND TAHON, C.. **SART: um système d'aide à la décision pour la régulation d'un Réseau de transport bimodal**. *Proceedings of the workshop Méthodologies et Heuristiques pour l'Optimisation des Systèmes Industriels, MHOSI 2005*, Hammamet, Tunisie, Avril, 2005.

CEDER, A.. **Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice**. Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 640 p., 2007.

CHIHAIIB, B. F.. **Approche floue pour la régulation multimodale dans les réseaux de transports urbains en mode perturbé**. Thèse de doctorat, Université de Lille, Décembre, 2002.

DAGANZO, C.F. E J. PILACHOWSKI. **Reducing bunching with bus-to-bus cooperation**. *Transportation Research Part B* 45 (1), 267–277, 2011.

DELGADO, F.; J.C. MUNOZ E R. GIESEN. **How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?** Pontificia Universidad Catolica de Chile, Transportation Research Part B 46 (2012) 1202-1217, 2011.

EBERLEIN, X.-J.; N.H.M. WILSON E D. BERNSTEIN. **The holding problem with real-time information available.** Transportation Science 35 (1), 1–18, 2001.

FAYECH, B.. **Régulation des réseaux de transport multimodal : systèmes multi-agent et algorithmes évolutionnistes.** Thèse de doctorat, Université de Lille, 2003.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Sistema de Ajuda à regulação de linhas de transporte coletivo por ônibus - overview.** ANPET XXIV Salvador, Bahia, Brasil, 2010.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Estratégias de controle da operação de linhas de ônibus.** ANPET XXVII, Belém, Pará, Brasil, 2013.

LADEIRA, M. C. M.; MICHEL, F. D.; SENNA, L. A. S.. **Estratégia de regulação de linhas em tempo real: o caso de Porto Alegre.** XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Transito Transporte y Logística (PANAM 2014) Santander, Chile, 2014.

7 CONCLUSÕES

Esta dissertação apresenta, sob a forma de artigos, uma revisão bibliográfica a respeito sobre o uso do ITS nos sistemas de transporte; estratégias de controle da operação de linhas de ônibus; modelos de resolução de problemas de regulação, abordagens e estratégias. Apresenta, ainda, uma metodologia de regulação da operação de linhas de transporte público, através do controle manual do *headway* em tempo real e sua aplicação em uma linha. Este capítulo apresenta as principais conclusões deste estudo e recomendações para trabalhos futuros.

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

No contexto atual do trânsito das grandes cidades não basta apenas pensar em ampliação da infraestrutura para melhorar circulação dos veículos. É necessário também investir na gestão do tráfego com tecnologia e uso de ITS. As aplicações de ITS têm-se demonstrado válidas e fundamentais para apoiar a gestão e a operação dos serviços de transporte coletivo por ônibus. Os dados coletados sobre a operação e condições do tráfego são determinantes para tomada de decisão face aos eventos apresentados, portanto a sinergia entre o tráfego (circulação) e o serviço de transporte coletivo deve ser natural.

Um dos maiores desafios para o Brasil na atualidade é a ausência de uma arquitetura padrão de ITS, uma vez que garante um mercado aberto para os serviços e equipamentos; padrão entre os componentes; economia de escala na produção e distribuição; além de assegurar a coerência da informação disponibilizada para o usuário final. Neste caso, a compatibilidade está garantida; assegura a interoperabilidade dos componentes, mesmo de diferentes marcas; permite um nível adequado de independência tecnológica, além de permitir novas tecnologias; e, por fim, provê uma visão e entendimento claro do sistema, evitando desta forma situações conflitivas.

Apesar de não existir uma arquitetura definida, o Brasil tem empregado o ITS na gestão do transporte público por ônibus. Os resultados observados a partir do uso do ITS são encorajadores, pois possibilitam melhores velocidades operacionais, recuperação e fidelização

do passageiro e confiabilidade. O futuro do ITS está ligado à evolução da tecnologia da informação.

A aplicação de modernas tecnologias de controle, monitoramento e gestão do transporte por ônibus são uma realidade e representam uma ação eficiente e eficaz para a melhoria das condições operacionais, de segurança e fluidez. O aparecimento de novas tecnologias de informação e comunicação, tais como sistemas de GPS e AVL, tornaram possível o desenvolvimento de sistemas mais complexos de regulação operacional do *headway* em linhas de ônibus e a disponibilização da informação ao usuário em tempo real.

O controle operacional *on-line* permite, além do monitoramento das ocorrências e dos desvios de programação face aos horários programados, a detecção de anormalidades e identificação dos pontos críticos. Para a qualidade do serviço e satisfação dos passageiros é importante que a programação da linha seja executada e garantida seu nível de serviço, entretanto, isto é difícil de manter, pois existem variáveis não controláveis que perturbam a linha durante a operação.

Há basicamente três mecanismos de resolver os problemas de regularidade/confiabilidade da operação de uma linha de ônibus:

- i. melhoria do planejamento e da programação da tabela horária;
- ii. implementação de medidas de priorização para os veículos de transporte por ônibus; e
- iii. melhoria do sistema de controle da operação.

As principais estratégias de controle em tempo real consistem em:

- i. retenção do ônibus na estação ou terminal;
- ii. pular uma estação;
- iii. inserção de um veículo reserva;
- iv. mudança da velocidade; ultrapassar;

- v. aguardar; limitar o número de embarques em um determinado veículo;
- vi. não parar em determinada parada;
- vii. veículo expresso;
- viii. um veículo embarca o outro não quando operando em comboio.

A partir da revisão bibliográfica, observa-se que na grande maioria dos trabalhos, os modelos e as experiências referentes à regulação operacional de uma linha de ônibus usam simuladores, não tem aplicação real, ou apenas consideram uma única linha, poucos pontos de controle, um único sentido e operam em corredores simples. Para uma situação limitada é possível identificar as causas e as medidas a serem adotadas, pois as restrições externas são controláveis. No caso de uma rede, a regulação é difícil, pois há trechos sem corredor exclusivo, cruzamentos com prioridades semafóricas diversas, volumes de embarque e desembarque desequilibrados no itinerário, enfim características operacionais heterogêneas. Muito tem ainda que se avançar nos modelos e experiências. Precisa-se entender e identificar onde ocorrem as perturbações do *headway*, buscar esse ponto através de sistemas de alertas, os quais podem ajudar a prevenir as anomalias.

As empresas e gestores que fazem o monitoramento em tempo real acabam utilizando pessoas treinadas para tentar definir estratégias de controle em linhas através dos *outputs* (gráficos, mapas sinóticos, relatórios) advindos dos sistemas de monitoramento em tempo real. Em função da complexidade discutida anteriormente e da incapacidade de ter uma visão plena de todo o sistema essas ações são muitas vezes insuficientes para regular as linhas.

Apesar de já existir o monitoramento em tempo real, que indica de maneira dinâmica o comportamento do veículo quanto a atrasos, falhas e operações indevidas, é evidente a necessidade de um sistema integrado que possa dar apoio à regulação operacional das linhas. O processo de regulação operacional deve ser executado por operadores chamados reguladores, que adotam estratégias em tempo real em caso de perturbação. A atividade de regulação operacional da linha envolve ações de caracterização da perturbação/anomalia e de definição de uma solução usando uma estratégia pré-definida com o objetivo de minimizar os efeitos das perturbações. Este trabalho apresenta no Capítulo 5 estas situações.

O aparecimento de novas tecnologias de informação e comunicação, como sistemas de GPS e AVL tornou possível o desenvolvimento de sistemas mais complexos de controle da operação. A principal estratégia utilizada até então era a manutenção da regularidade do *headway* através da retenção dos veículos nas paradas. Com a disseminação do uso do GPS novas abordagens de regulação surgiram como a auto regulação do *headway*, que consiste em seguir o *headway* que emerge da operação espontaneamente. Neste caso despreza-se o *headway* predefinido ou as partidas programadas, e o *headway* é recalculado todo o tempo.

Uma das principais vantagens do sistema de GPS é a possibilidade de informação ao usuário em tempo real através de dispositivos que fornecem informação dinâmica, tais como painéis nas paradas e terminais, bem como dispositivos de telefonia celular e internet. No Brasil, a comunicação por celular ainda não é cem por cento confiável em virtude do sombreamento e perda de sinal. Este fato pode ser considerado como uma restrição na implantação de sistemas de controle em tempo real. A qualidade da transmissão dos dados compromete a implantação de um sistema de informação ao usuário, pois afeta a credibilidade do sistema de regulação.

As informações advindas do sistema servem de *input* para o regulador elaborar planos para o reestabelecimento da normalidade da operação. Deve existir um conjunto claro de procedimentos a serem seguidos quando uma anomalia é identificada. É importante destacar que eventos meteorológicos alteram os tempos de comunicação e podem gerar perda de informação e localização. As informações sobre o clima também são dados de entrada no sistema a fim de antecipação de ações frente às anormalidades da operação.

Apesar do monitoramento em tempo real, que indica de maneira dinâmica o comportamento do veículo, quanto a atrasos, falhas e operações indevidas, é necessário que a relação entre motorista e o sistema seja eficaz. Essa relação nunca pode ser desconsiderada, visto que, uma solução ótima, na prática pode ser de difícil implantação.

Fatores humanos desempenham um papel importante no sucesso ou fracasso das operações tanto por parte dos motoristas como dos reguladores. Um sistema moderno de controle operacional provoca uma mudança de atitude dos motoristas e do pessoal da

operação elevando a pontualidade pelo “efeito da vigilância”. Regras de decisão devem ser desenvolvidas para auxiliar os reguladores a fazer escolhas para implementar a ação ou não.

As manobras de regulação devem ser implantadas antes da ocorrência dos eventos como comboios, grandes espaçamentos, entre outras, pois a variação dos atrasos tende a aumentar. É recomendável que o ponto de regulação seja implementado tão perto do início do itinerário quanto possível.

Há muito a ser avançado na aplicação dos modelos de regulação em sistemas em operação em tempo real com as variabilidades reais do dia a dia. É necessário entender e identificar onde ocorrem as perturbações do *headway*. É importante se antecipar aos eventos para que as manobras sejam implantadas.

O que se nota no estágio atual de softwares de monitoramento é a previsão de passagem baseada na série histórica, considerando seus desvios e médias. Entretanto, isto se refere somente à previsão de passagem de um veículo em determinado ponto. O desafio é fazer uma projeção para o futuro onde, baseado no dado atual e na sua tendência, projetar seu tempo de deslocamento e propor uma ação preventiva contra a formação de comboio e / ou vale; ou ainda ajuste de *headway* desde o momento atual, antecipando-se aos seus desvios.

Recentemente têm sido publicados artigos tentando tratar essa abordagem, utilizando a mineração de dados num banco de dados em tempo real através da busca de correlações entre uma sequência de *headways* que gerem um problema. O benefício social advindo do sistema de monitoramento e controle é a redução das perdas relacionadas com o tempo de deslocamento e de espera nas paradas. Os resultados obtidos a partir do estudo de caso são promissores para os três atores do sistema de transporte: usuário, operador e órgão gestor.

Da parte do usuário, o ganho se dá com a melhoria da operação da linha através de *headways* mais homogêneos e redução de comboios. Além da possibilidade de obtenção da informação em tempo real. Melhoria na distribuição de passageiros por viagem também foi sentida.

Da parte do operador, ganhos como melhor dirigibilidade dos motoristas que resultaram em redução de gastos de manutenção e consumo combustível, além de diminuição de

acidentes e ocorrências de excesso de velocidade engajamento da tripulação na operação da linha, redução de reclamações e implementação de uma nova cultura operacional. A comunicação entre dois veículos consecutivos e com o centro de controle foi fundamental para o sucesso do estudo de caso.

O treinamento da tripulação é tão importante como o desenvolvimento do sistema, pois é necessário o engajamento e o entendimento das ações comandadas pelos reguladores. Houve boa receptividade da tripulação.

No início da implantação do sistema de regulação operacional do *headway* eram repassadas sistematicamente aos motoristas informações básicas, estes, porém receberam reclamações de intolerância quanto ao som, frequência de mensagem e com relação à luminosidade do LED que é intensa e ininterrupta a noite. Neste caso, as mensagens básicas e sistemáticas foram reduzidas.

E por fim, para o órgão gestor o benefício fica evidente em função da gestão e controle integral de todos os carros simultaneamente, de toda a linha, e não simplesmente em um ponto de baliza fixa. O desenvolvimento e a implantação do gráfico de marcha *on line*, em tempo real, propiciou a identificação espacial imediata dos gargalos e pontos críticos, além de poder visualizar instantaneamente os resultados das manobras de regulação implantadas. Esta ferramenta demonstrou-se fundamental para a regulação operacional manual (a decisão fica na mão do operador) do *headway* em tempo real. Identificação dos pontos críticos e proposição de melhorias operacionais também foram resultantes do presente estudo.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se o desenvolvimento de um software de alerta que possa antecipadamente identificar o momento do desvio do *headway* para que possam ser tomadas ações a fim de evitar a deformação do *headway*. Isto é, a partir do aprendizado do próprio software de monitoramento, conseguido através das series históricas, fazer uma projeção do *headway* para o futuro. Com isso é possível vislumbrar os efeitos na linha ou rede, e de fato poder agir preventivamente.

A ampliação da aplicação deste modelo em uma rede de linhas a fim de verificar os reflexos em virtude das ações adotadas de regulação deve ser o próximo passo. Dentro dessa sequência de pensamento é importante avançar no estudo dos reflexos das estratégias de regulação adotadas em sequência, e se isto realmente irá resultar num ganho total da linha e da satisfação dos passageiros ou pode acarretar num prejuízo a uma parte dos usuários. Para tanto é necessário medir os efeitos em vários pontos da rede, principalmente nos pontos de conexão, tanto no que diz respeito ao tempo de espera e distribuição do carregamento da linha, como nos indicadores operacionais.

Definição de parâmetros, através da realização de uma análise de sensibilidade em larga escala sobre seus valores. Seria importante avaliar o grau de satisfação do passageiro, verificar se ele percebe melhorias em sua linha a partir da implantação das estratégias de regulação.

Além disso, medir os reflexos nos motoristas, pois a regulação constante do *headway* pode gerar uma apreensão dos mesmos, causando-lhes uma instabilidade emocional à medida que sua dirigibilidade é checada a cada minuto e repassada a ele a responsabilidade da execução das manobras a fim de regularizar o *headway*. Outro ponto importante a ser explorado é a interface homem máquina, em virtude da comunicação bilateral entre o motorista e a central de controle.

Sobre as ações corretivas, desenvolver um método para escolher onde e quando uma ação deve ser tomada para evitar o comboio, assim como escolher qual a melhor estratégia em cada caso. Tais questões incluem questões de pesquisa em aberto a serem exploradas em trabalhos futuros.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AN, S.; LEE, B. H.; SHIN, D. R.. **A Survey of Intelligent Transportation Systems**. Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Bali, Indonesia, 2011.

GONZALÉZ, F. A. Z.. **Estimación y predicción de matrices dinâmicas de viaje sobre um corredor de transporte público, utilizando datos históricos y información en tempo real**. Tesis (Magíster en Ciencias de la Ingeniería), Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2011.

JENSEN, COLIN, ITS in Austrália (on line). Disponível na Internet via WWW.URL: <http://www.squirrel.com.au/qdot/australia.html>. Arquivo gerado em 5 de fevereiro de 1996 e capturado em 15 de abril de 1997.

KANNINEN, B.J.. **Intelligent Transportation Systems: an Economic and Environmental Policy Assessment**. Transportation Research, Londres, V. 30A, n. 1, p-10, 1996.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e PAVANATTO, S. A.. **Monitoramento da operação de transporte público: o caso de Porto Alegre**. ANPET XXIII, Vitória, Espírito Santo, Brasil, 2009.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Sistema de Ajuda à regulação de linhas de transporte coletivo por ônibus – overview**. ANPET XXIV – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Salvador, Bahia, Brasil, 2010.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D., SENNA, L. A. S.. **Public transport monitoring and control: the case of Porto Alegre, Brasil**. ICTIS, International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, China, 2011.

LADEIRA, M. C. M., MICHEL, F. D. e SENNA, L.A.S.. **Estratégias de controle da operação de linhas de ônibus**. ANPET XXVII – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belém, Pará, Brasil, 2013.

LADEIRA, M. C. M.; MICHEL, F. D.; SENNA, L. A. S.. **Estratégia de regulação de linhas em tempo real: o caso de Porto Alegre**. XVIII Congresso Panamericano de Ingeniería de Transito Transporte y Logística (PANAM 2014) Santander, Chile, 2014.

MATIAS, L. M.; GAMA, J.; MOREIRA, J. M. e SOUSA, J. F. **An Incremental Probabilistic Model to Predict Bus Bunching in Real-Time**. The Thirteenth International Symposium on Intelligent Data Analysis, (IDA 2014), Leuven, Belgium, p 227-238, 2014.

PEREIRA, W. F. **Utilização de Sistemas Inteligentes de Transportes para o Gerenciamento do Tráfego Urbano no Brasil**. Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Rio de Janeiro, Agosto, 2012.

RIBEIRO, J. L. D. e MOTA, E.V.. **O Desdobramento da Qualidade: modelos para serviços e para a manufatura**. Porto Alegre: PPPGEP, EE/UFRGS, 1996.

SAINT-LAURENT, B.. **Information Systems for Public Management**. In NWAGBOSO, C. O. (Ed). *Advanced Vehicle and Infrastructure Systems; Computer Application, Control and Automation*. England: John Wiley & Sons Ltd., Cap. 15, p 342-369, 1997.

SANTI, C. E.G. e GOLDNER, L. G.. **Aceitação de sistemas avançados de informação ao condutor – ATIS por diferentes categorias de condutores em cidades brasileiras de porte médio**. Revista dos Transportes Públicos – ANTP – V. 31, n. 121, p.81-91, 2009.

SCHEIN, A. L.. **Sistema de informação ao usuário como estratégia de fidelização e atração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, D.M.. **Sistemas Inteligentes no Transporte Público Coletivo por Ônibus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TCRP Synthesis 24. **AVL Systems for Bus Transit: A Synthesis of Transit Practice Transportation Research**. Board National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C., 1997.

TEXIER, P.e MEYERE, A.. **Les Systemas d'Aide a l'Exploitation des Reseaux d'Autobus et d'Information du Public**. In: *Transports Guidés, Systèmes et Communications*. Paris: PRDTTT, p. 41-54, 1987.

APÊNDICE

PUBLIC TRANSPORT MONITORING AND CONTROL: THE CASE OF PORTO ALEGRE, BRASIL

Adaptado do Artigo publicado no ICTIS – International Conference on Transportation Information and Safety, Wuhan, China

LADEIRA¹, Maria; MICHEL² Fernando; SENNA³, Luis

¹ Engineer, Empresa Pública de Transporte e Circulação - EPTC, João Neves da Fontoura Street nº 07, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 90.050-030; PH 55 51 99934831; FAX: 55 51 32894350; ladeira@eptc.prefpoa.com.br

^{2 3} Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, Laboratório de Transportes – LASTRAN, Osvaldo Aranha Street no 99- 5º andar, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 90.035-190; PH 55 51 3308 35 96; FAX 55 51 3308 40007; michel@producao.ufrgs.br

ABSTRAT

Management of urban mobility and road space optimization is increasingly supported by the use of technology. The effective control of urban transport systems depends on a strategic project to devise a systemic network to manage traffic and transport, focused on road safety and flow, optimized through Intelligent Transportation Systems - ITS. Nowadays it is not enough focus only on expanding the infrastructure to improve movement of vehicles; it is necessary to invest in ITS. The integration between the regulation system and information to user is the key to provide mobility. Data collected about the operation and traffic conditions are decisive for decision making and thus the synergy between traffic and transportation must be natural. This article aims to present the experience of Porto Alegre in providing mobility management and regulation of transport through the Central Monitoring and Control of Mobility- CECOMM supported by the effective use of ITS.

1. INTRODUCTION

Transport systems induce urban development due to their characteristics, because they have a direct relation to the infrastructure. The development of cities, the increase in displacement, the demand and the dimensions of sustainability are difficult to reconcile, so growing mobility of people and hence their impacts. The mobility patterns are changing, because they involve the interaction of multiple agents (Ezzedineet al., 2006).

Intelligent Transport Systems - ITS systems are based on technology, standardization, computerization and telecommunications, network administration employees in the transit and transport. It uses technology for information processing and communication, sensing, navigation and control technology, among others. ITS is a concept with worldwide application that aims to integrate the transport paths with the communication technologies with the objective of providing end-user critical information (Vuchic, 2005).

ITS is used by operators of urban road systems and road, fleet operators, passengers and cargo, drivers; multimodal passengers, pedestrians etc., each with specific needs of both common as (TCRP, 1997), (TCRP, 2003).

The application of ITS in transport systems involves several areas, including most importantly: (i) Electronic Ticketing (ii) System for Automatic Vehicle Location - AVL for fleet management, (iii) the User Information System - IUS; (iv) Systems for Traffic lights actuated with priority for bus fare, (v) Information Systems via Internet and mobile phone SMS, and (vi) Monitoring Systems Image by video cameras among others (TCRP, 1997), (Vuchic, 2005). Smart systems help management and operation of transport making them more efficient, attractive and comprehensive (Silva, 2000), (Canines, 1996), (Ribeiro et al., 1996), (Ladeira et al., 2009).

Road capacity implies the availability of transport services as well as directly on the regularity of these services. The quality of transport service is coated with multiple aspects, mainly comfort, security, punctuality and efficient management of incidents. The timeliness and management of incidents involving the regulation of traffic that must ensure the control of disorders that appears in the operation of transport (Bouamrane et al., 2005). The regulation covers both the performance of travel time and the regularity of the *headway* between transport units. Regulation is influenced by several factors, some under the control of traffic and transport operators and others do not like traffic conditions (TCRP, 2003), (Vuchic, 2005).

2. ITS IN THE MANAGEMENT OF URBAN BUSES IN EUROPE AND USA

The deployment of technologically advanced systems of monitoring and centralized control and integrated management and bus operation has shaped up as a very efficient and effective action to improve the conditions of supply, flow and safety in shifts using this transport mode. Support systems for the management of urban buses equipped with ITS technology are widely applied in the United States and Europe (TCRP, 1997), (Vuchic, 2005).

The configuration of APTS - Advanced Public Transportation Systems and ITS consists basically on the implementation of modules CAD - Computer Aided Dispatches and AVL - Automatic Vehicle Location, associated with the technique for bus priority at signalized intersections, with or without exclusive track for the traffic of buses (TCRP, 2003).

A priority traffic light for buses has been used for decades in Europe, but is a new concept in North America. Priority traffic lights include: (i) Passive Priority, (i) Passive Priority, (iii) Real-Time Priority, (iv) Pre-emption (TCRP, 2003).

The priority for buses at traffic lights is a strategy used to achieve the preferential treatment of public transport to reduce travel time. The development of ITS for controlling traffic priority for public transport has been applied successfully in networks of traffic lights with coordinated adaptive control in real time.

Reference (Lehtonen et al., 2002) presented results from the implementation of priority traffic lights combined with other ITS technologies in cities of medium and large European countries (England, France, Holland, Germany etc.) and North America (USA and Canada). Point gains as a reduction of 5% to 23% on travel times and stop, besides the reduction of 20% to 50% for delays caused by traffic lights.

Considering projects that encompassed only the technical implementation of traffic control and real-time adaptive prioritization of public transportation (bus priority) traffic lights at intersections, were noticed significant results, both for traffic in general and for public transport (TCRP, 2003), (ITS America, 2002).

In 2000, (FHWA/USA, 2002) presented an application of ITS technology for passenger transport, specifically with respect to fleet management technology and automatic vehicle location. According to this study, in 1999 at least 61 Departments of Transportation United States used systems automatic vehicle location (AVL - Automatic Vehicle Location) to support the operation and management of the transport of passengers by bus.

AVL systems can be integrated with other systems such as monitoring / control automatic vehicle location for emergency vehicles, fleet management, data collection, information system and the user messages in a variety of vehicles, electronic fare collection and control prioritization semaphore (TCRP, 1997).

In England, the aid management systems are deployed in several cities, notably London, Manchester and Southampton, all with plans to implement continuous improvements to existing systems, with application of AVL, priority at traffic lights, security breakpoints and inside the buses and electronic ticketing. The general concern is to improve the bus system of these cities to encourage the use of the system (TCRP, 2003).

The management of bus fleets has been using auxiliary systems in order to automatically locate the vehicles along the road system. There are several technologies in use. GSM - Global System for Mobile Communication is a standard defined by European Telecommunications Standards Institute. GSM is a cellular system that uses radio access technology for digital cellular network, providing radio communication with quality. GSM has an open architecture using digital transmission with bandwidth of 900 MHz with access method for time division.

The dynamic information, updated in real time requires an infrastructure of data and complex communication. The dynamic information systems are deployed terminals, where the orientation is important for the user to streamline the flows that circulate on platforms and in stopping points along the way are justified only in areas with significant demand. The deployed systems use panels with LED technology for areas of terminals and stopping points.

Information conveyed by the transport sites on the Internet have also been used, which contains information about routes, departure times and locations of breakpoints, and

information about events and occurrences, so that users can obtain updated information before leaving to accomplish the shift.

3. ITS IN A COLLECTIVE MANAGEMENT SYSTEM OF TRANSPORT IN BRAZIL

In Brazil, the use of ITS for the operation of buses has been developed mainly to monitor passenger demand, collection fare and information passengers system. Several cities, regardless of size, already have some kind of electronic ticketing, equipping a fleet of more than 15 thousand urban buses. There are few literature and research on ITS available in Brazil. The main difficulties are related to issues of ownership of deployment costs due to technology type and size of the intervention and the lack of empirical evidence of the effectiveness of the measures (Santi et al., 2009).

To prioritize the movement of buses through physical interventions accompanied by complementary measures to control the operation of buses; traffic control; and information to the user are examples of the combination of features involving ITS (Martinelli et al., 2006). The real-time control through the use of ITS has been assisting and supporting actions to planning, monitoring and operation. There is immediate intervention in the correction of faults and abnormal (Ladeira et al., 2009). The prioritization of public transport brings important economic and social returns (CNT, 2002).

In Brazil, the prioritization of movement of public transport is done through the construction of tracks / tracks exclusive to the movement of buses. According to (SEDU/PR, 2002) the average speeds achieved in exclusive corridors range from 19km / h to 22km / h. São Paulo has arterial treatment with priority for public transport with a low level of segregation of the traffic lane. They are corridors with exclusive track without physical separation along the central reservation.

Porto Alegre, capital of Rio Grande do Sul, has a system of transport corridors with exclusive track in the centre of street with reservation boarding platforms with lateral a level of the sidewalk. The corridor network is composed of 8 lanes for a total of 40 km. The exclusive corridors are located along main radial roads.

The bus lanes Assis Brazil and Farrapos operates the corridors with convoys ordered of 6 buses. At peak hours they are 280 and 250 buses respectively per hour. The station comprises six (06) bus boarding and alighting simultaneously. In some respects the convoy operation is similar to a set of train cars. Both riders hit peak capacity greater than 20.000 pass / h (Manual BRT, 2008). The corridor Farrapos already operated with 340 buses / h at a speed of 21,6 km / h and Assis Brazil with 300 buses / h at a speed of 19,0 km / h (Szasz, 1985).

As for bus priority in traffic lights there is no experience implemented in Brazil. Actions to prioritize the passage of buses at intersections signalized can increase the average speed of public transport. Among the advantages of adopting a plan of sync with priority for buses has been: (i) reduction in travel time, (ii) improving the timeliness, (iii) regularity, (iv) reduction of fuel, (v) reduction environmental pollution, and (vi) greater road safety (Barra, 1999).

4. PORTO ALEGRE CASE

Porto Alegre has a total area of 496,1 km². According to the latest demographic census of 2009, Porto Alegre population is 1.436.123 inhabitants, the tenth most populous city in Brazil.

Porto Alegre is served by a network of public transport services classified according to the Municipal Law Number 8133, as: collective, selective, individual and special. Public transport is characterized by the transport of passengers within the city run by minibuses and buses. The selective service includes the direct and selective stocking. The service is divided into individual regular, special and taxi. In turn, the special transport is divided into school and chartered.

Porto Alegre presents a motoring index well above the national average. The percentage of cars is 81,1%, while buses account for 0,7%. In Brazil, the fleet of cars is 65,2% and 0,8% by bus. The network semaphore Porto Alegre is composed by 950 traffic lights of which 91,26% are engaged in network and only 8,74% work in isolation. Finally, there are 7.813 lights which: (i) 5.480 vehicular; (ii) 2.301 pedestrian; and (iii) 32 attention. The lights are grouped into 25 centralized networks.

Since August 2008 the Central Control and Monitoring of Mobility - CECOMM, located at the headquarters of the Public Company Transportation and Circulation - EPTC Porto Alegre integrates advanced technological resources with a view to monitoring the movement of capital and monitoring the network of public transportation urban. Dedicated communication networks, video cameras, central stations, central control of traffic signals and monitoring system of public transport in real time are part of this plant.

4.1 CECOMM

The monitoring of traffic for video cameras and the automatic monitoring of vehicles brought a sensitive help for regulator. Images derived from video cameras are a new tool for managing mobility. Through real-time images can be decided, almost instantly, what actions can be taken to consider various situations that arise in the circulation of the city.

CECOMM's goal is to manage the mobility in the major pathways and routes of Collective Transport in Porto Alegre, through the control of a systemic network of transit and transportation, with a focus on improving service levels and optimize the flow of traffic and transportation. The management is based on monitoring, control and ongoing maintenance of this network, for faster information. This speeds up the decision for intervention and effective control of occasional interference. In this environment, we define the necessary operations for greater efficiency of the system under the aspects of flow and road safety.

Falls in the mobility management the Regulation Helps System – SAR, which is a supervisory environment to help regulate a transmission. The SAR is based on the decision-making processes and allows the operator to identify faults and evaluate the actions of regulating potential to be adopted depending on the chosen strategy [11].

Continuous monitoring of the main roads and transport corridors, control of flow and road safety - administration of networks, control network traffic lights - operations, development of plans for emergency events and unusual - and prioritization form intervention, development of cooperation agreements - Functions complementary routes for emergency, public safety, property, supervision of traffic incidents and transportation represents the axis of action of CECOMM.

4.1.1 Equipment and infrastructure

CECOMM integrates the Centralized Traffic Control - CTC, Programming Semaphore - EPS, Central Radio - CER, and the System Bus Automatically Monitors in real time - SOMArt. CECOMM started with 23 computers, a server to administer the system monitors 19 and 14 inches each, 1 panel of images in real time consists of 12 video monitors and a retractable screen whose image is fed by an overhead projector. The monitors transmit images from 13 video cameras, distributed in 12 specific points of Porto Alegre. After a year and a half of operation, CECOMM already deploys its first expansion of the infrastructure installed (doubling the number of chambers, panel image and video monitors) as opposed to results. In addition to providing for the gradual implementation of GPS / GPRS fleet of buses in the Capital.

The monitors reproduce images with a quality close to the television. Both models have cameras installed optical zoom of 33 times and 22 times and perform vertical and horizontal panning. The images produced by them are recorded in a database for seven days online. The data communication is done through fiber optic information highway. This network enables qualified managing, structuring and qualifying, information for better service delivery. The CECOMM works 24 hours a day.

4.1.2 Operations routine

Visual tracking of critical sites, in order to minimize conflicts and congestion generated by the incidents; online diagnosis of traffic conditions; identification in real time, accidents and other traffic incidents, which require rapid intervention; monitoring of journey times - vehicular flow; monitoring of travel times and speed of the routes of Public Transport; setting the scheduling of public transport; constant updating and data collection schedules for traffic signal, using visual data from cameras, data from scores of ties detectors and data entries - Register of Traffic Accidents - CAT and Register Signaling – SIN; operational monitoring: on-line monitoring of the conditions of operation of traffic lights, and monitoring of events via Central Radio / Advanced Control Points routes prioritized; control, implementation and adjustment of traffic signal networks, with demand continuing evaluation and periodic

updating of plans for a fixed time (calculation of network synchronization (space-time method and TRANSIT 13) and plans / traffic signal cycles in the main access roads and arterial); implementation of traffic control system for real-time adaptive; evaluation and design of new programming:

- identification of crossings in need of projects to vehicular activity;
- simulations and definition of the road capacity needed in the process designed;
- updated information and control network lights centralized. Maintenance of the network traffic light:
- identification of traffic lights with defects monitored by the central traffic - priority of care and monitoring of service time;
- generation of reports on the situation of communications networks traffic lights;
- recording from EPROMs to update systems and TESC DIGICON and correction;
- recording of logic modules and CPUs for correction of errors and time to implement semaphores in isolation;
- configuration and request repairs Lines Private;
- configuration and request repairs on cameras, electro-links and logical connections;
- operation of systems related to networks TESC, DIGICON and DATAPROM:
- implementations of schedules for temporary events and alternative routes;
- availability of data traffic volume, vehicle counts obtained by means of sensors;
- implementation schedules to changing times and cycles of traffic lights.

Continuous updating of data for planning of mass transportation lines. Monitoring the speed of transport corridors through the collective statement warning of speeds.

4.1.3 Impacts on the fluidity

The monitoring carried out in CECOMM enables an efficient urban mobility, supported by the increasing use of technology for optimization of road space. This mobility is achieved through control of the main axes of mobility, network management traffic lights and change of time online, alternative routes in case of contingencies; changes and temporary deviations for works and events, issuing bulletins of temporary traffic conditions and transportation, and information to the press.

4.1.4 SOMArt

The System Bus Automatically Monitored in Real Time - SOMArt is a system of automatic monitoring of vehicles along the route. Monitoring is done through the passage of vehicles by fixed antennas, spread across the road network, which captures what the specific information of each vehicle. The 1576 urban buses and the 25.000 trips per day representing 100% of the system are monitored and supervised by CECOMM.

Through SOMArt is allowed to accompany the average time of travel on major routes, as well as compliance with the hourly rate of the fleet and check the speeds of the corridors and major routes. The current system is based on RFID - Radio Frequency Identification, RFID tags transponders installed in every bus and fixed stations distributed across the city to identify the vehicles and the passage of time transmitting data through a radio-modem to the center. The identification of vehicles and carried out through open protocols, but were developed equipment for concentration and data management software with dedicated communications protocols closed.

In this first phase, the buses have an encoder that emits characteristic data of the vehicle for CECOMM, when it exceeds the number of antennas and loops of magnetic SOMArt. Altogether there are 48 antennas distributed over the roads of the city. The second phase will be complemented with GPS / GPRS fleet-wide, replacing the transponders and antennas.

The elements of the current system are grouped into four subsystems: (i) identification system, (ii) local control unit, (iii) communication system, and (iv) monitoring system.

Software installed on computers at CECOMM receives real-time information from reading passages in which there are several stations around town. The data are compared with hourly rates theoretical and newsletters to accompany each line.

This new version of the system uses the stations to transmit packets of data every 3 minutes, which make possible to verify the performance of the operation of each line. In this sense, monitoring is now to verify, in real time, compliance and adherence of the hourly rate, travel time, speed, route and fleet operating. Besides the interface with the central information and complaints that allows the user to inform the causes and possible resolutions of disturbances.

The action taken by the regulator in CECOMM comes to meet you recommend (Bouamrane, 2005) where using the real-time monitoring of the bus regulator seeks to reduce the gap between the hourly theoretical and actual times of passage of vehicles. Also, according to (Zidi, 2007) regulation is then the matching process in real time of the hourly rates in theoretical actual operating conditions.

It is part of the module in real time: (i) synoptic map of the speed of the bus fleet of the corridors and road systems of the road system in Porto Alegre during 24 hours, (ii) real-time monitoring of the operation of the entire fleet urban buses, (iii) monitoring of bus travel by line and in real time indicating shortages, delays and improper operations, (iv) analysis of the loading conditions to scaling amount of travel and time for each line, (v) presentation of indicators of managerial performance of each line, company and consortium compliance and timeliness of travel, (vi) graphical presentation of the daily behavior of each line, and (vii) the alarm system to detect disturbances that cause the failure to comply with travel, detours and express operations unduly.

The Synoptic Map of Speed in Real Time is the graph of the instantaneous velocities of major routes and corridors of city buses. The average speed is calculated by passing portions of the base stations by bus. It is considered the time of embarkation and disembarkation of passengers at stops, times of traffic lights and travel time between the antennas.

The average speeds are updated immediately and instantly represented graphically in the face of the map. The red color indicates that the average speed is low and can compromise the

fluidity of the road requiring immediate investigation, the yellow means alert and green represents is that with good fluidity.

4.1.5 Results

EPTC has a system of monitoring indicators of quality and productivity. By analysis of trend indicators are set targets and strategic projects. Some of the indicators of transit and transportation improvements that have suffered direct reversing negative trends from the operation of CECOMM are presented below.

Indicator Travel Outside Interval, resulting from SOMArt reflects the action of the regulator because it represents the number of trips carried out the theoretical hourly and established standards, this is reflects the regulatory system. This indicator implies consequently in reducing the number of complaints and increased satisfaction with services rendered. It is observed that reducing the number of trips outside the range of 5.42% in 2008 to 2.71% in 2010.

Examples of improvement include: reducing the number of complaints and the average response time in the central information to the user; greater system reliability; improving the image of EPTC as a modern company, agile and efficient; and reduced travel time and increase the operating speed of the bus lanes. An emblematic example can be the velocity of the Assis Brasil Bus Lane, where the speed in the afternoon peak hours has increased from 4.5 km / h to a speed 18 km / h from the action of regulatory and monitoring from the point of maximum load the corridor.

Reducing the rate of accident and the response time of maintenance of traffic lights and reducing the number of complaints from the offices of EPTC are another examples of good results.

5. CONCLUSIONS

The increasing use of technologically advanced systems to monitor and control integrated centralized management and operation represent an efficient and effective action to improve

the conditions of supply, flow and safety. There are noticeably improved regularity, safety, reliability and maximized use of data allowing the user to provide more accurate information.

REFERENCES

Barra, I. N.. “Análise das Prioridades para Altas Porcentagens de Ônibus nos Planos de Sincronismo”, M. Sc. Engenharia de Transportes Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRG VIII, 121p. 29,7 cm, 1999.

Bouamrane, K., Bonte, T., Sevaux, M. and Tahon, C.. “SART: un système d’aide à la decision pour la regulation d’un réseau de transport bimodal”, LAMIH/SP, UMR-CNRS 8530, Université de Valenciennes, 59313 Cedex, 2005.

BRT. Manual de BRT “Bus Rapid Transit, Guia de Planejamento”, Institute for Transportation & Development Policy 1277 W. 26 th Street, Suite 1002, New York, NY 10001 USA, 2008.

Szasz, P.A.. “Comboio de Ônibus Ordenado, COMONOR – SP”, I Encontro Técnico entre Países Latino Americanos sobre Transportes Urbanos, EBTU, Brasília, 1985.

Canines, B. J.. “Intelligent Transportation Systems: an Economic and Environmental Policy Assessment. Transportation Research”, Londres, 1996.

CNT.. “Avaliação da Operação dos Corredores de Transporte Urbano por Ônibus no Brasil, Pesquisa da Seção de Passageiros” CNT Relatório Analítico, São Paulo/SP, 2002.

Ezzedine, H.; Bonte, T., Kolski C., and Tahon C.. “Intermodal transportation system management: towards integration of traffic, management system and users information system”, Laboratoire d’Automatique, Mécanique et Informatique industrielles et Humaines, LAMIH – UMR CNRS 8530 – University of Valenciennes, 2006.

FHWA / USA. “Automatic Vehicle Location - Successful Transit Applications: A Cross-Cutting Study – Improving Service and Safet” August, 2002.

ITS America. “An Overview of Transit Signal Priority, Advanced Traffic Management Systems Committee and Advanced Public Transportation Systems”, Committee of the Intelligent Transportation Society of America, Relatório Final. Julho, 2002.

Ladeira, M. C. M, Michel, F. D. and Pavanatto, S.A.. “Monitoramento da Operação de Transporte Público: O Caso de Porto Alegre”, Anais da XXIII ANPET, 2009.

Lehtonen, M. and Risto, K.. “The Benefits of a Pilot Implementation of Public Transport Signal Priorities and Real-Time Passenger Information” 81st Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, DC, 2002.

Martinelli, J. C., and Martines G. L.. “Sistemas Informatizados Utilizados pela SPTRANS para Gestão do Transporte Coletivo do Município de São Paulo”, ANTP, Comissão de Sistemas Transporte Inteligente, São Paulo, 2006.

Ribeiro, J.L.D., and Mota, E. V.. “O Desdobramento da Qualidade: modelos para serviços e para a manufatura” Porto Alegre: PPPGEP, EE/UFRGS, 1996. (Caderno Técnico, 5).

Santi, C. E.G., and Goldner, L. G.. “Aceitação de sistemas avançados de informação ao condutor – ATIS por diferentes categorias de condutores em cidades brasileiras de porte médio” Revista dos Transportes Públicos – ANTP, 2009.

SEDU/PR.. “Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano – Relatório Técnico” Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR e Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU. São Paulo/SP, 2002.

Silva, D.M.. “Sistemas Inteligentes no Transporte Público Coletivo por Ônibus”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-graduação – UFRGS, 2000.

TCRP Synthesis 24. “AVL Systems for Bus Transit: A Synthesis of Transit Practice” Transportation Research Board National Research Council. National Academy press, Washington, D.C., 1997.

TCRP Report 100. “Transit Capacity and Quality of Service Manual”, 2nd Edition, Transportation Research Board Washington, D.C., 2003.

Vuchic, V. R.. “Urban Transit: Operations, Planning, and Economics”, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2005.

ZIDI, S.. “SARR: Systeme d’aide a la regulation et la reconfiguration des reseaux de transport multimodal” Université des Sciences et Technologies de Lille, Ecole Centrale de Lille, 2007.